T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME YÜKSEK BİNALARDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLİ KAT TASARIMI VE YAPISAL DAVRANIŞA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Selen ÖZKAN

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erdem DAMCI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Ocak, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Selen ÖZKAN tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi** Erdem DAMCI danışmanlığında hazırlanan ***"BETONARME YÜKSEK BİNALARDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLİ KAT TASARIMI VE YAPISAL DAVRANIŞA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ"*** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 27/12/2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda **oybirliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi Erdem DAMCI İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Yapı Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Rasim TEMÜR İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Mekanik Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Vefa OKUMUŞ İstanbul Medipol Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

Aileme ve üzerimde emeği olan tüm sevdiklerime ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

BETONARME YÜKSEK BİNALARDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLİ KAT TASARIMI VE YAPISAL DAVRANIŞA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu süre zarfında bana destek oldukları için danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erdem DAMCI, çalıştığım firmanın yöneticileri, ailem ve yakınlarıma teşekkür ederim.

Ocak 2023 **Selen ÖZKAN**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	**Açıklama**
$\emptyset_r$	: Elastik ötesi şekil değiştirme kapasitesi
$\emptyset_d$	: Kesitte oluşan elastik ötesi şekil değiştirme
d_r	: Elastik ötesi yer değiştirme kapasitesi
d_d	: Kesitte oluşan elastik ötesi yer değiştirme
ζ	:Sönüm oranı
δ	:Logaritmik azalım
η	:Sönüm katsayısı
ω_n	:Doğal frekans
D	:Dayanım fazlalığı katsayısı
DD-1	:50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	:50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	:50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	:50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
F_1	:1.0 saniye periyotiçin yerel zemin etki katsayısı
F_s	:Kısa periyotbölgesi için yerel zemin etki katsayısı
g	:Yer çekimi ivmesi [g = 9.81 m/s2]
h_i	:Binanın i'inci katının kat yüksekliği [m]
h_n	:Bina toplam yüksekliği [m]
I	:Bina önem katsayısı
R	:Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$S_{ae(T)}$	:Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{aeD(T)}$	:Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{de(T)}$	:Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [m]
S_{DS}	:Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{D1}	:1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_S	:Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1	:1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
T	:Doğal titreşim periyodu [s]
T_A	:Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_{AD}	:Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_B	:Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_{BD}	:Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
T_L	:Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_{LD}	:Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_p	:Binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]
$V_{S(30)}$	:Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]

Kısaltmalar	**Açıklama**
A-AKS	: Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyici
AKS (TMD)	: Ayarlı Kütle Sönümleyici (Tuned Mass Damper)
AP-AKS	: Ayarlanabilen Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyici
BKS	:Bina Kullanım Sınıfı
BYS	:Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY	:Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DTS	:Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	:Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
KH	:Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	:Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
Multi-AKS	:Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici
P-AKS	:Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyici
SH	:Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
TBDY	:Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME YÜKSEK BİNALARDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLİ KAT TASARIMI VE YAPISAL DAVRANIŞA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Selen ÖZKAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdem DAMCI

Çok katlı yüksek yapıların dezavantajları olarak bildiğimiz rüzgâr ve depremin yapılara etkisini azaltabilmek için son dönemlerde kütle sönümleyicilerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu tez çalışmasında; İstanbul'da bulunan 44 katlı örnek betonarme yüksek bir bina, kütle sönümleyici ile modellenmiş, 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine göre, kaydedilmiş deprem verileriyle analiz edilerek yapısal davranış bakımından sönümleyicisiz durumuyla karşılaştırılmıştır.

Kütle sönümleyici, ETABS programında, kauçuk sismik izolatör olarak varsayılan yay elemanlarla mekanik kat ayrılarak modellenmiştir. Böylece mekanik kat kütle sönümleyicinin tasarımına dahil edilerek fazladan kütle ihtiyacı giderilmiştir. Kütle sönümleyici ile yapı arasındaki kütle ve frekans oranları için parametrik değerler kabul edilerek 11 deprem kaydı ile zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Yapının son katı ve modal yer değiştirmenin en yüksek olduğu 23. kattan alınan yer değiştirme değerlerinde kütle sönümleyicinin pozitif etkisi olduğu görülmüştür.

Ocak 2023, 90 sayfa.

Anahtar kelimeler: Çok Katlı Yüksek Yapılar, Ayarlı Kütle Sönümleyici, Zaman Tanım Alanı Analizi

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION ON TUNED MASS DAMPER STOREY DESIGN IN REINFORCED CONCRETE TALL BUILDINGS AND ITS EFFECTS ON STRUCTURAL BEHAVIOR

Selen ÖZKAN

Istanbul University-**Cerrahpaşa**

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Programme of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Erdem DAMCI

Although many methods have been developed to reduce the effects of wind and earthquake, which we know as disadvantages of high-rise buildings, on structures, one of the most common is mass dampers. In this thesis, an existing 44-storey reinforced concrete high-rise building in Istanbul was modelled with a mass damper. According to the 2018 Turkish Building Earthquake Code, it was analyzed with recorded earthquake data and compared with its current situation in terms of static and service.

The mass damper is modelled in the ETABS program by separating the mechanical story with spring elements assumed as rubber seismic isolators. Thus, the need for extra mass is eliminated by including the mechanical floor mass damper in the design. By accepting parametric values for the mass and frequency ratios between the mass damper and the structure, 11 earthquake records in the time history were analyzed. It has been observed that the mass damper positively affects the displacement values taken from the top floor of the building, and the 23rd floor, where the modal displacement is the highest.

January 2023, 90 pages.

Keywords: High-rise Buildings, Tuned Mass Damper, Time History Analysis

1. GİRİŞ

Zamanla dünyada ve ülkemizde artan nüfus, yeni mimari anlayış ve mühendislik çözümleri ihtiyacı doğurmuştur. Çok katlı yüksek yapılar insanlığın bu ihtiyacına karşılık mimari ve statik olarak tasarlanmaktadır. Genellikle yapıların yüksekliği bulundukları konumdaki nüfus yoğunluğu ve ticaret hacmine göre değişkenlik gösterirken özellikle bazı yapılar ülkelerde güç ve prestij göstergesi olarak inşa edilmiştir.

Geçmişte statik dengesi ön planda tutularak yapılan dayanımı ve rijitliği yüksek binalar, büyük iç kuvvetlere maruz kalmaktaydı. Bu yapılarda, proje aşamasında tasarlanan büyük boyutlardaki kesitlerle dinamik etkilerin de önlendiği varsayılmaktaydı. Ancak sünek yapının enerji yutma kapasitesi anlaşıldığında tasarımlar statik ve dinamik etkiler birlikte hesaplanarak projelendirilmeye başlanmıştır. Böylece daha ergonomik ve ekonomik yapılar ortaya çıkmıştır.

Çelik hadde profillerinin ve güvenli asansörlerin geliştirilmesinden önce dökme demir ve beton kullanılarak inşa edilen çok katlı yüksek yapılar, sonrasında sayıca hızla artış göstermiştir. 1885 yılında Chicago'da yapımı tamamlanan ve 1931 yılında yıkılan 11 katlı Home Insurance binası "Council on Tall Buildings and Urban Habitat" tarafından çelik iskelet sistemine sahip olmasıyla dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilmiştir. Yüksek binaların gökdelen olarak tanımlanabilmesi için binanın uzunluğuna veya çok katlı olmasına bağlı genelleşmiş bir kabul bulunmamaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, deprem riski yüksek olan kesimlerde bazı kriterlere bağlı olarak yüksek binaları sınıflandırmaktadır. Bu bina yükseklik sınıfları bina özelliklerine ve yapının önemine göre düzenlenmiştir ve yüksek bina sınıfına giren yapılarda deprem yönetmeliği belli tasarım kriterleri gerektirmektedir. (Celep ve Özuygur, 2017).

Yapılarda yükseklik arttıkça tasarımda karşılaşılan sorunlar da çeşitlilik göstermektedir. Bu sorunların çözümünde uygulanacak en birincil yöntem depremin etkisini mümkün olduğunca azaltacak yapıların projelendirilmesi ve inşa edilmesidir. Depremin yanı sıra, rüzgâr, ısı, titreşim, sehim, yorulma ve nem gibi etkenler yapısal hesaplarda göz önünde bulundurulmalıdır. Çok katlı yüksek yapıların konumu, bu etkenlere doğrudan bağlı olacağından dolayı doğru seçilmelidir. Bu durum, yapıda taşıyıcı sistemin ekonomik yönü yanında servis ömrü ve kullanım konforu gibi önemli tasarım kriterlerini de etkilemektedir.

Bir göçme durumunda ise can kaybı ve maddi hasar devasa boyutlara ulaşabileceğinden taşıyıcı sistemin mühendislik disiplinlerine uygun olarak tasarlanması, modellenmesi ve analizi oldukça önem teşkil etmektedir. Asıl hedef, dinamik dış etkenlerin, binalarda yer değiştirmenin tasarlanan sınırlar içerisinde kalmasını ve özellikle can kaybı yaşanmamasını sağlamaktır.

Sismoloji ve yapı mühendisliğindeki hasarları azaltma yöntemlerinin uzun bir geçmişi olmamasına rağmen, son yıllarda deprem etkilerini kontrol etmeye yönelik teoriler ve teknolojiler belirgin bir şekilde gelişmiştir. Kullanılan malzeme ve teknikler her ne kadar teknolojik olarak gelişmiş olsa da değişken dinamik etkilere karşı can kaybı yaşanması ve karşılaşılacak maddi hasar riski her zaman bulunmaktadır. Dolayısıyla gün geçtikçe dünya üzerinde artan çok katlı yüksek yapı ve farklılaşan tasarımlarda titreşim kontrolünün yapılarda uygulanması kaçınılmaz olmuştur. Ana kütleye bir yay ile ek kütle tanımlayarak titreşimi sönümleme anlayışı Frahm'ın patentini aldığı 'Cisimlerin Titreşimini Sönümleyen Cihaz' ile ortaya çıkmış ve 20.yy'ın ikinci yarısından itibaren hızla gelişmiştir (Hermann, 1911). Günümüze kadar artan bilgi birikimi ile yapı kontrolü teknolojileri geliştirilmekte ve çeşitli türevleriyle optimizasyon sağlanarak yapılara uygulanmaktadır. Tayvan'daki Taipei 101, Newyork'taki 53W53, 432 Park Avenue ve Trump World Tower dâhil olmak üzere birçok yüksek katlı binalarda, bahsedilen sönümleyiciler kullanılmaktadır. Devam eden araştırma ve teknolojik inovasyonlarla, çok katlı yüksek binaların önümüzdeki yıllarda sayıca artacağı ve daha da yükseleceği öngörülebilmektedir.

Geliştirilen titreşim sönümleyiciler konut amaçlı kullanılan titreşim periyodu yüksek çok katlı yüksek binalar gibi yapıların dışında, özellikle dış etkilere karşı korunması gereken yapılarda da görülmeye başlamış ve çalışmalara konu olmuştur. Cho ve diğ. (2020), nükleer santralin içindeki elektrikli ekipmanın deprem etkisi altındaki titreşimini azaltmak için AKS (ayarlı kütle sönümleyici) kullanmış, salınımın azaldığını ortaya koymuşlardır.

2006 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY,2007), aktif ve pasif titreşim kontrol sistemleri veya bunun gibi özel donanımlar için uluslararası yönetmelikler kaynak gösterilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) ise titreşim kontrolü "Deprem Etkisi. Altında Yalıtımlı. Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar" konu başlığıyla ayrıca verilmiştir. Bu başlık altında, deprem yalıtımında elastomer ve eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin kullanımı anlatılmış ve belirtilmeyen hususlar için TS EN 1337-1 (elastomer mesnetler) ve TS EN 15129 (sismik cihazlar) standartları esas alınması gerektiği açıkça belirtilmiştir.

Binanın yapacağı deplasmanlarla yapısal hasarı göze alarak enerjiyi sönümlemesi yerine, bu tip teknolojilerin kullanılması gelişmiş ülkelerde yaygınlaşmaktadır. Türkiye'de depremlerin oldukça sık görülmesi sebebiyle bilimsel ve teknolojik alanlarda konuyla ilgili yapılan çalışmalar daha popüler hale gelmektedir.

Kwok, (1983) tasarlanan en büyük AKS'lerden birine sahip olan Avustralya'nın en yüksek binası Sydney Tower'ı (250 m) incelemiştir. Kulenin tepesine yakın olan halka şeklindeki su deposu, rüzgâr kaynaklı deplasmanları sınırlamak için AKS'nin tasarımına dâhil edilmiştir. AKS ile birlikte tasarlanan 508m yüksekliğindeki ikonik Taipei 101 kulesinde kurulu 30 ivmeölçerle, tropikal kasırgalarda oluşan rüzgâr ve Wenchuan depreminin sismik etkileri araştırılmıştır.

İnşa edilmiş olan ve bilinen yapılar dışında AKS'nin etkinliğini araştırmak için yapılan çalışmalar da mevcuttur. Tolani ve diğ. (2017), AKS'li ve AKS'siz modeller üzerinde kat ötelenmeleri ve yapı periyodu gibi parametreleri karşılaştırmış, AKS'nin titreşim kontrolü için etkin olarak kullanılabileceğini savunmuştur. Elias ve Matsagar (2018), ETABS programında oluşturulan 3 modelle çerçeve sistemde yanal yüklere karşı maksimum tepkileri karşılaştırmıştır. AKS'nin yerleştirilmesinin, özellikle de ilgili modal frekansa ayarlandığında, AKS'nin performansının arttırılmasında önemli bir etki gösterdiği sonucuna varılmıştır. Beyen ve Batı (2020) 8 katlı betonarme bir yapıda pasif ve aktif AKS ile titreşim kontrol sistemlerinin etkilerini araştırmıştır. Sonuçlara göre yapıdaki kat ötelenmeleri ve ivme cevaplarının A-AKS (Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyici) sisteminde sonuçların kat tepkilerini önemli ölçüde düşürürken, P-AKS (Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyici) kat tepkilerini azaltmada daha az etkili olmuştur.

AKS sadece çok katlı yüksek yapıların değil narin, tarihi veya stratejik binalar için de araştırılmıştır. Casciati ve Giuliano (2008), asma köprü kulelerinde salınımı azaltması için bir AKS modeli üzerinde çalışma yapmıştır. Multi-AKS'lerin sağlamlık, kurulum ve bakım olarak daha avantajlı olduğu savunulmuştur. Longarini ve Zucca (2014), İtalya'da bulunan 50m yüksekliğindeki yığma tarihi bir bacanın salınımını azaltmak için bir AKS modeli kullanmıştır. Analiz sonucunda oluşan iç kuvvetler ve tepe yer değiştirmeler karşılaştırılmıştır. Brodersen ve diğ., (2016) açık deniz rüzgâr türbinlerinde rüzgârın neden olduğu titreşimlerin sönümlenmesi için A-AKS ile P-AKS tasarımlarını karşılaştırmıştır.

AKS'nin farklı versiyonlarının karşılaştırıldığı ve yeni geliştirilen AKS sistemlerinin tanıtıldığı pek çok araştırma da literatürde mevcuttur. Gu ve diğ. (2001), bu bağlamda uzun açıklıklı, 960m, Yichang köprüsü üzerinde ayarlanabilir frekansa sahip yeni bir SA (yarı-

aktif) manivela tipi AKS cihazının verimliliği ve sağlamlığını araştırmış, P-AKS'den çok daha üstün olduğunu savunmuştur. Arıza veya hasar oluşması durumunda, yapının birinci mod şeklinin değişmesi ve AKS ayarının bozulup önemini yitirmesi söz konusudur. Nagarajaiah (2009) çalışmasında, yarıaktif-AKS'nin (SA-AKS) her modda bu etkilere karşı dayanıklı olduğunu ortaya koymuştur. Yeni uzunluğu uyarlanabilir sarkaç yarıaktif-AKS'leri ve ayarlanabilen pasif ayarlı kütle sönümleyicileri (AP-AKS) kavramını tanıtmıştır.

Yapılan çalışmalarda sönümleyicilerin farklı katlarda kombinasyonları da incelenmiştir. Ryan ve Earl (2010), izolasyon sistemlerinin katlar arasında veya birden çok katta etkinliğini ve uygulanabilirliğini incelemiştir. Farklı katlar arasında veya birden çok katta yalıtılmış çerçevelerin sismik tepkisi ile sabit taban izolasyonlu çerçevenin sismik tepkisini araştırmıştır. Ara katlara uygulanan izolasyon sistemi yapıyı alt ve üst kütlelere bölmüş, oluşan üst kütle AKS sisteminin kütlesi gibi davranış göstermiştir. Reggio ve De Angelis (2015), katlar arası izolasyon uygulayarak geleneksel olmayan AKS için çatı katında ölçülen yer değiştirmelerin azaldığını ortaya koymuştur. İzolasyon sisteminin ayırdığı alt ve üst yapı çerçevenin sismik tepkisini azaltmak için ayarlanmış kütleye dönüştürülmüştür. De Angelis ve diğ. (2017), Rieti'de bulunan şehir kulesinin en üst katında katlar arası izolasyon sistemiyle bir AKS oluşturularak testlere tabi tutulmuştur. Çalışmada kulenin mod şekilleri gösterilmektedir.

Yukarıda verilen bilgi ve modeller ışığında yapılan bu çalışmada çatı katının altında izolasyon sistemi kurulup mekanik kat, sismik tepkilerin azaltılması adına ayarlanmış kütleye dönüştürülmüştür.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE ÇÖZÜMLEME

Kapasite tasarımı kavramında, esasında yatay yüklere göre tasarlanan yapı sisteminin, büyük depremlerde sünek davranarak deprem enerjisini soğurması hedeflenir. Çok katlı yüksek yapılarda ön tasarım yapılırken betonarme kesitlerin boyutları, dayanıma göre tasarımla belirlenir.

Dayanıma göre tasarımda taşıyıcı sistem üzerinde modellenecek düşey yükler ve deprem yüklerinin hesaplanmasındaki hata payının yanı sıra içinde bulunulan şartlar veya kötü işçilik nedeniyle malzeme dayanımında oluşabilecek azalmalar göz önüne alınarak güvenlik katsayıları kabul görmüştür. Malzemelerin maksimum karakteristik dayanımları, gerilme-şekil değiştirme eğrisinin lineer olduğu kısımdan alınır. Bununla birlikte taşıyıcı sistem elemanlarının karakteristik davranışı göz önünde bulundurulur; şekil değiştirme, elemanın açısal deplasmanları, uzama ve kısalması ihmal edilir.

Dayanıma göre analiz yapılırken Eşdeğer Deprem Yükü veya Mod Birleştirme yöntemleri kullanılabilir. Mod Birleştirme Yönteminde, deprem yönetmeliğinde belirlenen tektonik oluşumlar göz önünde bulundurularak uzmanlar tarafından istatistiksel çalışmalarla standart hale getirilerek ortaya konulmuş deprem ivme spektrumları kullanılır. Bu ivme spektrumları farklı zemin sınıflarına ve deprem düzeylerine göre yapıya etkiyecek deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ancak çok katlı yüksek yapılarda sadece doğrusal yöntemle tasarım yapıldığı takdirde yapı, ekonomik olmayacak ve estetik olarak birtakım sorunlar barındıracaktır. Yapı sistemine etkiyen dış yükler altında kesitlerin karakteristik dayanımları ele alınarak yapılan boyutlandırmada oldukça büyük kesitler ortaya çıkabilir. Dayanıma göre tasarımla (DGT) ön boyutlandırma yapılan taşıyıcı sistem elemanları Şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞDGT) yöntemiyle kontrol edilmelidir. Böylece doğrusal olmayan analizler sonucu yapılan tasarımla taşıyıcı sistem elemanları daha narin ve ekonomik boyutlandırılmaları mümkündür.

Şekil değiştirmeye göre analiz yöntemleri içinde Artımsal İtme Analizi veya Zaman Tanım Alanı yöntemleri seçilebilir. Taşıyıcı sistemin modellenirken çerçeve elemanlar, doğrusal analizde çubuk elemanlarla, doğrusal olmayan analizde ise yayılı veya yığılı

plastisite yaklaşımı çerçevesinde plastik mafsalların tanımlandığı çubuk sonlu elemanlar ile yapılabilmektedir. Perde duvarların modellenmesi için de yayılı plastisite yaklaşımı çerçevesinde lif (fiber) elemanları kullanılabilir.

2.2. ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIM

Şekil değiştirmeye göre tasarım, yapılarda taşıyıcı sistemin belirlenmesinde kullanılan iki ana yaklaşımdan biridir. Doğrusal olmayan sünek davranışa ilişkin birim şekil değiştirmeler doğrultusunda kesitlerin dayanım kapasiteleri, öngörülen performans hedeflerine uygun olarak deprem talepleri ve iç kuvvetlerle karşılaştırılır.

2.2.1. Performans Hedefleri

Şekil değiştirmeye göre tasarım çerçevesinde, yönetmelikte belirtilen deprem düzeyleri için sismik titreşimler altında yapının taşıyıcı elemanlarında meydana gelebilecek hasar yönetmeliklerde belirlenen limitlere göre boyutlandırılır ve kabul göre bu limitlere göre kontrolü sağlanır. Kabul edilebilir hasar limitleri TBDY-2018'de performans hedefleriyle birlikte belirtilmiştir. Şiddetli depremlerde eleman bazında oluşan hasar genellikle elastik sınırların ötesinde kaldığından doğrusal olmayan analiz yöntemleri performans tasarımı ile doğrudan bağlantılıdır. Yüksek bina tasarımında TBDY-2018'de belirtilen performans hedefleri aşağıda açıklanmıştır. Performans düzeyleri arasındaki "performans bölgeleri" Şekil 2.1'de görüldüğü gibi tanımlanır.

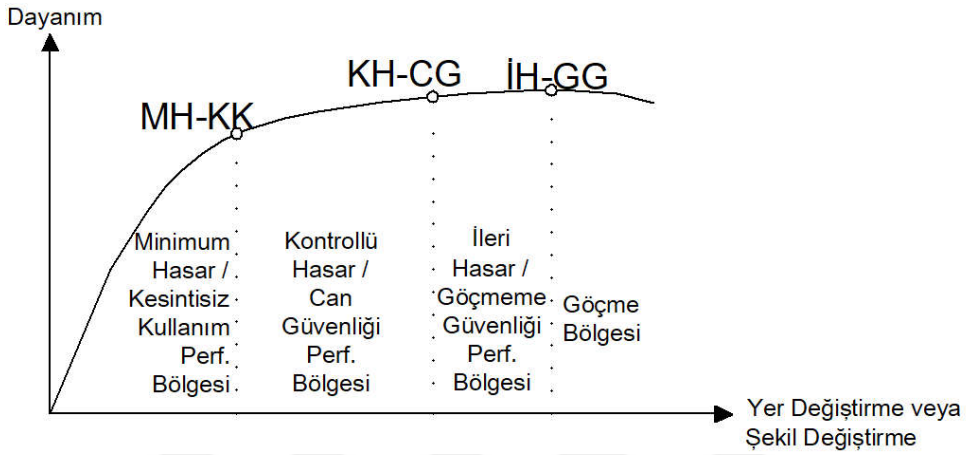
Kesintisiz Kullanım (KK): Taşıyıcı sistem elemanlarının hasar almadığı veya oluşan hasarın ihmal edilebilir durumda olduğunu belirtir. Bu ihmal edilebilir hasarın, deprem sonrasında binanın kullanımında hiçbir kesinti olmadan onarılması mümkün olmalıdır. Yapı deprem hemen sonra da kullanılmaya devam edilebilmelidir.

Sınırlı Hasar (SH): Taşıyıcı sistem elemanlarında belirli oranda hasarın gözlendiği ve kesitin plastik dönme davranışının sınırlandırıldığı hasar düzeyidir. Seyrek olarak meydana gelebilecek şiddetli depremlerde binada can güvenliğini tehdit edecek düzeyde hasar meydana gelmemelidir. Yapısal olmayan elemanların, kısa süreli onarımlarla işlevlerini görebilmeleri mümkün olmalıdır.

Kontrollü Hasar (KH): Bina taşıyıcı sistem elemanlarındaki hasarın can güvenliğini sağlayabilecek derecede olduğu kabul edilen düzeydir, yapının onarılması mümkündür ancak onarım maliyeti her zaman ekonomik olmayabilir. Çok seyrek olarak meydana gelebilecek

çok şiddetli depremlerde binada kısmi veya toptan göçmeye yol açacak mertebede hasar meydana gelmemelidir.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ): Taşıyıcı sistemin kısmen veya tamamen göçmesinin önlendiği duruma karşılık gelir. Yapının tamamen kullanıma kapatılması veya onarım maliyetinin çok yüksek olması anlamına gelir.



Şekil 2.1: Performans bölgeleri (TBDY,2018).

TBDY-2018'de tasarlanacak çok katlı yüksek yapıda Normal Performans Hedefi ve İleri Performans Hedefinin seçilmesi için Tablo 2.1'de gösterilen tablo verilmiştir. Performans hedeflerinin seçilmesinde deprem yer hareketi düzeyleri ve deprem tasarım sınıfları belirleyici olmaktadır.

Tablo 2.1: Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları (TBDY-2018).

Deprem Yer H. Düzeyi	**Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar (BYS=1)**			
	DTS 1,1a,2,2a,2a,4,4a		DTS 1,1a,2,2a,2a,4,4a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT (3)	KH	DGT (3,4)
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

(3) Ön tasarım olarak yapılacaktır.
(4) I=1.5 alınarak uygulanacaktır.

Şekil değiştirmeye göre yapılan tasarımda taşıyıcı sistem elemanlarının elastik sınırların ötesinde yaptığı davranışlara kabul edilebilir düzeylerde izin verilir. Bu durumda yapının performansını taşıyıcı sistem elemanlarının genel durumu belirler. Şekil değiştirmeye

göre değerlendirme yapılabilmesi için yer değiştirme ve şekil değiştirme sınırlarının Denklem 2.1 ile sağlanması gerekmektedir.

$$\varnothing_r \geq \varnothing_d$$

$$d_r \geq d_d \tag{2.1}$$

Şekil değiştirmeye göre tasarım yapılabilmesi için elemanda şekil değiştirme ve yer değiştirme kapasitesinin yeterli olması gereklidir. Kesit gevrek veya yeterince sünek olmadığında taşıyıcı sistemde bu tasarım yöntemi için kabul edilmemektedir.

Çok katlı yüksek yapılar için deprem yönetmeliğinde yeni yapılacak betonarme ve çelik binaların DD-2 tasarım depreminde (50 yıl; %10 aşılma olasılığı) kontrollü hasar performans düzeyini sağlaması beklenmektedir. Açık bir kayıt olmasa da yönetmelik DD-1 depreminde Göçmenin Önlenmesi performans düzeyinin kapasite tasarım ilkeleri ve konstrüktif kurallara uyularak sağlandığı ve DD-3 ile Sınırlı Hasar performans düzeyinin doğrudan sağlandığını kabul eder. Sınıflandırma sünek elemanlar için geçerlidir, gevrek elemanlar sınıflandırmaya dâhil edilemez.

2.3. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ

Zaman tanım alanında analiz, yapının doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle deprem talebinin hesaplanması için en kesin ve güvenilir yöntem olarak kabul edilmektedir. Yapısal taşıyıcı sisteme ait hareket denklemlerinin zaman tanım alanında integrasyon yöntemiyle çözümüdür. TBDY-2018'e göre zaman tanım alanında hesap yöntemi, tüm bina türleri için kullanılabilir ancak çok katlı yüksek binalarda (BYS=1) zorunlu tutulmuştur.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yönteminde, yapının özelliklerine uygun, daha önceden gerçekleşmiş ve istasyonlarda kaydedilmiş, yapay veya benzeştirilmiş deprem kayıtları kullanılır. Bu analiz yöntemi bazı dezavantajları sebebiyle çok özel projeler dışında fazla tercih edilmemektedir. Analizde kullanılacak depremlerin seçilmesi ve ölçeklenmesinin zorluğu, yapılan kabullerin sayıca çok olması, deprem kayıtlarındaki zaman adım sayılarının çok fazla olmasından dolayı artan analiz süreleri ve çok büyük hacimlerdeki verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanmasının çokça vakit alması zaman tanım alanında analizin dezavantajları arasında sıralanabilir.

2.3.1. **Zaman Tanım Alanında Deprem Etkisi**

Deprem yönetmeliklerinde, tasarım ivme spektrumu, belirli bir alandaki deprem tehlikesi olarak tanımlanır. Bu yüzden zaman tanım alanında analiz yapılırken yapıya ait bu tasarım ivme spektrumu ile uyumlu deprem ivme kayıtları kullanılmalıdır. Yapılacak analizlerde kullanılacak olan deprem kayıtları için yönetmeliklerde belli koşullar gözetilmiştir. Yapının analizinde kullanılmak üzere birbirine dik doğrultularda en az 11 takım deprem kaydı seçilmelidir. Seçilen deprem kayıtlarının içinde bir depreme ait ivme kaydı her iki yatay bileşen için kullanılamaz, her depremin ve bileşenin kendine özgü kaydı olmalıdır. Bu deprem kayıtları deprem esnasında istasyonlar tarafından kaydedilmiş gerçek ivme kayıtlarından seçilebilir. Yeterli deprem kaydı bulunamadığı durumlarda gerçek deprem kayıtları ölçekleme yapılarak türetilebilir veya yapay olarak üretilerek elde edilebilir. Deprem kayıtlarının seçiminde yapının tasarım spektrumuna veya büyüklük, fay hattına olan mesafesi, zemin özellikleri gibi parametreler kullanılır (Özdemir ve Fahjan, 2007).

2.3.2. **Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi**

Yapıdaki taşıyıcı sistemin, zaman tanım alanında analizi yapılırken kullanılacak hedef tasarım spektrumu ile uyumlu deprem kayıtlarının seçiminde, deprem büyüklükleri, fay hattına olan mesafesi, kaynak mekanizmaları ve konuma bağlı zemin özellikleri dikkate alınmalıdır.

Deprem kayıtlarının seçiminde, depremin şiddeti frekans içeriği ve ivme kaydının süresi etkili faktörlerdendir. Maksimum yer ivmesi değeri, zemin koşulları ve depremin merkez üssü uzaklığı da yapıya göre ivme kayıtları seçilmesinde önemlidir. Yapılara ait taşıyıcı sistemler deprem durumunda farklı periyotlarda farklı davranışlar sergiler. Bu durumda sistemin analizi için hem güvenli tarafta kalmak hem de analizin güvenilirliği adına en elverişsiz frekans değerine sahip deprem kayıtları en doğru seçim olacaktır. Seçilecek deprem kayıtları her iki yön için en az 11 olacaktır. İstenen nitelikte depremlerle sayı tamamlanamadığında yapay deprem kayıtları kullanılabilir. Aynı depremden seçilecek deprem kayıtları en fazla 3 adet olabilir. Seçilen deprem kayıtları, zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında uygulanacak yöntemlerle ölçeklenebilir. Ölçeklendirilecek depremin deprem yer hareketi düzeyine ve yapıya ait tasarım spektrumuna yakın olması ölçeklendirme işlemini kolaylaştırır ve ölçekleme işleminde hata payını azaltır. Frekans tanım aralığında ise deprem kaydının frekansı tasarım ivme spektrumuna uygun olarak değiştirilir.

Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi, deprem kaydının yalnızca genliğine odaklanır. Bu yöntemde, deprem kaydı hedef tasarım ivme spektrumuna uygun şekilde aynı ölçeklenerek istenilen periyot aralığında hesaplanır. Bu işlemle sadece deprem kaydının genliği değiştirilmiş olur.

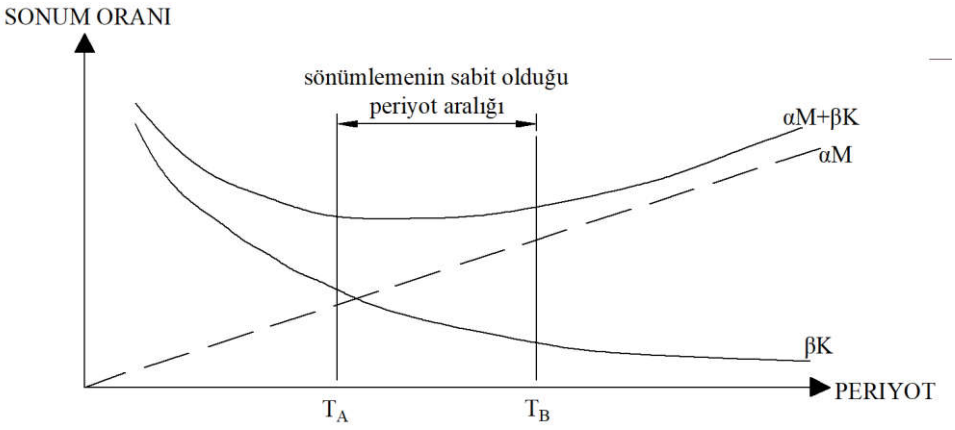
Frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi, istasyonlarda deprem anında kaydedilen ivme kayıtlarının, yapının tasarım spektrumuyla örtüşen, bu ivme spektrumuna benzer yeni bir ivme kaydının türetilmesidir. Bu frekans tanım alanında elde edilen deprem kaydı zaman tanım alanında irdelenerek davranış spektrumu elde edilir ve sürdürülen iterasyonlar neticesinde davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumunun yeteri kadar eşleşmesi beklenir.

TBDY-2018'de deprem kayıtları ölçeklendirilirken dikkate alınması gereken şartlar belirtilmiştir. Seçilen her bir deprem yer hareketi için sönüm oranı ölçeklendirilmiş yatay deprem bileşenlerinde %5 olarak kabul edilir. Deprem spektrumlarının genliklerinin ortalaması, kareleri toplamının kare kökü (SRSS) mod birleştirme tekniğiyle elde edilir. Elde edilen deprem spektrumlarının genliklerinin ortalaması, $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları aralığında yatay ivme spektrumunun genliklerinden daha küçük olmaması ve üç boyutlu hesapta ise iki spektrumun $0.2T_p$ ve $1.5\ T_p$ periyotları arasındaki oranın 1.3'ten daha küçük olmaması istenmektedir. Bu durumun sağlanması için tasarım spektrumu 1.3 ile çarpılabilmektedir Karşılaştırılan iki spektrumun, 0 saniye periyodundaki spektral genliğine bakıldığında yer hareketlerinin ortalama spektrumundaki değer, tasarım spektrumundaki değere göre en az $0.4S_{MS}$ olmalıdır. Tez çalışmasında, ölçeklenen her bir deprem kaydının ±0.5g'yi aştığı ilk ve son saniyeler arasında geçen zaman, yapının birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacak şekilde ele alınmıştır (İYBDY, 2008).

2.3.3. **Sönüm Oranı**

Doğrusal olmayan analizlerinde sönüm modeli ve sönüm oranının gerçeğe yakın tayin edilmesi, yapı hesabının doğruluğu ve güvenilirliği bakımından çok önemlidir. Sönüm modellerinin hesabı ve etkileri yapı modelinin dinamik özelliklerine ve davranışına göre değişkenlik göstermektedir. Doğrusal viskoz sönümü modelleyen Rayleigh sönüm modeli en yaygın kullanılan modeldir. Sönüm oranları, yapının başlıca modlarındaki uzun periyotların belli bir değerin altında kalmasını sağlamaktadır.

Şekil 2.2'de görülen Rayleigh sönüm oranlarında verilen "C" sönüm matrisi, kütle ve rijitliklerin her bir periyot değerinde katılımlarını α ve β katsayıları ile verir.



Şekil 2.2: Rayleigh sönüm oranında kütle ve rijitlik bileşenleri.

Yapının iki modunun frekansı ve bu modlara ait sönüm oranları biliniyorsa Rayleigh sönüm oranları Denklem 2.2 ile bulunabilir.

$$\begin{bmatrix}\zeta_i\\ \zeta_j\end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix}\frac{1}{\omega_i} & \omega_i\\ \frac{1}{\omega_i} & \omega_j\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\eta\\ \delta\end{bmatrix} \tag{2.2}$$

2.4. DEPREM ETKİSİ ALTINDA HESAP VE MODELLEME

2.4.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Türkiye'de meydana gelen büyük hasarlara yol açan depremler doğrultusunda Türkiye'nin ana tektonik yapısı esas alınarak yapılan çalışmalarla Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları hazırlanmıştır. Dört deprem düzeyi için S_s (kısa periyot bölgesi) ve S_1 (T=1.0sn için) spektrum katsayıları tanımlanmıştır. Bu katsayılar konuma, oluşan depremlere, fay hatlarına uzaklığına ve bölgelerin deprem riskine bağlı tutulmuştur. %5 sönüm oranı ve kayma dalga hızı $(Vs)_{30}$=760 m/s olan zemin profili, referans kabul edilmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı ve tekrarlanma periyotları için DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak isimlendirilen dört deprem düzeyi için verilmiştir. Deprem hareket düzeylerine ait aşılma olasılıkları ve tekrarlanma periyotları Tablo 2.2'de verilmiştir. DD-2 depremi tasarım depremi, DD-4 ise kullanım depremi olarak adlandırılmaktadır (TBDY, 2018).

Tablo 2.2: Deprem yer hareketi düzeyleri (TBDY, 2018).

Deprem Düzeyleri	Aşılma Olasılığı	Tekrarlanma Periyodu
DD-1	2%	2475
DD-2	10%	475
DD-3	50%	72
DD-4	68%	43

2.4.2. Spektral İvme Katsayıları ve Tasarım Spektrumu

S_s ve S_1 değerleri tüm Türkiye için aynı zemin sınıfı kabul edilerek g yer çekimi ivmesine göre boyutsuz birer katsayı olarak hesaplanmıştır. Bu katsayılar ve yerel zemin sınıfları için belirlenen Yerel Etki Katsayıları (Tablo 2.3 ve Tablo 2.4) kullanılarak S_{DS} ve S_{D1} Spektral İvme Katsayıları elde edilir ve deprem spektrumu bu iki katsayıya bağlı olarak türetilir.

$$S_{DS} = S_S F_S \qquad (2.3)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1$$

Tablo 2.3: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları F_s.

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı 'F_s'					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s=0.50$	$S_s=0.75$	$S_s=1.00$	$S_s=1.25$	$S_s=1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1	1
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 2.4: 1 Saniyelik periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları F_1.

Yerel Zemin Sınıfı	1 Saniyelik Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı 'F_1'					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1=0.20$	$S_1=0.30$	$S_1=0.40$	$S_1=0.50$	$S_1=0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Deprem tasarım sınıfları ve bina kullanım sınıfları da bu katsayılara göre belirlenir. Yatay elastik tasarım spektrumu $S_{ae}(T)$, yer çekimi ivmesine göre Denklem 2.4 ile "g" cinsinden hesaplanır (Bknz. Şekil 2.3).

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6\,\frac{T}{T_A}\right) \qquad (0 \le T \le T_A) \tag{2.4}$$

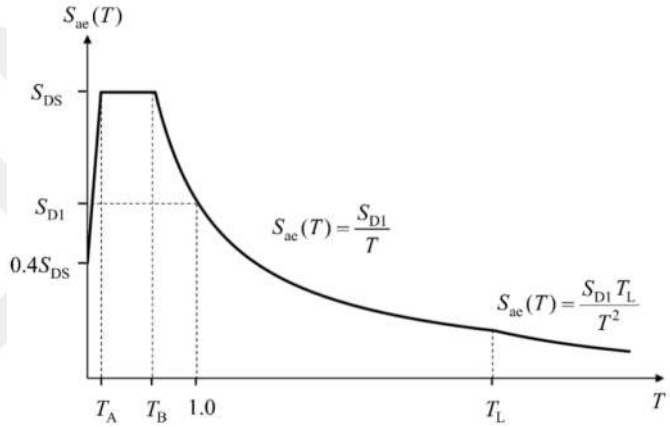
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \qquad (T_A \le T \le T_B)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \qquad (T_B \le T \le T_L)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \qquad (T_L \le T)$$

$$T_A = 0.2\,.\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \qquad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

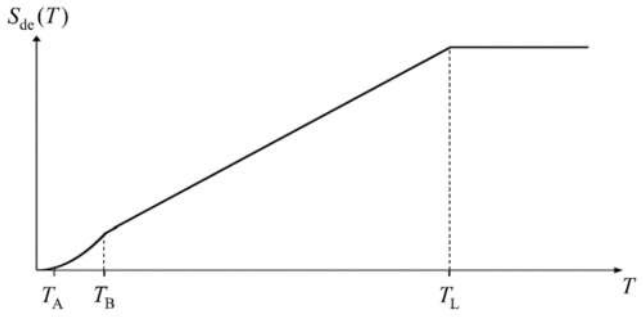
Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu T_L = 6 sn'dir.



Şekil 2.3: Yatay elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2018).

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yer değiştirme spektrumunda bulunan değerler, S_{de} (T), yapının doğal titreşim periyoduna bağlıdır, Denklem 2.5 ile hesaplanır ve "m" cinsinden tanımlanır (Bknz. Şekil 2.4) (TBDY, 2018).

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2}\, g\, S_{ae}(T) \tag{2.5}$$



Şekil 2.4: Yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri (TBDY, 2018).

2.4.3. **Deprem Tasarım ve Bina Yükseklik Sınıfları**

Yapıların deprem tasarımında kullanılacak Deprem Tasarım Sınıfları belirlenirken DD-2 deprem yer hareketi için elde edilmiş S_{DS} kısa periyot ivme katsayı değeri ve yapının bina kullanım sınıfına bakılır. Belirlenen deprem tasarım sınıfı yapılarda bina yükseklik sınıfı ve hedeflenen performans düzeyleri için sınır durum oluşturur. TBDY-2018'de tanımlanan Deprem Tasarım Sınıfları Tablo 2.5'te gösterilmiştir.

Tablo 2.5: Deprem tasarım sınıfları (TBDY-2018).

DD-2 Deprem Yer Hareketi **Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı**	**Bina Kullanım Sınıfı**	
	BKS=1	BKS=2,3
$S_{DS}<0.33$	DTS=4a	DTS=4
$0.33\leq S_{DS}<0.50$	DTS=3a	DTS=3
$0.50\leq S_{DS}<0.75$	DTS=2a	DTS=2
$S_{DS}\geq 0.75$	DTS=1a	DTS=1

Bina yüksekliğinin belirlenmesi için, binanın tabanından itibaren yapı yüksekliğinin bilinmesi gerekir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre rijit bodrum perdeleriyle bodrumlu bina olma koşulunu sağlayan yapılarda, bina yüksekliği zemin kat döşemesinden itibaren hesaplanır. Bodrumu bulunmayan veya bodrumlu yapı olma koşulunu sağlamayan yapılarda ise bina yüksekliği, temel üst kotundan itibaren ölçülerek elde edilir. Bina yükseklik sınıfları da bu kriterlere göre ölçülen bina yüksekliğine ve belirlenen deprem tasarım sınıfına dayanılarak seçilir. Bina yükseklik sınıflarına ait değerler Tablo 2.6'te verilmiştir. Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) = 1 olan binalar, yüksek bina olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 2.6: Bina yükseklik sınıfları (TBDY-2018).

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (m)		
	DTS=1,1a,2,2a	DTS=3,3a	DTS=4,4a
BYS=1	$H_N>70$	$H_N>91$	$H_N>105$
BYS=2	$56<H_N\leq70$	$70<H_N\leq91$	$91<H_N\leq105$
BYS=3	$42<H_N\leq56$	$56<H_N\leq70$	$56<H_N\leq91$
BYS=4	$28<H_N\leq42$	$42<H_N\leq56$	
BYS=5	$17.5<H_N\leq28$	$28<H_N\leq42$	
BYS=6	$10.5<H_N\leq17.5$	$17.5<H_N\leq28$	
BYS=7	$7<H_N\leq10.5$	$10.5<H_N\leq17.5$	
BYS=8	$H_N\leq7$	$H_N\leq10.5$	

2.5. SİSMİK SÖNÜMLEYİCİLER

Yapılarda dış faktörlerden kaynaklanan titreşimleri azaltmak amacıyla enerji sönümleyici teknolojiler kullanılmaktadır. Sönümleme, bir sistemin titreşim enerjisinin yavaşça azaldığı ve sonunda sistemin titreşiminin tamamen ortadan kalktığı bir süreçtir. Bu sönümleme süreci, sismik titreşimi azaltmak için yapının kapasitesini arttırmak yerine, yapının deprem talebini azaltma esasına dayanır. Titreşim genliğinin azalma hızı, sönüm miktarına bağlıdır. Dış etkilerden kaynaklanan titreşimlerin azaltılması için yapıyı rijitleştirme, kütleyi arttırma, yapının aerodinamiğini değiştirme ve yardımcı sönümleme cihazı gibi birçok yolu vardır. Yapı elemanlarının kapasiteleri arttırılabilir, kesitler büyütülebilir veya farklı güçlendirme teknikleri kullanılabilir. Sismik sönümleyiciler, yapıya beklenen sünekliği kazandırır, kesit ebatlarını minimum tutulmasını sağladığından ekonomik olarak fayda sağlar. Yapının hasar almadan maksimum performansını korumasına yardımcı olur. Yapıdaki titreşimi azaltarak göreli kat ötelemeleri ve dengesizliklerin getirdiği problemleri en aza indirir.

Bu yöntemlerle tarihi bina ve değerlerin korunması, can ve mal kaybının önlenmesiyle birlikte inşaat ve onarım maliyetlerinde azalma, iş ve pazar payı kaybının minimuma indirilmesi gibi pek çok önemli avantajları vardır. Bu avantajlar günümüzde sismik sönümleyicilerin yaygın kullanılmasının önünü açmaktadır ve depremden sonra kullanıma devam edilmesi gereken yapılarda özellikle tercih edilmektedir. İtfaiye, hastane ve koordinasyon merkezleri, köprü, otoyol, iletişim ve enerji merkezleri, önemli fabrika ve altyapıların korunması afet sonrasında koordinasyonun sağlanması ve gerekli müdahalenin

yapılabilmesi için hayati öneme sahiptir. Çok katlı yüksek yapılarda deprem etkileri kadar rüzgâr etkilerinin de dikkate alınması gerektiğinden sönümleyici cihazlara daha çok ihtiyaç duyulur. Titreşim sönümleyici cihazlar üç grupta incelenir:

1. Aktif kontrol sistemleri
2. Pasif kontrol sistemleri
3. Karma kontrol sistemleri

Aktif kontrol sistemleri, dışarıdan bir güç kaynağına ihtiyaç duyar. Ancak aktif sistemlerin dışarıdan bir bilgisayar yardımıyla destekleniyor oluşu, değişken dış yüklere karşı yapının tepkilerini sınırlayarak tamamen kontrol altında tutulabilmesini sağlar. Aktif tendon, aktif destek, darbe harekete geçirici ve aktif ayarlı kütle sönümleyicileri bu tanıma uymaktadır. Aktif kontrol sistemleri ile yapılardaki titreşim daha kolay kontrol edilmesine rağmen aktif sistemlerin yüksek maliyetleri yaygınlaşmasının önünde engel olarak durmaktadır.

Pasif kontrol sistemleri ise salınımın olmadığı durumlarda hareketsizdir yalnızca dışarıdan gelen bir kuvvetle çalışmaktadır. Esas olarak iç sürtünme ve plastik deformasyonlarla enerjinin soğurulmasını sağlar. Pasif kontrol sistemleri diğer kontrol sistemleriyle kıyaslandığında daha geleneksel, pratik, ekonomik ve güvenilir görünmektedir. Mevcut yapı üzerine kurulabiliyor olması, güçlendirilmesi gereken, eski veya hasarlı binalar için ciddi avantaj sağlar. Taban yalıtım sistemleri ve enerji sönümleyebilen sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Taban yalıtım sistemleri yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Zemin ile yapı arasındaki etkileşimi azaltarak zemin yer değiştirmesinin yapıya olabildiğince az etki etmesini sağlar. Başlıca öne çıkan pasif kontrol sistemleri; ayarlı kütle ve sıvı sönümleyiciler, viskoz sıvı sönümleyiciler, mekanik ve viskoelastik sönümleyicilerdir.

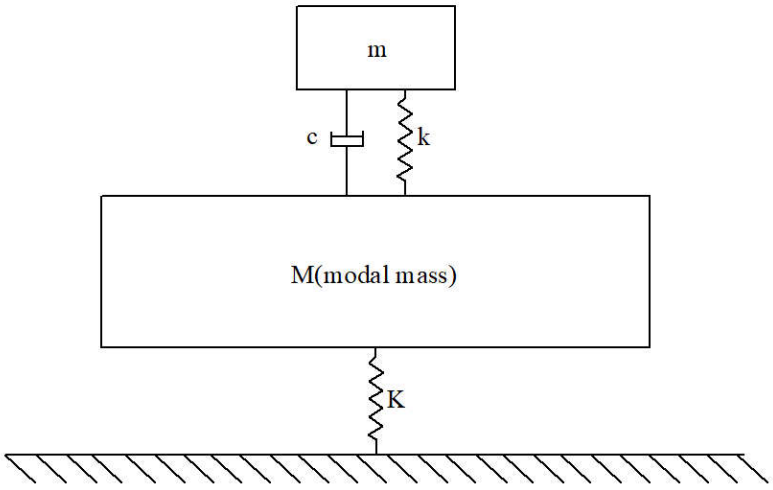
Sürtünmeli sönümleyiciler yapıdaki kirişlere paralel olarak eklenir ve hidrolik olarak kayma sürtünmesi ile sönümlemeyi gerçekleştirir. Mekanik sönümleyiciler gibi dış etkenlerden etkilenirler ve değiştirilmeleri gerekebilir. Mekanik sönümleyiciler plastik deformasyonla enerjiyi üstlerinde toplar ve yumuşak çelik malzemesiyle deformasyona uğrayarak enerjiyi dağıtır. Bu durumda değiştirilmeleri gerekir.

Viskoz sıvı sönümleyiciler, temelde çelik bir pistonun içine koyulan yağ ile çalışır. Isıya dayanıklı ve geniş frekans bandına sahip olmaları ağır sanayi ve askeri alanda yaygın kullanılmasını sağlar.

Pasif ayarlı kütle sönümleyiciler genelde yapının birinci modu esas alınarak ayarlanır. Diğer modlarda verimli çalışmaması ayarlı kütle sönümleyiciler için tercih sebebi olmaktadır.

Yapısal deplasmanların maksimum olduğu en üst katlara kolaylıkla yerleştirilebilir ve sürtünme ile sönümlemeyi sağlar. Dar bir frekansla sınırlandırılması, yanlış ayarlamaya karşı hassas olması ve sistemi barındırmak için özel bir alana ihtiyaç duyması gibi bazı dezavantajlar da mevcuttur. Ayarlı sıvı sönümleyiciler de aynı prensiple çalışır. Yapının en üst katlarına yerleştirilir ve yer çekimi kuvvetiyle oluşan sıvı hareketi yapıdaki enerjinin sönümlenmesini sağlar.

Ayarlı kütle sönümleyici (AKS), yay, kütle ve amortisörden oluşan ana yapıya yerleştirilmiş etkin bir pasif kontrol cihazıdır. Şekil 2.5'te AKS temel prensibi gösterilmiştir. Bir AKS, bağlandığı ana yapının titreşim parametrelerini değiştirir ve dinamik etkenlerden oluşan enerjiyi dağıtır. Mevcut cihazlar arasında, eklenen kütle, bir yay ve yapıya bağlı bir viskoz sönümleyiciden oluşan ayarlı kütle sönümleyici (AKS), en basit ve en güvenilir kontrol cihazlarından biridir. Eklenen ikinci kütlenin ana yapıya kütle oranı belirlenerek, iki kütle arasındaki optimum frekans oranı ve ikinci kütlenin optimum sönüm oranı elde edilebilir.



Şekil 2.5: AKS temel prensibi.

AKS parametrelerinin seçimi, titreşim kontrolünde, verimliliklerini ve optimizasyonunun doğruluğu açısından tasarımlarının kilit noktasıdır. AKS'nin verimli çalışabilmesi için, optimum parametrelerinin (optimum ayar frekans oranı ve optimum sönümleme oranı) belirlenmesi çok önemlidir. AKS uygun bir kütle ve yay sabiti seçildiğinde, tahmini deprem hareketi ile faz dışı olan bir frekans aralığına "ayarlanabilir", böylece yer değiştirme ve ivme tepkilerini içeren dinamik tepkilerini azaltır.

Dünyada inşa edilmiş gökdelenlerin pek çoğunda da örnekleri görülebilmektedir. New York City'deki Citigroup Center ve Trump World Tower, Yokohama'daki Yokohama

Landmark Tower, Dubai'deki Burj Al Arab, Taipei'deki Taipei 101 gibi örnekler fazlasıyla sayılabilir. Çok katlı yüksek yapılardaki bu titreşimleri azaltmak için Tayvan'daki Taipei 101 binasına sarkaç tipi bir AKS uygulanmıştır. 1990 yılında tamamlanan Osaka'daki 37 katlı Crystal Tower, Japonya'da AKS'li ilk yüksek bina ve dünyada titreşim kontrolü amacıyla sarkaç tipi kütle sönümleyici kullanan ilk binadır.

AKS'lerin dezavantajları vardır: kurulum için geniş bir alana, sistemin yapı ile rezonans içinde olması gerekliliğinden kaynaklanan büyük yer değiştirmelere uyum sağlamak için yeterli alana ve sürtünmeyi azaltmak ve kolaylaştırmak için pürüzsüz bir yüzeye ihtiyaç duyarlar. AKS yapıya göre ayarlandığından tek mod dışında diğer modları ortaya çıkaran depremlerle karşılaşıldığında tam verim göstermez. Bu nedenle çoklu AKS'ler bu soruna çözüm olarak düşünülmüştür. Ayrıca bazı araştırmacılar yarı aktif ayarlı kütle sönümleyiciler (Abe ve Igusa, 1996; Aldemir, 2003; Nagarajaiah ve Varadarajan, 2000) ve aktif ayarlı kütle sönümleyiciler (Soong, 1990; Samali ve Al-Dawod, 2003; Spencer ve Nagarajaiah, 2003; Guclu ve Yazici, 2008; Yang ve diğ., 2004) önermişlerdir. Bu kontrol tekniklerinin avantajları birçok araştırma ve gerçek uygulamalarla kanıtlanmıştır.

AKS sistemi için optimum kütle, sönüm ve rijitlik değerlerinin elde edilmesi yapıların sismik tasarımında oldukça önemlidir. Kütle oranı (λ), frekans oranı (f_D) ve sönüm oranının (ξ_D) optimum değerlerine sahip olması için farklı algoritmalarla pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu parametreler guguk kuşu arama (CS), kuvvet analojisi gibi çok amaçlı bir algoritma kullanılarak hesaplanabilir. Bekdaş ve Nigdeli, 2011,2013,2017; metasezgisel uyum arama yöntemini kullanarak sismik uyarılar altında optimum AKS parametrelerinin bulunmasını önermiştir. Ayrıca AKS için kütle oranı faktörünün etkilerini de araştırmış tasarım değişkenlerini elde etmek için frekans tabanlı bir optimizasyon tekniği geliştirmişlerdir.

Bir AKS'nin boyutu, küçük bir kütle oranı ve büyük bir yapı ile karakterize edilir. AKS kütlesi yapı kütlesinin %1'i kadar olup yapıya etkiyen dinamik yükleri azaltmak amacıyla genel olarak yapının en üst katına yerleştirilir. Kütle oranı %1'e eşit olduğunda bile bu sistemde fazladan ağırlık demektir ve yüksek binaların çatılarında oldukça büyük bir AKS'yi barındırmak mimari açıdan bir sorun haline gelebilir. Doğal frekansların düzgün dağılımına sahip çok sayıda ayarlanmış kütle sönümleyiciden (AKS'ler) oluşan çoklu ayarlı kütle sönümleyicileri (Multi-AKS), yer ivmesi altında bir yapının istenmeyen titreşimini azaltmak için dikkate alınabilir. Bu da birden fazla katta teknik sistemler için alan kullanımı demektir.

Gelişmekte olan ülkelerde ayarlı kütle sönümleyici gibi sönümleyicilerin yaygın kullanılması için ideal ortamın oluşması adına karma sistemlere başvurulabilir. Kauçuk izolatörler en yaygın sismik sönümleyicilerdir. Bu bağlamda kauçuk izolatörler, ayarlı kütle sönümleyici yaklaşımıyla değerlendirilerek elde edilen karma sistem, bu tez çalışmasında konu olmuştur. Karma sistemler, aktif ve pasif sönümleyici sistemlerin yapıda birlikte kullanılması olarak tanımlanabilir. Pasif kontrol sistemleri belli bir frekans aralığına ayarlandığından deprem etkisini dağıtabilme yeteneği sınırlıdır buna karşın daha güvenilir, ekonomik ve basit sistemlerdir. Aktif kontrol sistemleri ise yapının çok sayıda modu için projelendirilebilir ancak kullanılacak kuvvetin büyük olması sebebiyle temin ve kontrol edilmesiyle ilgili sıkıntıları doğabilmektedir. Karma sistemler birbirlerinin avantajlarını birleştirerek hem dezavantajları azaltır hem de daha güvenli bir şekilde uygulanabilir.

Ayarlı kütle sönümleyicilerinin en büyük dezavantajı kurulum ve sürtünmesiz salınım için geniş bir alana ihtiyacı olmasıdır. Bununla birlikte, çoğu durumda bu çözümler uygun değildir çünkü optimum AKS kütlesi, inşaat ve makine mühendisliği için pratik teknik uygulamalarda gerçek kabul edilebilir değerlerden daha büyüktür. Ayarlı kütle sönümleyici için yapının salınıma en çok tepki veren üst katına yerleştirilen kütle yerine, binanın asansör odası vb. mahaller için kullanılan en üst kottaki mekanik katın ağırlığı alternatif olarak kullanılabilir. İhtiyaca göre mekanik kat ağırlığı hesaplanarak şekillendirilebilir. Genellikle binanın tabanına yerleştirilen kauçuk izolatörler bu mekanik kata yerleştirilirse salınım yapma kabiliyeti kazanan mekanik kat, katı kütle olarak görev yapar ve ayarlı kütle sönümleyici mantığıyla yapıda titreşimleri azaltabilir. Her ne kadar ayarlı kütle sönümleyici yapının birinci doğal moduna göre efektif olarak ayarlansa da yapının diğer modlarında da etkin olarak titreşimleri azaltması söz konusu olabilir.

3. YÖNTEM

3.1. ÖRNEK YÜKSEK YAPININ TASARIMINA AİT GENEL BİLGİLER

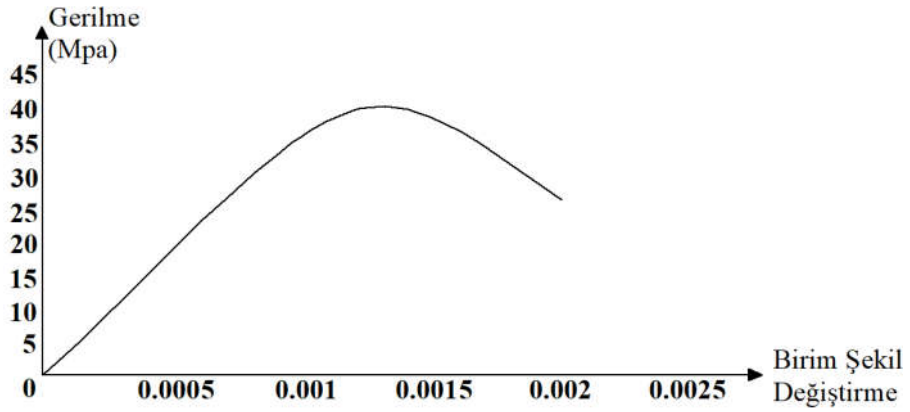
3.1.1. Kullanılan Malzemeler

Yüksek yapıların tasarım aşamalarında ön boyutlandırma yapılırken beton ve donatı çeliğinin tasarım dayanımları (f_d), malzemelerin karakteristik dayanımlarının (f_k) şartnamelerde belirlenen güvenlik katsayılarına bölünmesiyle elde edilir. Diğer tasarım aşamalarında ise beton ve donatı çeliği için tasarım dayanımları yerine beklenen dayanım (expected strength, f_e) değerleri kullanılmalıdır.

Yapıda beton sınıfı olarak C40/50 kullanılmıştır. Bu beton sınıfına ait analizlerde kullanılan tasarım dayanımları, karakteristik dayanımları ve beklenen dayanımları Tablo 3.1'de ve gerilme - şekil değiştirme grafiği ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: C40/50 sargısız betonun mekanik özellikleri (TS500).

Beton Sınıfı	Karakteristik Dayanım (MPa)			Tasarım Dayanımı (MPa)		Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı (200mm)	28 Günlük Elastisite Modülü (MPa)
	Basınç		Çekme	Basınç	Çekme		
	f_{ck}	f_{ce}	f_{ctk}	f_{cd}	f_{ctd}		Ec
C40/50	40	52	2.2	26.7	1.48	50	34000

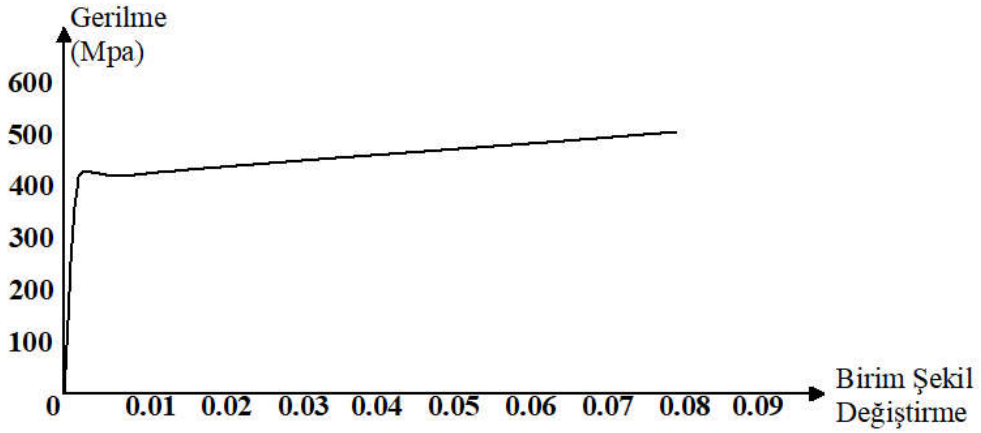


Şekil 3.1: C40/50 sargısız betonunun gerilme-şekil değiştirme grafiği (TS500).

Donatı sınıfı olarak S420A sınıfı çelik kullanılacaktır. Bu çelik sınıfına ait analizlerde kullanılan tasarım dayanımları, karakteristik dayanımları ve beklenen dayanımları Tablo 3.2'de ve gerilme - şekil değiştirme grafiği ise Şekil 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Donatı çeliğinin mekanik özellikleri (TS500).

Donatı Sınıfı	f_y(MPa)	f_e(MPa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_u(1.2xf_y)	f_{ue}(1.2xf_{ye})	E(MPa)
B420C	420	504	0.0021	0.008	0.08	504	604.8	200000

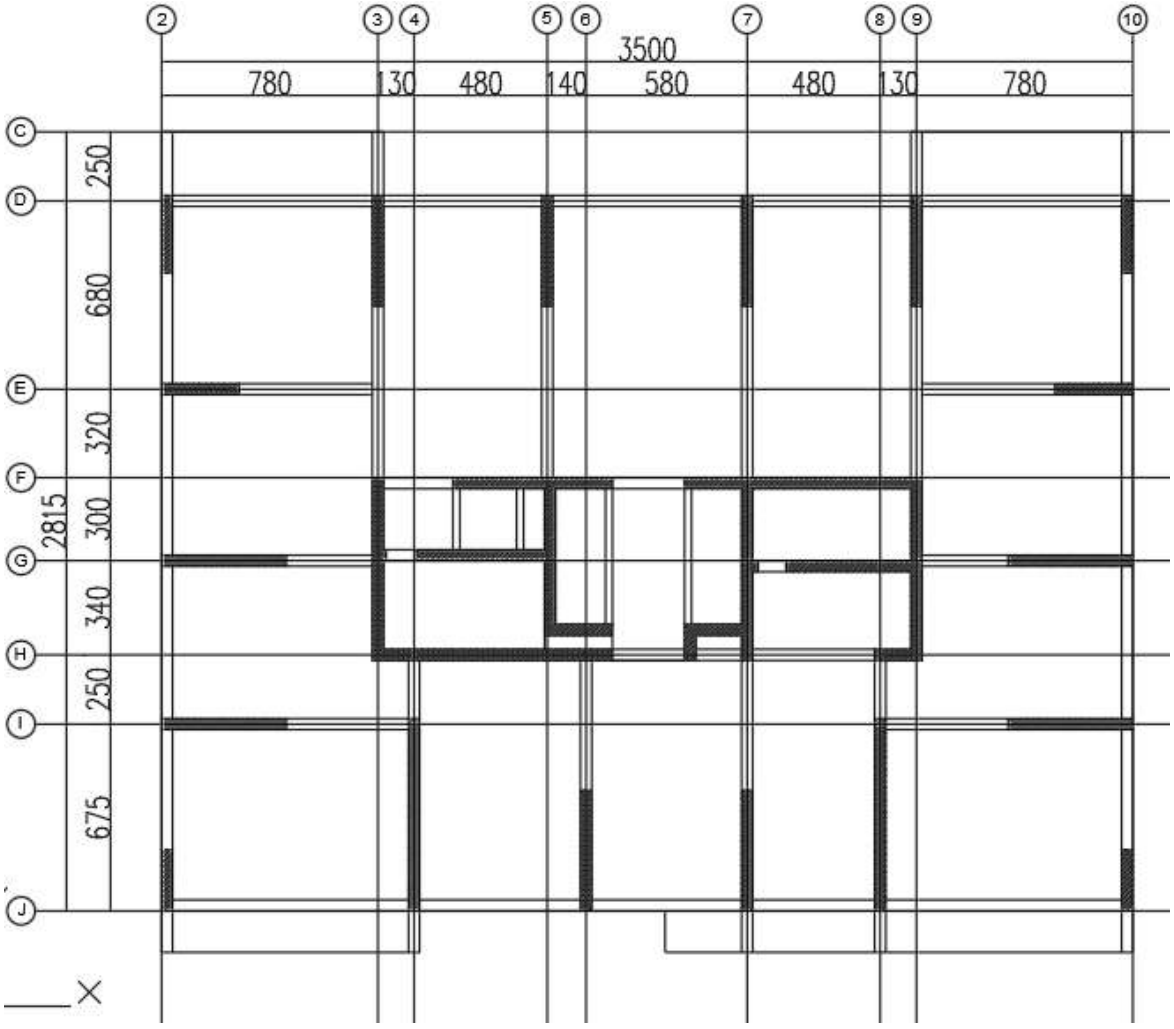


Şekil 3.2: Donatı çeliğinin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği (TS500).

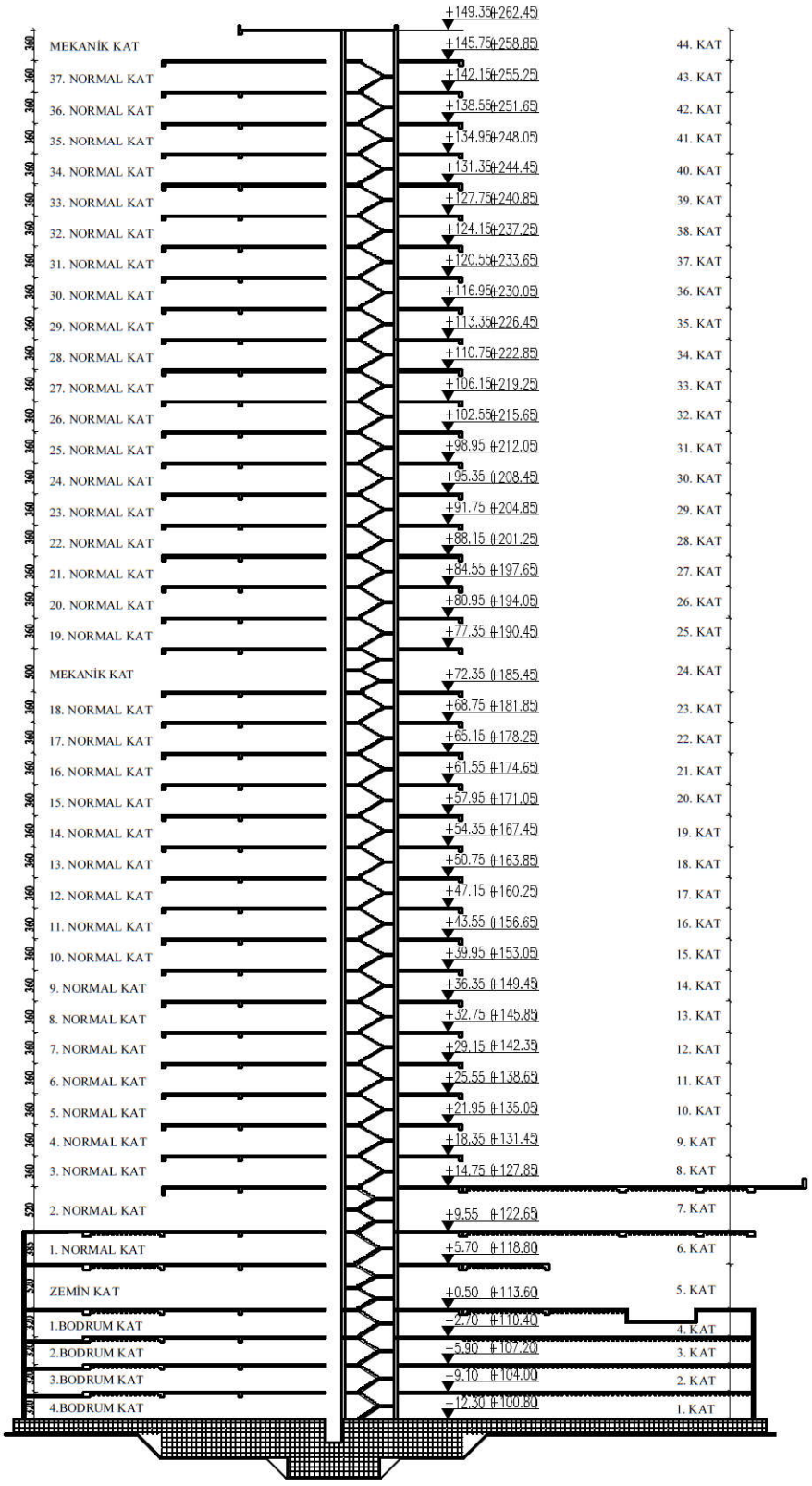
3.1.2. **Yapı Mimarisi**

Çalışma kapsamında seçilen yapı, 2015 yılında İstanbul ilinin Başakşehir ilçesinde yapılmak üzere tasarlanmıştır. Simetrik kat planına sahip yapı, 4 bodrum kat, zemin kat, 1 mekanik kat, 37 normal kat ve çatı katı olmak üzere toplam 44 kattan oluşmaktadır. Yapı, konut olarak kullanılmak üzere 2015 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 esas alınarak tasarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapı analizi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre yinelenecektir. TBDY 2018'.de yüksek binalar için yönetmelikte yer alan Bölüm 13'.te kapsamlı olarak açıklanmıştır. Zemin etüt raporunda belirtildiği üzere zemin taşıma kapasitesi 68t/m²'dir. Zemin yatak katsayısı ise 8000 t/m³ olarak verilmiştir. Yerel zemin sınıfı yapının tasarlandığı yıl geçerli şartnameye göre Z2 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında binanın konumunda zemin sınıfı ZB olarak kabul edilmiş ve bu zemin sınıfına göre deprem parametreleri belirlenmiştir. Taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve perdelerden oluşan yapı, normal katlar dikkate alındığında x doğrultusunda 35.m, y doğrultusunda 29,65.m olup toplam kat alanı 980,78 m²'dir. Geleneksel yapı sistemlerinden farklı olarak çok katlı yüksek yapılarda çekirdek perde duvarlar deprem yükü gibi yatay yüklere dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalıdır. Yapının

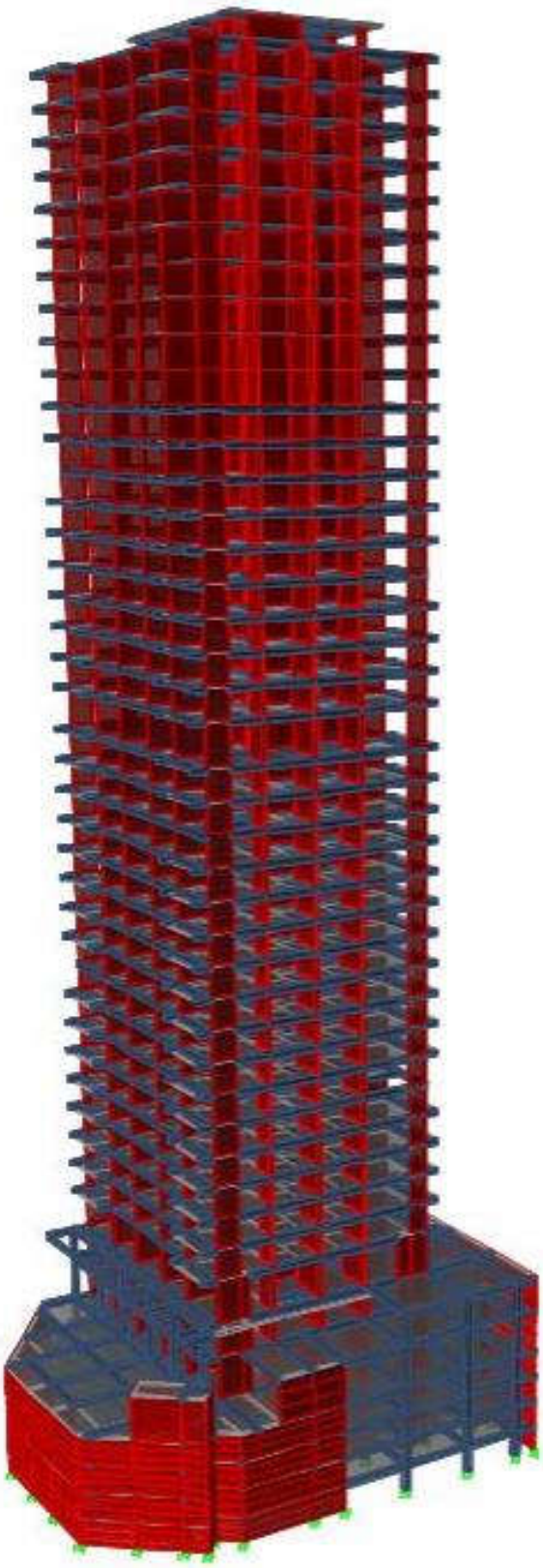
merkezinde iki betonarme perdeden oluşan ve asansör, merdiven, tesisat boşluğu gibi servis hizmetlerin bulunduğu bir çekirdek alanı vardır. Çekirdek alanı 130,68 m² olup toplam kat alanına oranı 0,133(130,68 ÷ 1036,90)' dır. Kat yükseklikleri bodrumlarda değişken olup normal katlarda 3,6 m'dir. 4 bodrum+zemin+37 normal kat olarak planlanan yapının toplam yüksekliği 161,65 m'dir. Dış akslar üzerinde farklı aralıklarda betonarme kolonlar yerleştirilmiştir. Kolonlar birbirine ve perdelere, betonarme kirişlerle bağlanmıştır. Normal kat kalıp planı (Şekil 3.3) ve yapının boy kesiti (Şekil 3.4) ve 3 boyutlu bilgisayar modeli (Şekil 3.5) verilmiştir.



Şekil 3.3: Normal katların kalıp planı.



Şekil 3.4: İncelenen yapının kat isim ve kotları.



Şekil 3.5: İncelenen yapının 3 boyutlu sayısal modeli.

Aşağıda Tablo 3.3. ile yapıda kullanılan kesitlere dair bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.3: Yapıda kullanılan kesitler.

Kesit Adı	Malzeme	Şekil
B25/60	C40/50	Dikdörtgen Kesit
B30/60	C40/50	Dikdörtgen Kesit
B40/60	C40/50	Dikdörtgen Kesit
B40/70	C40/50	Dikdörtgen Kesit
B40/80	C40/50	Dikdörtgen Kesit
B40/90	C40/50	Dikdörtgen Kesit
B80/40	C40/50	Dikdörtgen Kesit
C50/50	C40/50	Dikdörtgen Kesit
C60/60	C40/50	Dikdörtgen Kesit
C65/65	C40/50	Dikdörtgen Kesit
C70/70	C40/50	Dikdörtgen Kesit
C80/80	C40/50	Dikdörtgen Kesit

Kesit Adı	Malzeme	Şekil	Kesit
Kaset	C40/50	Döşeme	Kabuk
M20	C40/50	Döşeme	Membran
P20	C40/50	Perde	Kabuk
S20	C40/50	Döşeme	Kabuk
S25	C40/50	Döşeme	Kabuk
S30	C40/50	Döşeme	Kabuk
T250	C40/50	Döşeme	Kabuk
T60	C40/50	Döşeme	Kabuk
W100	C40/50	Perde	Kabuk
W30	C40/50	Perde	Kabuk
W35	C40/50	Perde	Kabuk
W40	C40/50	Perde	Kabuk
W50	C40/50	Perde	Kabuk
W60	C40/50	Perde	Kabuk

3.1.3. **Yük Analizi**

Yapının tasarımında kullanılacak yük türleri ve değerleri aşağıda özetlenmiştir. Yükler ölü yük, hareketli yük, rüzgâr yükü ve sıcaklık yükü olarak sınıflandırılmıştır. Bu yüklere ilave olarak yapıya etkiyecek deprem yükleri çeşitli şekillerde tanımlanmıştır.

Yük Tipleri:

G: Zati Yük

Q: Hareketli Yük

E: Deprem Yükü

H: Yatay Toprak Basıncı

H_s: Statik Toprak Basıncı

H_d: Dinamik Toprak Basıncı

S: Su Basıncı

S_s: Statik Su Basıncı

S_d: Dinamik Su Basıncı

T: Sıcaklık

W: Rüzgâr

Yük Kombinasyonları :

· $G + Q + 0.2S + E_d{}^{(H)} + 0.3E_d{}^{(Z)}$

· $Ed^{(H)} = \pm E_d{}^{(X)} \pm 0.3E_d{}^{(Y)}$

· $0.9G + H + 0.2S + Ed\ (H) - 0.3Ed\ (Z)$

Tasarımda kullanılacak olan zati yük değerleri aşağıda özetlenmiştir.

· Betonarme elemanın zati ağırlığı: γc = 25.0 kN/m^3

· Kaplama Yükü (Otopark): q = 2.00 kN/m^2

· Kaplama Yükü (Ofis): q = 2.00 kN/m^2

· Kaplama Yükü (Konut): q = 2.00 kN/m^2

· Kaplama Yükü (Mağaza): q = 2.00 kN/m^2

· Kaplama Yükü (Depo): q = 2.00 kN/m^2

· Dolgu birim hacim ağırlığı: γs = 20.0 kN/m^3

Hareketli yükler TS-498'e uygun olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

· Ofis : q = 3.00 kN/m^2

· Konut : q = 2.00 kN/m^2

· Spor salonu : q = 5.00 kN/m^2

· Lobiler : q = 5.00 kN/m^2

· Koridorlar ve Merdivenler : q = 5.00 kN/m^2

· Mağaza, restoran: q = 5.00 kN/m^2

· Otopark ve Rampalar : q = 5.00 kN/m^2

· Data Merkezi : q = 12.00kN/m^2

· Banka Kasası : q = 10.00kN/m^2

· Kat Bahçeleri : q = 5.00 kN/m^2

· Mekanik Odalar : q = 5.00 kN/m^2

· Asansör Makina Daireleri : q = 7.50 kN/m^2

· Helikopter Pisti : q = 5.00 kN/m^2

· Çatı Katları : q = 2.00 kN/m^2

· Mutfak : q = 3.00 kN/m^2

· Mal yükleme alanları : q = 5.00 kN/m^2

· Bölme duvar ağırlıkları: q = 1.00 kN/m^2

Rüzgâr Yükleri

Rüzgâr yükleri, yapının geometrisine bağlı olarak, TS 498'e göre belirlenmiştir. Yapı yüksekliğine göre ilgili yönetmelikte tanımlanan rüzgâr hızları ve hesap emme yükleri Tablo 3.4 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Yapı yüksekliğine göre rüzgâr yükü (TS 498).

Zeminden Yükseklik(m)	**Rüzgâr Hızı(m/s)**	Emme; q(kN/m^2)
0-8	28	0.5
9-20	36	0.8
21-100	42	1.1
>100	46	1.3

Isı ve Büzülme Etkileri

Isı etkileri yapı boyutları ve hiperstatiklik durumlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. TS-500 standardı uyarınca betonarme sistemlerde yapı boyutunun 40m'yi aşması durumunda ısı etkilerinin artacağından dolayı derzlerin yapılması önerilmektedir. Çevresi rijit perdelerle çevrili yapılarda ise derz aralığının 60m' ye kadar artırılabileceği belirtilmiştir. Tasarımda önerilen derz mesafelerine özen göstermekle beraber, taşıyıcı sistemin iyileştirilmesi ve yapının deprem performansının arttırılması için deprem derz mesafelerinin aşılması durumu söz konusu olabilir. Bu durumda ısı etkileri yapı analitik çözümlerinde dikkate alınarak yapı elemanlarının tasarımda gerekli önlemler alınacaktır. Yapıda oluşabilecek büzülme etkileri ısının artıp azalması durumunda yukarıda açıklanan koşullar göz önünde bulundurularak hesaplanır ve tasarımda kullanılır.

Sıcaklık yükleri, düşey bileşen etrafındaki yer değiştirmelerden en çok etkilenen kolonlara ETABS (https://www.csiamerica.com/)'de tanımlanmıştır. Kirişler ve perde duvarlar için sıcaklık yükleri uygulanabilir ancak değerler çok küçüktür ve ihmal edilebilir kabul edilmektedir.

Toprak ve Su Etkileri

Toprak ve su etkileri, zemin mekaniği tasarım kriterleri ve deprem yönetmeliği uyarınca dikkate alınacaktır. Hesaplar için gerekli parametreler zemin raporundan alınarak TBDY-2018'de belirtildiği gibi kullanılır.

Bütün bu yatay yüklerden dolayı yapısal elemanlarda oluşan kesit tesirleri hesaplanır ve yapısal elemanlar elde edilen en elverişsiz kesit tesirlerine göre tasarlanır. Bütün bunlara ek olarak yapı bodrum katlarında bulunan döşemeler düzlem içi ve düzlem dışı rijitlikleri dikkate alınarak modellenir ve elde edilen kesit tesirlerine göre boyutlandırılır.

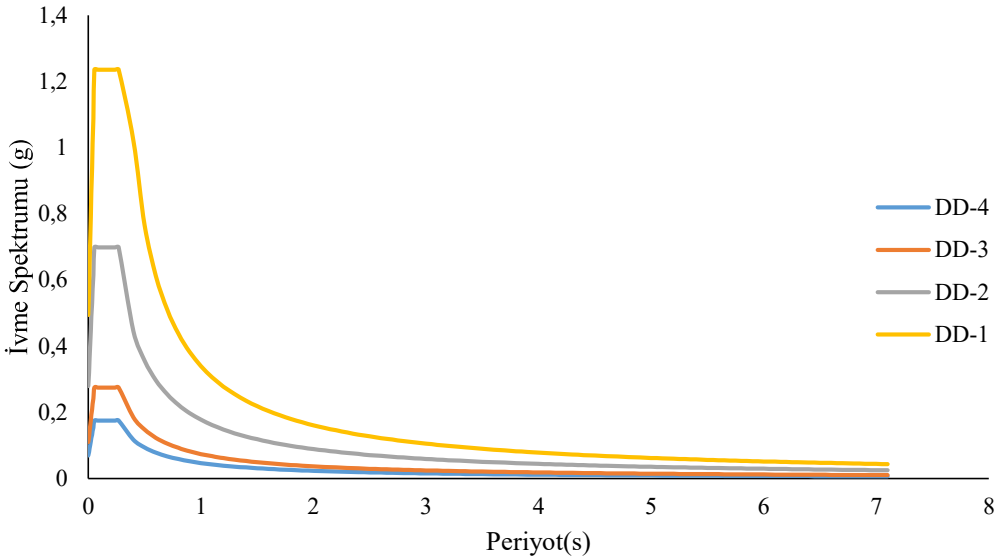
3.2. DEPREM PARAMETRELERİ

Yüksek binaların tasarımı yapılırken kullanılacak deprem düzeyleri yönetmelikte açıkça belirtilmiştir. Çok katlı yüksek yapıların tasarımında kabul edilen 3 tasarım aşaması için toplam dört deprem düzeyi de kullanılacaktır. Her tasarım aşamasında kullanılan deprem düzeyi ve bu deprem düzeyleri için yapılan kontroller farklıdır. Tasarımın tamamlanabilmesi için bütün deprem düzeylerine ait veriler elde bulundurulmalıdır.

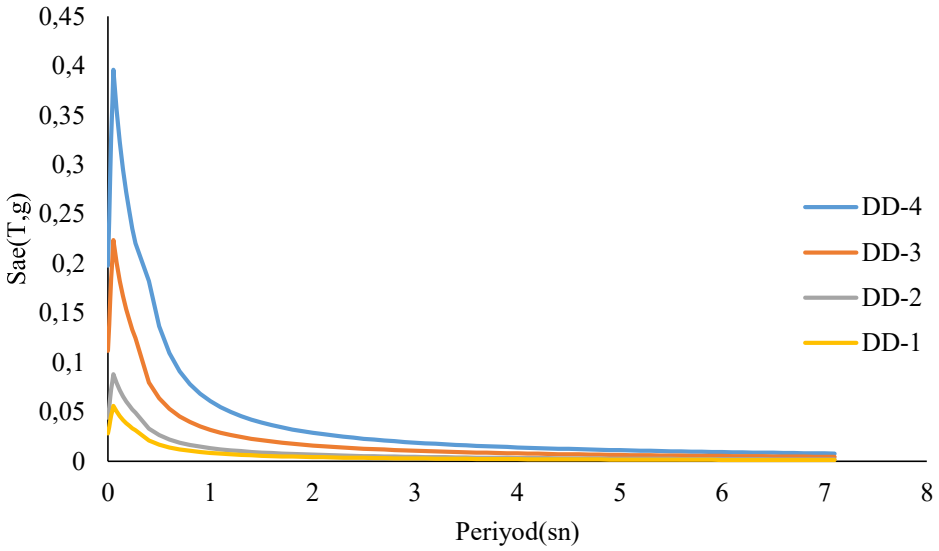
Aşağıda AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası (https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari)'ndan yapının bulunduğu konum ve zeminine bağlı olarak istenen deprem yer hareketleri için alınan veriler Tablo 3.5'te bulunmaktadır. Şekil 3.6 ile bu deprem yer hareketlerinin ivme spektrumu ve periyot grafikleri gösterilmiştir. Azaltılmış tasarım spektrumları ise Şekil 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.5: İncelenen yapıya ait Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından alınan deprem parametreleri.

Deprem Yer Hareketi **Düzeyi**	**Yerel Zemin Sınıfı**	S_s (g)	S_1 (g)	PGA (g)	S_{DS} (g)	S_{D1} (g)
DD-1	ZB	1.372	0.383	0.555	1.235	0.306
DD-2	ZB	0.776	0.223	0.323	0.698	0.178
DD-3	ZB	0.305	0.092	0.131	0.275	0.074
DD-4	ZB	0.194	0.059	0.085	0.175	0.047



Şekil 3.6: Deprem düzeyleri için yatay elastik tasarım spektrumları.



Şekil 3.7: Deprem düzeyleri için azaltılmış tasarım spektrumları.

Zemin raporunda yerel zemin şartlarının incelenmesi ile ortaya çıkan parametreler doğrultusunda, Bina Önem Katsayısı (I) = 1.00, Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) = 0.30, Yerel Zemin Sınıfı ZB (Z2, DBYBHY 2007), Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları, X-X yönü için (R_x) 5.6, Y-Y yönü için (R_y) 5.6 alınmıştır.

3.2.1. **Yüksek Yapılar için Tasarım Aşamaları ve Tasarım Kriterleri**

Betonarme perde elemanlar doğrusal (lineer) analizde kabuk (shell) sonlu elemanlar ile modellenmiştir. Çubuk ve kabuk elemanlardaki çatlamış kesitlere ait etkin kesit rijitlikleri TBDY 2018'de önerildiği gibi kullanılmıştır.

Yapıya ait Normal ve İleri Performans Hedefleri TBDY 2018'e göre Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 1 ve DD-1 yer hareketi düzeyi için belirlenmiştir. Normal Performans Hedefi "Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi" ve İleri Performans Hedefi "Kontrollü Hasar Performans Düzeyi" olarak seçilmiştir. Yüksek bina taşıyıcı sistemleri yalnızca DTS=4 olduğu durumlarda süneklik düzeyi karma sistem olarak kabul edilebilir, aksi durumda süneklik düzeyi yüksek sistem olarak planlanmak zorundadır. Analizlerde göz önüne alınan mod sayısı, en az %95 modal kütle katılım oranı sağlanmıştır. Analiz ve tasarım aşamaları aşağıda özetlenmiş olup ilerleyen bölümlerde detaylar verilmiştir.

Tasarım Aşaması I

Kontrollü Hasar performans düzeyini sağlaması için DD-2 deprem düzeyinde TBDY 2018'deki dayanıma göre tasarım yaklaşımı ile yapı elemanlarının ön tasarımının yapılması önerilmektedir. Tez çalışmasında kullanılan örnek yapı modelinde kesin tasarım yapılmış olduğu için ön tasarım tekrarlanmamıştır. Yapı tasarımının birinci aşamasında, deprem yönetmeliğine göre Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak azaltılmış deprem yükleri altında üç boyutlu doğrusal elastik analiz ile yapılmıştır. Bu aşamadaki genel tasarım kabulleri ve kriterleri aşağıda listelenmiştir. Deprem Yönetmeliği 2018'de DD-2 deprem düzeyi için belirlenen spektral ivme spektrumu kullanılmıştır.

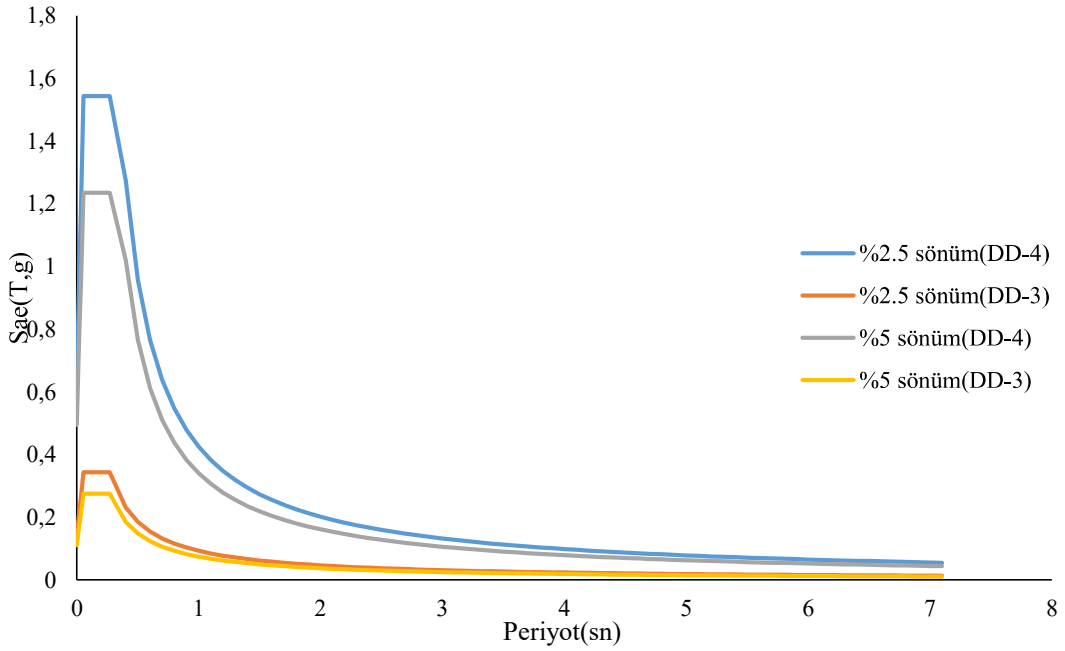
- Tasarım yapılan Deprem Düzeyi DD-2 alınmıştır.
- Hedef performans düzeyi Kontrollü Hasar alınmıştır.
- Mod Birleştirme Yöntemiyle üç boyutlu doğrusal analiz yapılmıştır.
- Sönüm oranı %5 alınmıştır.
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R_x = R_y = 5.6$ alınmıştır.
- Betonarme yapı elemanlarında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 7'de tanımlanan etkin eğilme rijitlikleri kullanılmıştır.
- Malzemelerin karakteristik dayanım değerleri kullanılmış olup, dayanımlar malzeme katsayıları ile azaltılmıştır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının tasarım kontrolleri Deprem Yönetmeliğine uygun şekilde yapılmıştır.
- Göreli kat ötelemeleri için limit değeri %2 alınmıştır.

Tasarım Aşaması II

Bu bölümde, Tasarım Aşaması I'de ön tasarımı yapılan yüksek bina taşıyıcı sistemi, (DD-4) düzeyi depreminin etkisi altında Kesintisiz Kullanım Hedef Performans Düzeyi

doğrusal analiz ile gösterilmiştir. Bu aşamada genel tasarım kabulleri ve kriterleri aşağıda listelenmiştir.

- Hedef performans düzeyi Kesintisiz Kullanımdır.
- Mod birleştirme yöntemi ile doğrusal 3 boyutlu analiz yapılmıştır.
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R_x = R_y = 1$ ve D=1 alınmıştır.
- DD-4 deprem düzeyi için %2.5 sönüm oranıyla belirlenen spektral ivme spektrumu kullanılmıştır. Yapıya ait tasarım spektrumu %5 sönüm oranı için deprem tehlike haritalarından alınan verilerle elde edilmiştir. Bu sebeple %2.5 sönüm oranı için spektrum $S_{ae}(T)$ değerleri 1.25 ile büyütülmelidir. Şekil 3.8'de sönüm oranlarına göre spektrum diyagramı verilmiştir.
- Betonarme yapı elemanlarında moment-eğrilik bağıntılarından elde edilen etkin rijitlik değerleri kullanılmıştır.
- Malzemelerin ortalama dayanım değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.8: Sönüm oranları için deprem tasarım spektrumları.

Tasarım Aşaması III

Bu bölümde, yüksek bina taşıyıcı sistemin, (DD-1) düzeyi depremi etkisi altında normal performans hedefi için Kesintisiz Kullanım, ileri performans hedefi için Göçmenin Önlenmesi hedef performansı, doğrusal olmayan analiz ile değerlendirilmiştir. Bu aşamadaki genel tasarım kabulleri ve kriterleri aşağıda listelenmiştir.

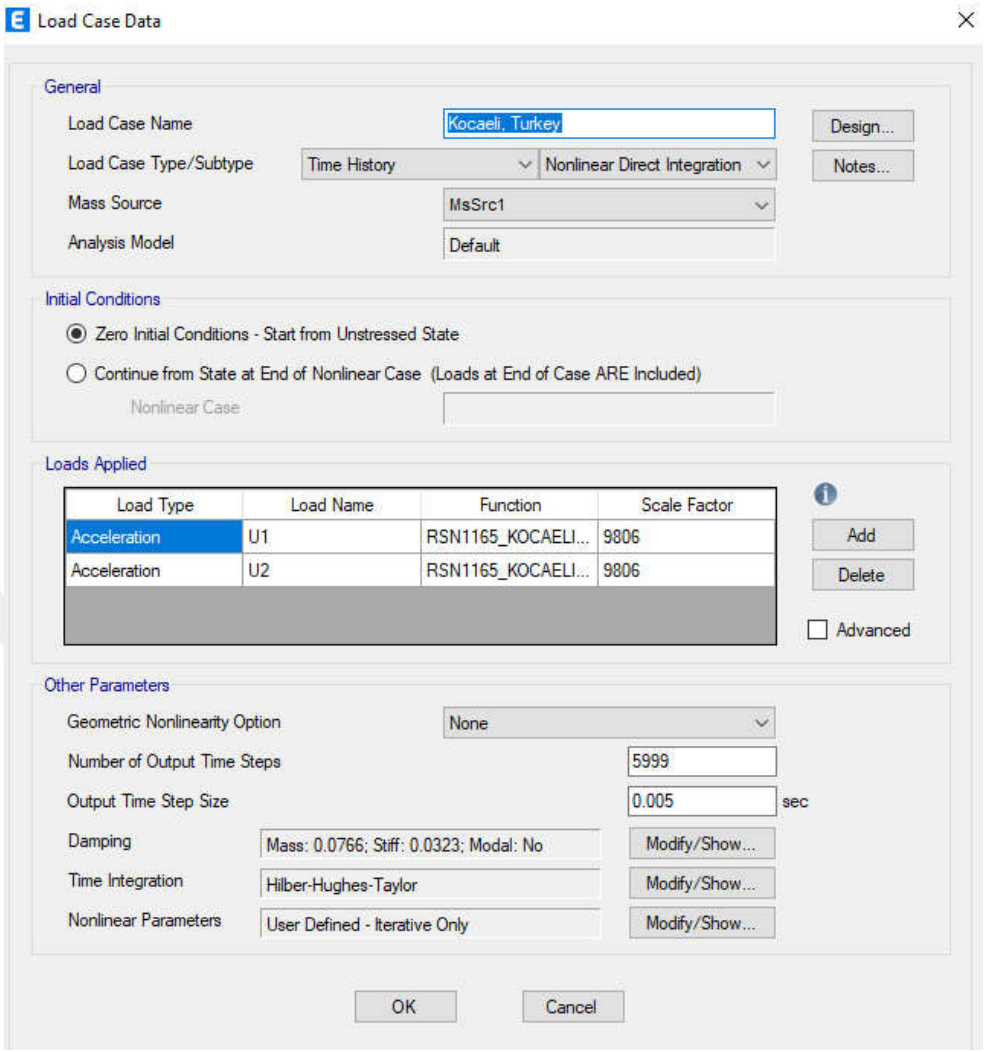
- Zaman Tanım Alanında Analiz için derlenen depremlerin hedef performansa göre ölçeklendirilmesiyle elde edilen yer hareketi kayıtlarına göre yapılmıştır.
- Ölçekleme yapılan hedef spektrum Deprem Düzeyi DD-1' dir.
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R_x = R_y = 5.6$ alınmıştır.
- Toplam 11 yer hareketi kullanılmış olup, yer hareketleri birbirine dik doğrultuda eş zamanlı olarak etki ettirilmiştir.
- Zaman tanım alanında yer hareketinin 2 bileşeni ile doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.
- Betonarme yapı elemanlarında moment-eğrilik bağıntılarından elde edilen etkin rijitlik değerleri kullanılmıştır.
- Kolon- kiriş birleşim bölgeleri rijit eleman olarak kabul edilmiştir.

Tanımlanan tasarım aşamalarında planlanan doğrusal elastik analizlerde Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Her bir davranış büyüklüğüne ilişkin mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme Kuralı uygulanmıştır.

Zaman tanım alanı analizinde kullanılan "Direct Integration" çözüm yönteminde "Rayleigh Damping" sönüm oranları kullanılmıştır. Seçilen depremlerden Kocaeli depreminin ETABS programında tanımlanması Şekil 3.9 ile gösterilmiştir.

Bu durumda incelenen yapı modeli için yapılan kabuller özetlenirse,

- Yapı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile çözülmüştür ancak kesit tesirleri ve gerilme kontrolleri yapılmayacağından malzeme değerleri nonlineer olarak tanımlanmamıştır.
- Analizlerde ikinci mertebe ($P - \Delta$) etkilerinin göz önüne alınması zorunludur ancak alınan veriler hali hazırda çok büyük oldukları için bu çalışma kapsamında ihmal edilmiştir.
- Kat hizalarında rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Zaman tanım alanında yer hareketinin 3 bileşeni ile doğrusal olmayan analiz yapılmalıdır ancak tez kapsamında verilerin büyüklüğünden dolayı yatay bileşenler dikkate alınarak analiz yapılmıştır.
- Analizde kullanılan Rayleigh Damping sönüm oranının modellenen yayların efektif sönüm oranına katkısı göz ardı edilmiştir.



Şekil 3.9: ETABS programında dinamik deprem yükünün tanımlanması.

3.3. DEPREM **YER HAREKETLERİ KAYIT SEÇİMİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ**

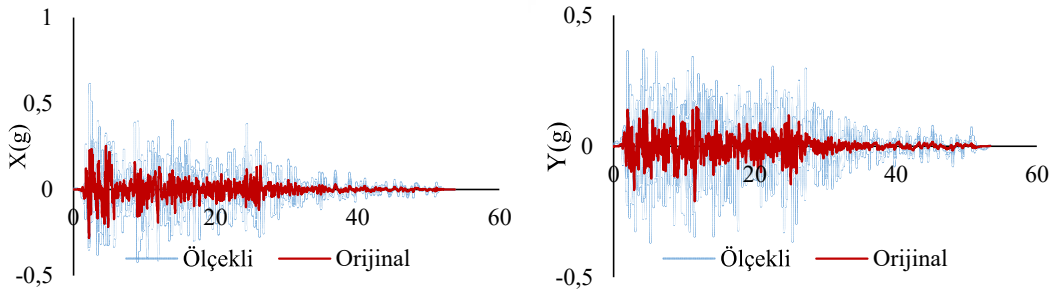
Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi iki boyutlu hesap için DD-1 depreminden elde edilen deprem spektrumu baz alınarak yapılmıştır. Binanın doğal titreşim periyotları $T_{(y)} = 4.528$ ve $T_{(x)} = 3.491$ saniyedir. Ölçeklendirme 0.2T ve 1.5T aralığında yapılmış olup bu değerler, 0.90 s ve 6.8 s aralığındaki periyot değerlerine karşılık gelmektedir.

Bu çalışmada, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, http://peer.berkeley.edu/smcat) kuvvetli yer hareketi veri tabanında bulunan deprem kayıtları kullanılmıştır. Bulunan deprem kayıtları Tablo 3.6'da listelenmiştir. Tercih edilen kayıtların tasarım spektrumu ile uyumlu olması amacıyla deprem kaydının ivme spektrumu ile yapının tasarım spektrumu arasındaki farkın,

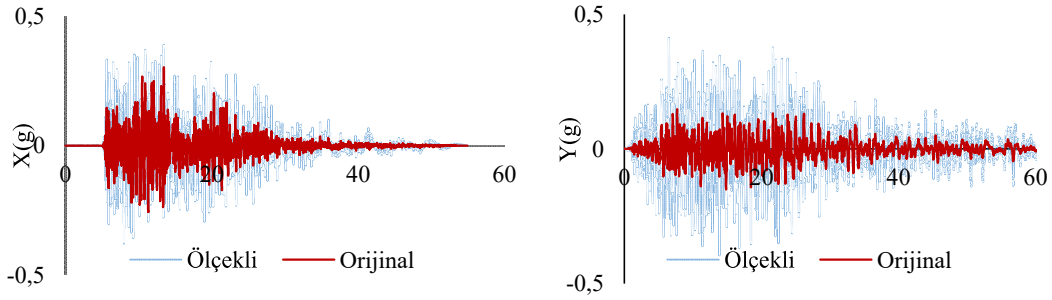
ortalama karesel hatası (MSE) göz önünde bulundurulur. Ayrıca bu deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi SeismoMatch 2021 (https://seismosoft.com/) programı ile yapılmıştır. Ölçeklenen depremlerin ivme-zaman grafikleri Şekil 3.10-3.20 arasında verilmiştir.

Tablo 3.6: Seçilmiş ve hedef spektrumla eşleştirilmiş deprem kayıtları.

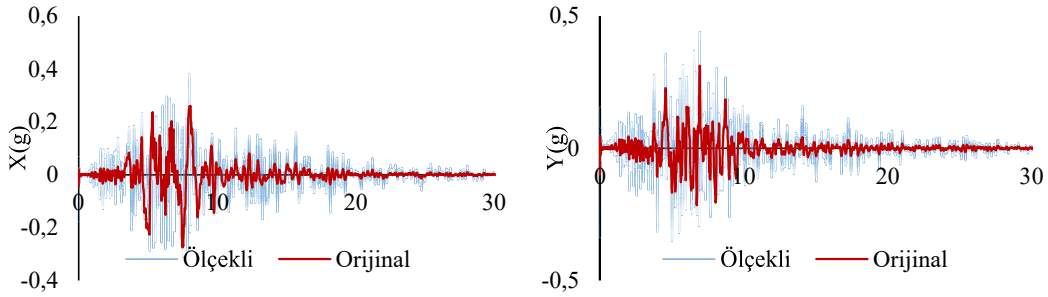
Birleştirme Tekniği	**Deprem Kaydı**	Tarih	**İstasyon**	**Büyüklük**	Mekanizma
SRSS	Imperial Valley	1940	El Centro	6.95	Yanal atılım
SRSS	El Centro	1979	Cerro Prieto	6.53	Yanal atılım
SRSS	Manjil, Iran	1990	Abbar	7.37	Yanal atılım
SRSS	Joshua Tree, CA	1992	Indio - Jackson Road	6.1	Yanal atılım
SRSS	Big Bear	1992	Big Bear Lake	6.46	Yanal atılım
SRSS	Landers	1992	Joshua Tree	7.28	Yanal atılım
SRSS	Kobe, Japan	1995	Kobe Üniversitesi	6.9	Yanal atılım
SRSS	Hector Mine	1999	Hector	7.13	Yanal atılım
SRSS	Düzce, Turkey	1999	Lamont 375	7.14	Yanal atılım
SRSS	Kocaeli, Turkey	1999	İzmit	7.51	Yanal atılım
SRSS	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield	6.0	Yanal atılım



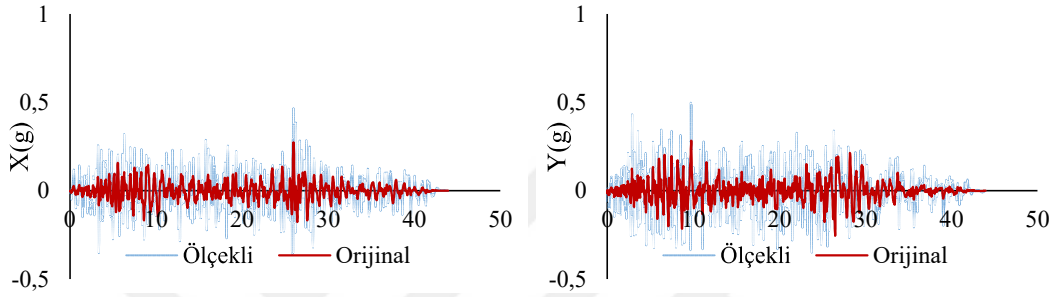
Şekil 3.10: Imperial Valley depremi yatay bileşenleri.



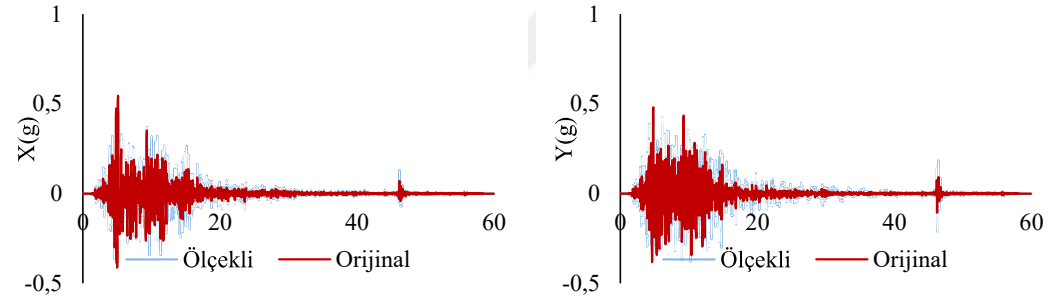
Şekil 3.11: El Centro depremi yatay bileşenleri.



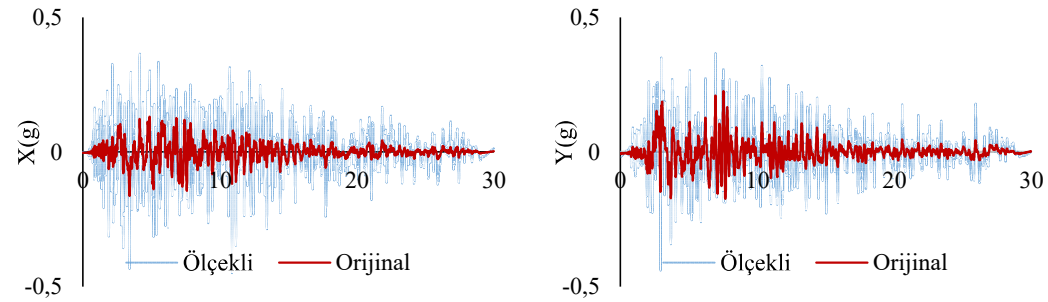
Şekil 3.12: Kobe, Japonya depremi yatay bileşenleri.



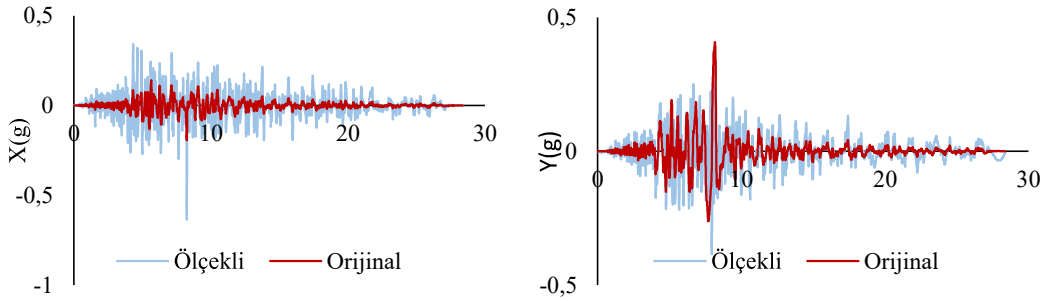
Şekil 3.13: Landers, Joshua Tree depremi yatay bileşenleri.



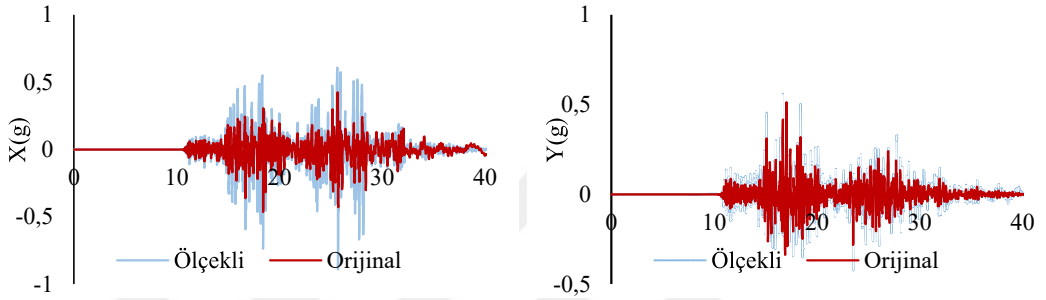
Şekil 3.14: Big Bear depremi yatay bileşenleri.



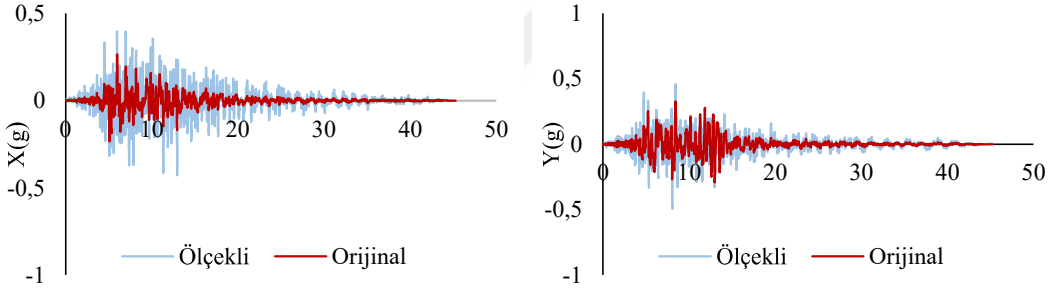
Şekil 3.15: Kocaeli depremi yatay bileşenleri.



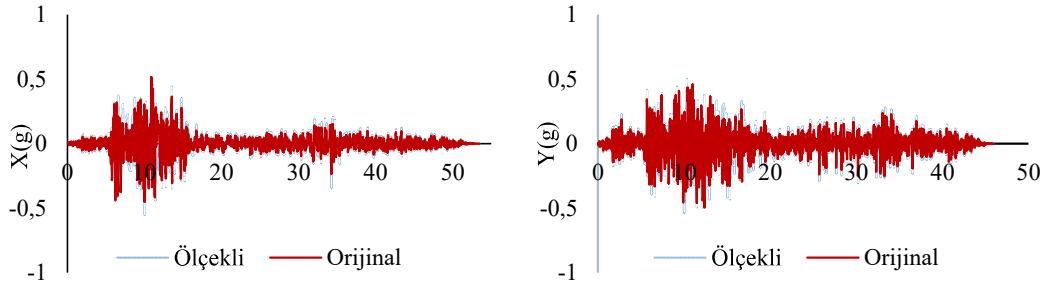
Şekil 3.16: Joshua Tree depremi yatay bileşenleri.



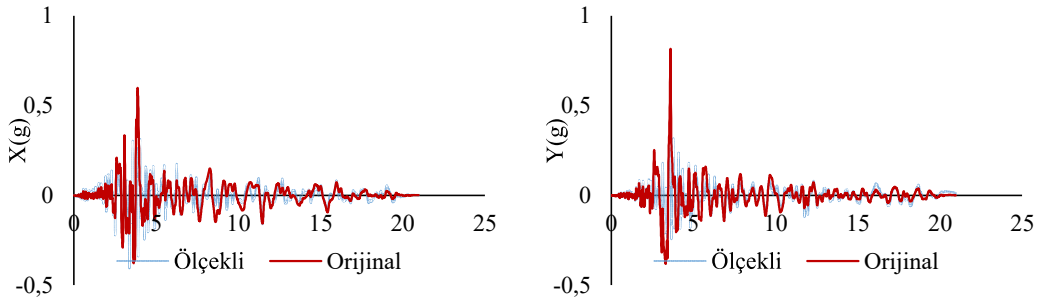
Şekil 3.17: Düzce depremi yatay bileşenleri.



Şekil 3.18: Hector Mine depremi yatay bileşenleri.

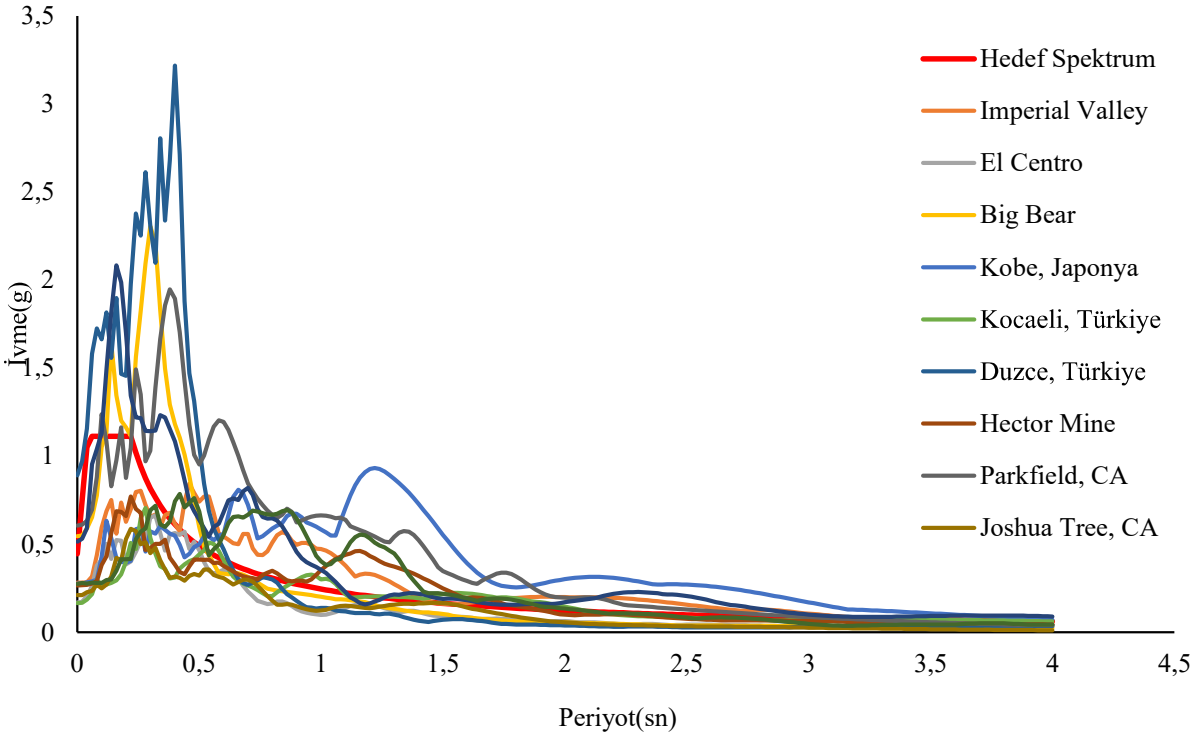


Şekil 3.19: Manjil, İran depremi yatay bileşenleri.

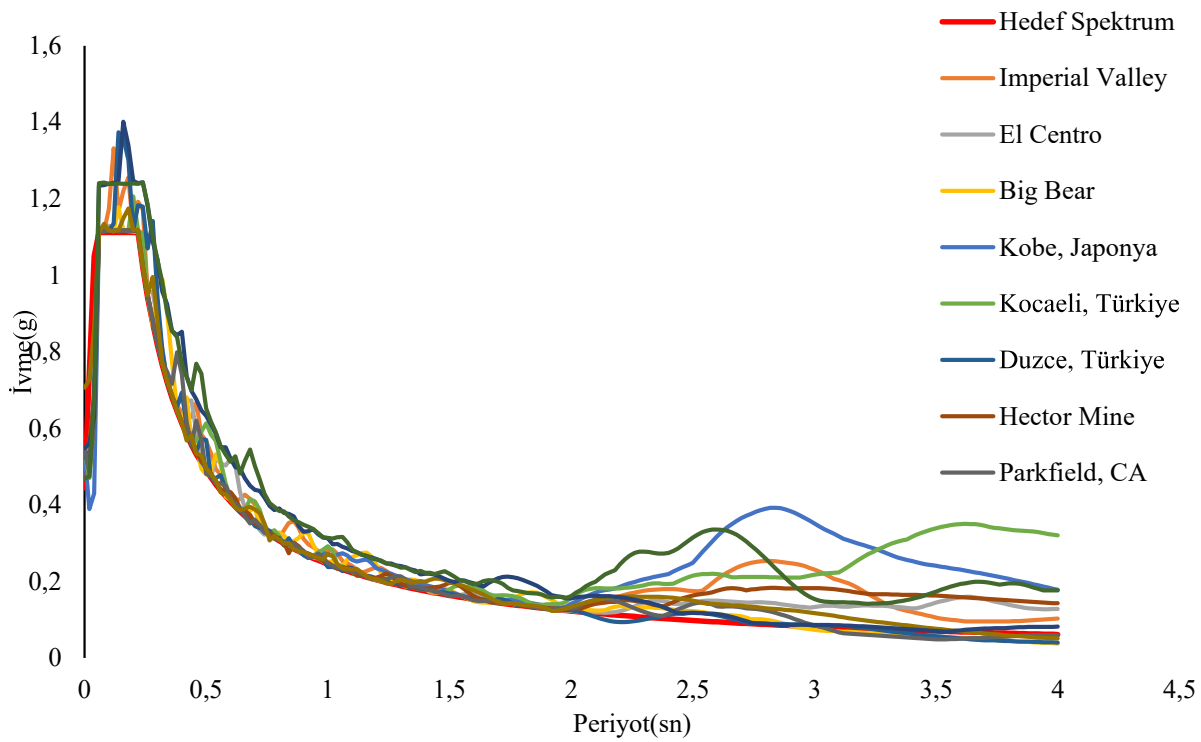


Şekil 3.20: Parkfield-02, CA depremi yatay bileşenleri.

Ölçeklendirme işleminde esas alınacak olan hedef spektrum, Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinden, binanın enlem ve boylamına göre, kullanılacak yer hareketi düzeyi ve yapının bulunduğu bölgenin zemin sınıfı seçilerek oluşturulan tasarım spektrumudur. Seçilen deprem kayıtlarına ait spektrumlar ve hedef tasarım spektrumu Şekil 3.21'de verilmiştir. SeismoMatch 2021 programı ortamında ölçeklendirme işlemi yapıldıktan sonra, depremlere ait ölçeklendirilmiş spektrumlar ve hedef tasarım spektrumu Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.21: Ölçeklendirilmemiş deprem ivme spektrumları.



Şekil 3.22: Ölçeklendirilmiş Deprem İvme Spektrumları.

3.4. KÜTLE SÖNÜMLEYİCİNİN MODELLENMESİ

Sismik sönümleyiciler ETABS programında "Link/Support" elemanı olarak tanımlanmıştır. ETABS programında ayarlı kütle sönümleyici, binanın 37.normal katı ile son kat olan mekanik kat arasında 0.60 m'lik yaylar kullanılarak modellenmiştir. Böylelikle binanın tepesindeki mekanik kat ayarlı kütle sönümleyicinin tasarımına dâhil edilmiş, ek kütle ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Gerçekte bu yaylar kauçuk izolatör olarak düşünüldüğünden izolatörlerin yaklaşık boyu yay uzunluğu olarak kabul edilmiştir. Yapının merkezinde bulunan taşıyıcı sistem çekirdeği, mekanik kata çıkarılan 26 adet kolonun alt ucu çekirdek perdeye yay olarak kabul edilen izolatörlerle bağlanmıştır. Aşağıda mekanik katın ETABS programından alınan kat planı ve üç boyutlu görüntüsü verilmiştir. Ayrıca, yaylar salınım yapması için yeterli alana sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemdeki ek kütle için yay, X ve Y yönünde rijitliği aşağıda belirtilen değerlerde ve Z yönünde yer değiştirmesi tutulu olarak ayarlanmış "kauçuk izolatör değişkeni" kullanılarak modellenmiştir.

Yayların efektif rijitliği ve izole katın titreşim periyodu Denklem 3.2 ile ifade edilir. Denklem 3.2'de m izole katın kütlesini, k yayların toplam efektif rijitliğini temsil etmektedir.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{3.2}$$

Yapının izolasyon periyodu belli parametrelere bağlı olduğundan değiştirilebilir. Yapı periyodunun, mekanik katın yani AKS'nin frekansına oranı 0.8, 1, 1.2 ve 1.4 kabul edilerek ayrı ayrı tek serbestlik dereceli sistem çözümleri yapılmıştır. Mekanik katın yapı ağırlığına oranı %2 ve %3 alınarak veriler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan yapı modelinin toplam ağırlığı (M) 110779628,8 kg olmak üzere, mekanik katta bulunan betonarme yapı elemanlarının toplam ağırlığı 524190,0 kg'dır. %2 AKS-yapı kütle oranının sağlanması için mekanik katla beraber sağlanması gereken ağırlık (m) 2215592,6 kg, %3 AKS-yapı kütle oranı için gerekli kütle ağırlığı 3323388,9 kg'dır.

Gerekli ağırlıklar hesaplanırken mekanik katta bulunan betonarme taşıyıcı sistemin zati ağırlığı yanında döşemelere yayılı yükler tanımlanmıştır. Yapının birinci modundaki periyot kullanılarak hesaplanan frekans oranı ve efektif yay rijitliği, yayların her iki yönde de eşit rijitliğe sahip olduğu varsayılarak atanmıştır. Bu durumda yapının yüksek hâkim periyotlu modu Y yönünde olduğundan yaylara atanan rijitlik X yönü için de Y yönüne göre hesaplanarak atanmış olmaktadır. Aşağıda Tablo 3.7 ile yaylara Y yönü hâkim modu için hesaplanan frekans oranına göre X yönü hâkim modundaki frekans oranları verilmiştir. Hesaplanan frekans oranları için kullanılan efektif yay rijitlikleri, %2 ve %3 kütle oranları için Tablo 3.8 ile verilmiştir.

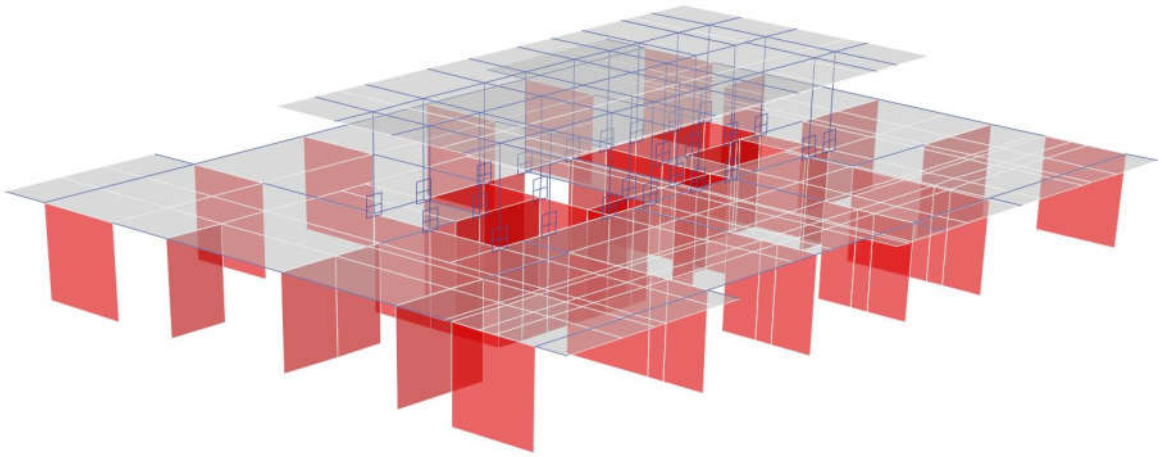
Tablo 3.7: Her iki ana yön için frekans oranları.

T(y)=4.528 sn	T(x)=3.674 sn
0.8	1.038
1	1.297
1.2	1.556
1.4	1.816

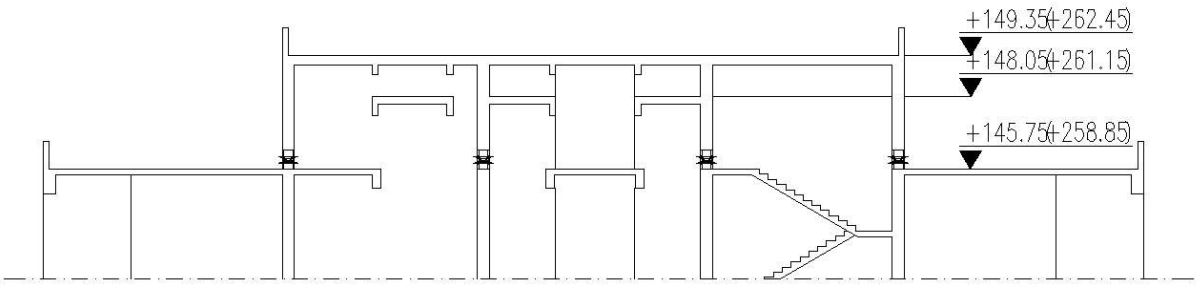
Tablo 3.8: Kütle oranları için hesaplanan efektif rijitlikler (kN/m)

Frekans Oranı	**%2 Kütle Oranı**	**%3 Kütle Oranı**
0.8	2515	3775
1	1610	2415
1.2	1120	1680
1.4	820	1235

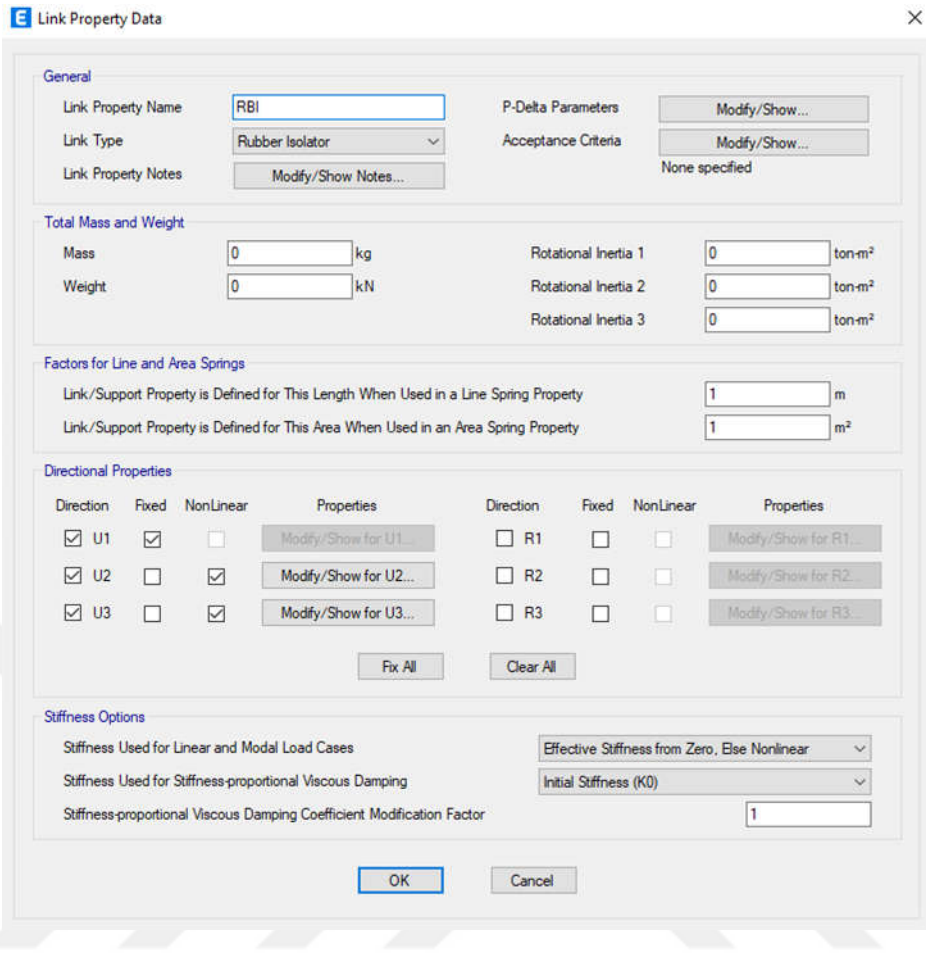
Modelde bulunan 26 yay, 37. normal kat ve mekanik kat ile birlikte Şekil 3.23'te 3 boyutlu görüntüsü, Şekil 3.24'te boy kesit gösterimi verilmiştir. Şekil 3.25'te ise ETABS programında yayların link elemanlarla tanımlanması gösterilmiştir. Düşey yönde hareketin olmadığı varsayıldığından U1 yönü dikkate alınmamıştır. U2 ve U3 yönleri için girilen yay özellikleri Şekil 3.26'te verilmiştir.



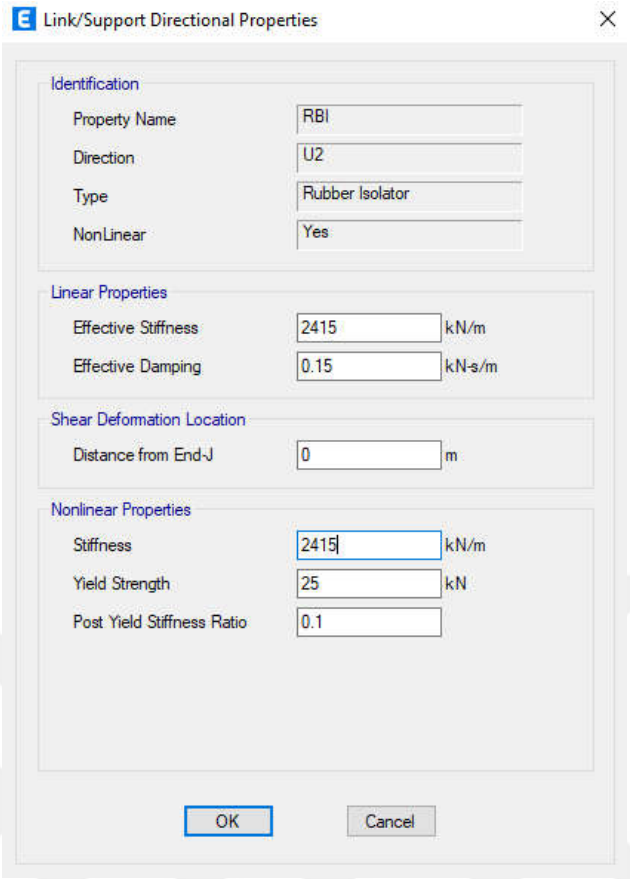
Şekil 3.23: Modellenen sönümleyicili mekanik kat ve yayların 3 boyutlu görüntüsü.



Şekil 3.24: Modellenen sönümleyicili mekanik katın boy kesit gösterimi.



Şekil 3.25: ETABS link eleman modellenmesi.

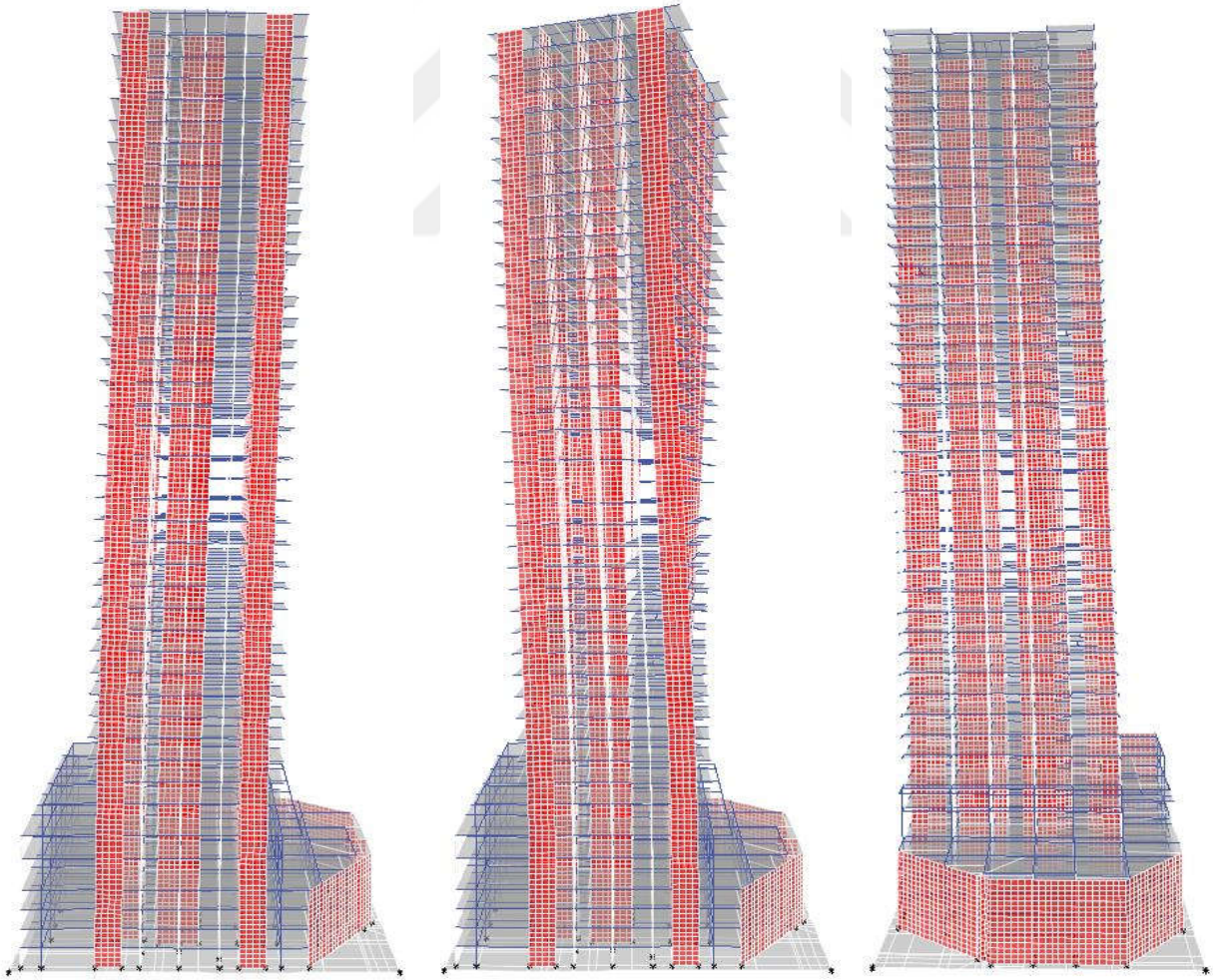


Şekil 3.26: ETABS link eleman yön özellikleri.

4. BULGULAR

Zaman Tanım Alanında Analiz ve Tepki Spektrum Analizi yöntemi, özellikle yapı, çok katlı yüksek yapı olması durumunda yapısal dinamik analiz için hayati bir tekniktir. Bu çalışma kapsamında taşıyıcı sistem ve elemanların boyutları belli olduğundan ön tasarım aşamaları yapılmayacaktır. Bu durumda, ilgili tasarım aşaması için yapıya etkitilen DD-3 deprem düzeyi altında, yapının ilk 3 modu periyot ve modal kütle katılım oranları ile birlikte Tablo 4.1'de verilmektedir. Bu modlara ait mod şekilleri ise Şekil 4.1 ile gösterilmiştir.

$T_{1(y)}$= 4.528 sn T_2= 3.674 sn $T_{3(x)}$= 3.491 sn



Şekil 4.1: Yapıya ait ilk 3 mod şekli.

Tablo 4.1: Yapı mod ve kütle katılım oranları.

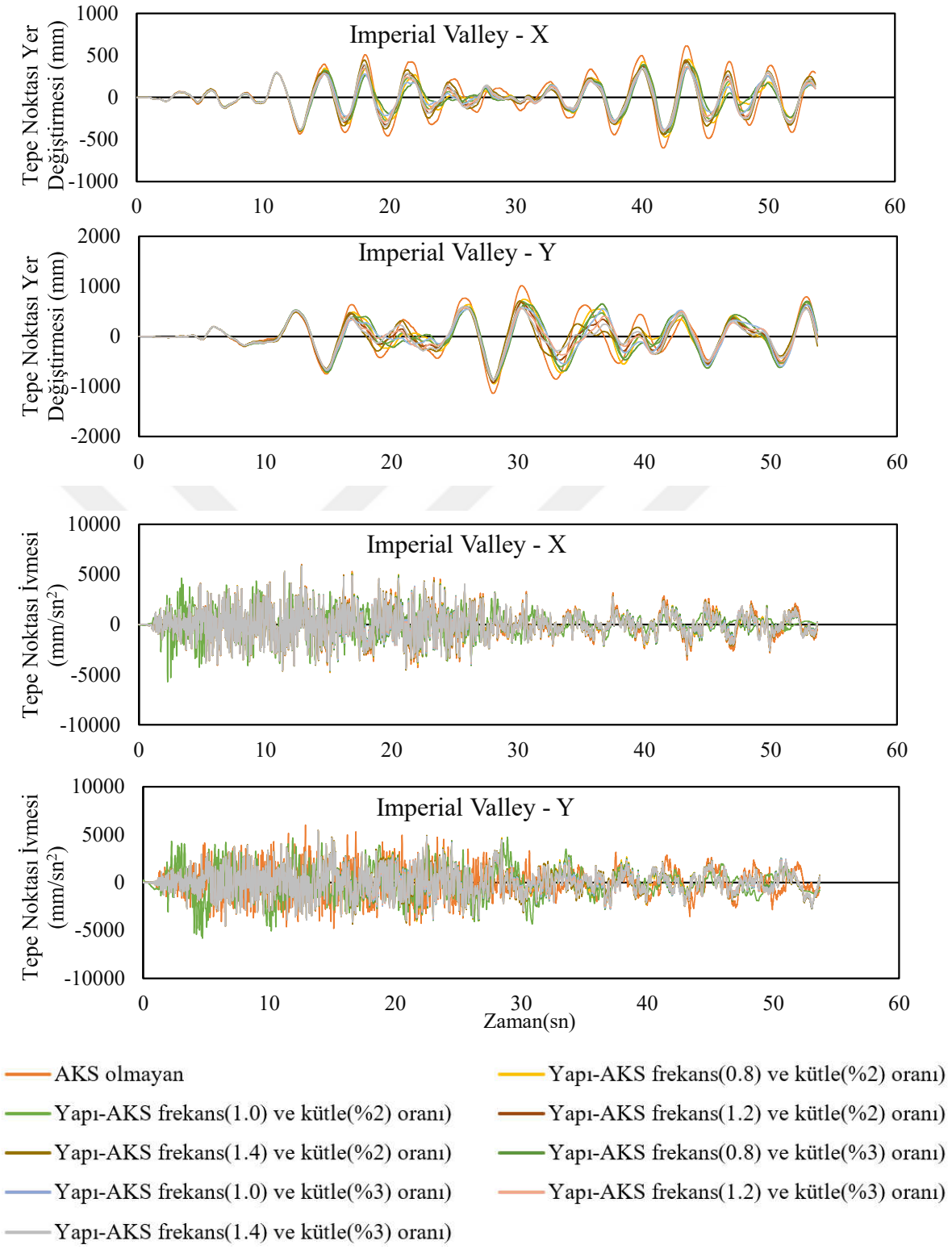
Durum	Mod	Periyot(T,sn)	UX	UY	RZ
Modal	1	4.528	0.0018	0.5379	0.0008
Modal	2	3.674	0.0606	0.0053	0.3555
Modal	3	3.491	0.4919	0.0004	0.0357

Tasarım aşaması I ve II, yapı mevcutta olduğu için projelendirilen kesitler dikkate alınarak atlanmıştır. Tasarım aşaması III ile zaman tanım alanında AKS olmadan yapılan analiz ile her deprem kaydı için kabul edilen parametrelerden elde edilen yer değiştirme ve ivme grafikleri devam eden başlıkta verilmiştir.

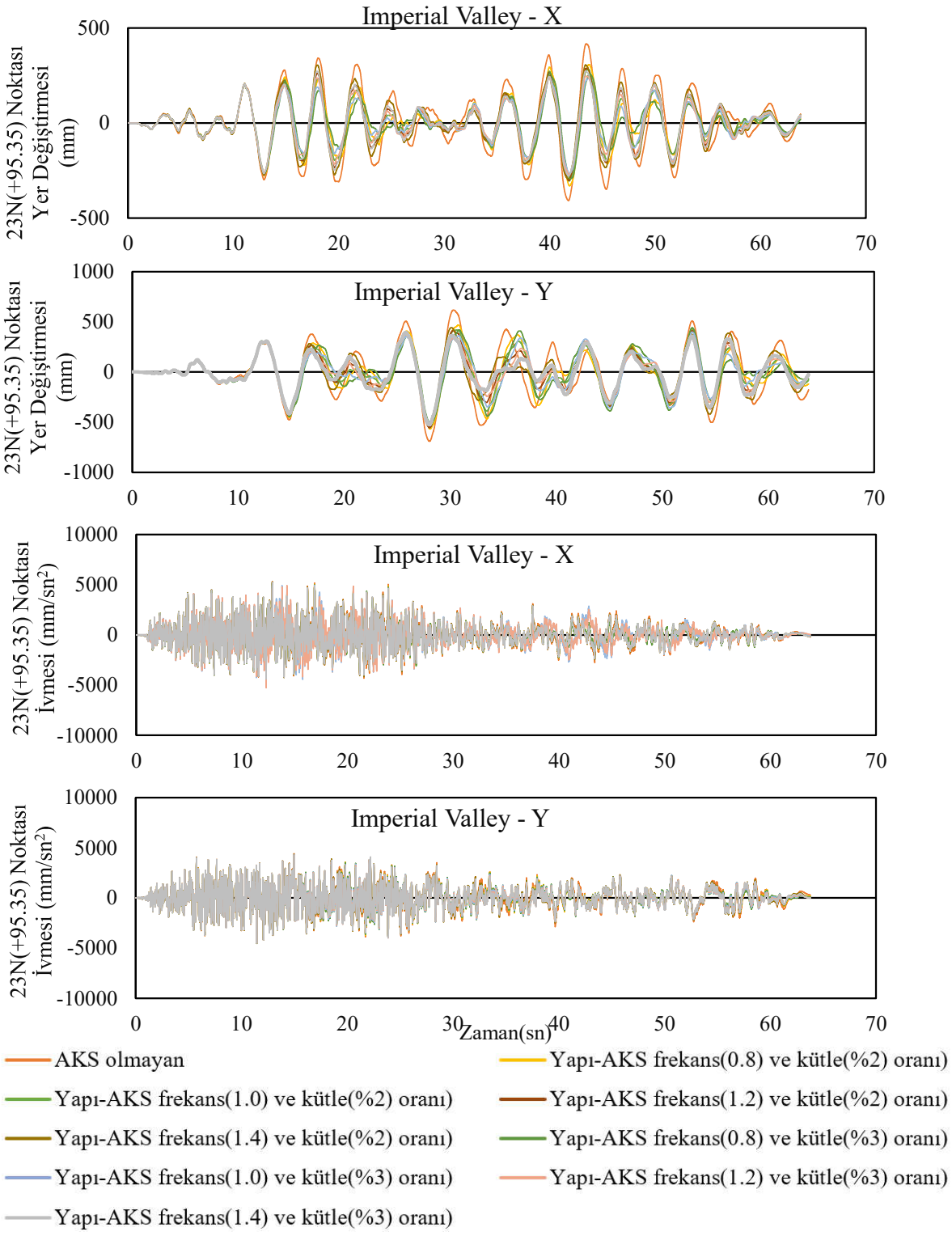
4.1. Zaman Tanım Alanı Grafikleri

Ayarlı kütle sönümleyici olarak düşünülen mekanik katın yapı davranışına etkilerini görebilmek için zaman tanım alanı grafikleri yapının en üst katından (37. Normal Kat) ve modal yer değiştirmenin en çok olduğu orta kattan (23. Normal kat +95.35 kotu) olmak üzere iki noktadan verilmiştir.

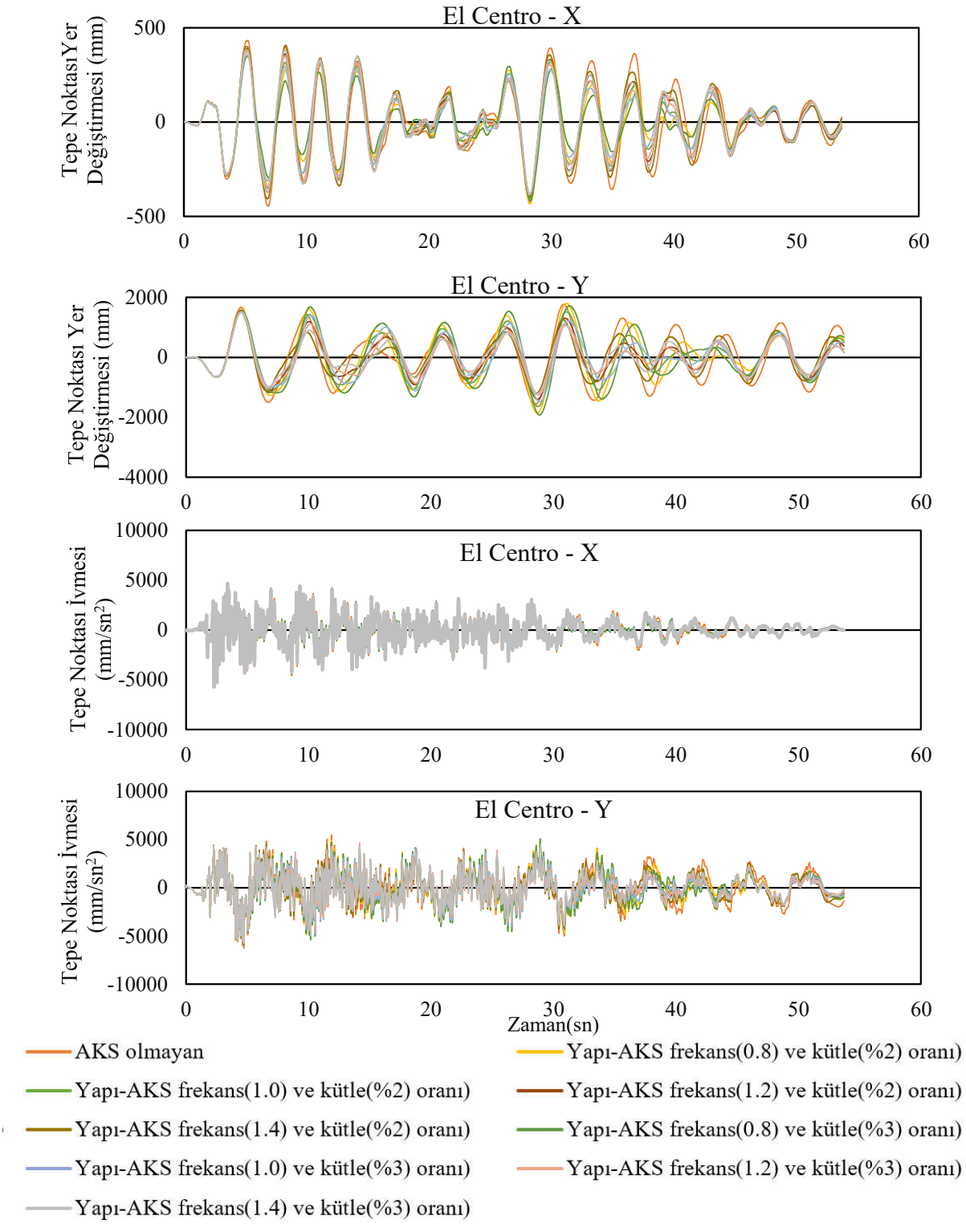
%2 ve %3 AKS – yapı kütle oranı için hesaplanan kütleler, mekanik kat döşemesinde zati ağırlığa dâhil edilerek ayrı ayrı modellendikten sonra belirlenen frekans oranlarında efektif yay rijitlikleri parametrik olarak her bir deprem için analiz edilmiştir. Elde edilen yer değiştirme ve ivme cevapları Şekil 4.2-4.23'te verilmiştir. Bulguların tamamında her deprem kaydı için 23. ve 37. kattan verilen maksimum yer değiştirme ve ivme değerleri Tablo 4.2-4.5 ile sunulmuştur.



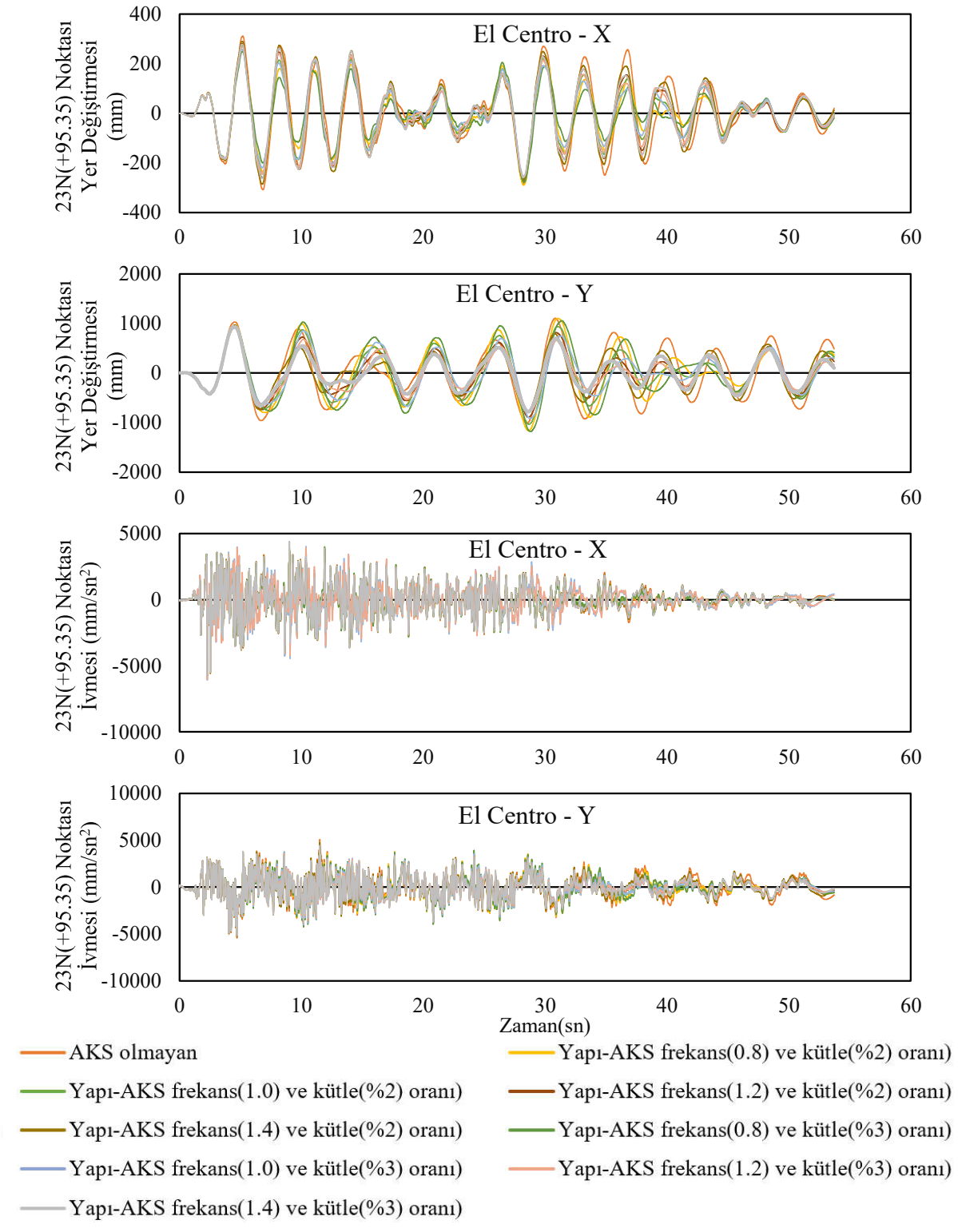
Şekil 4.2: Imperial Valley deprem kaydına ait, her iki yön için kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



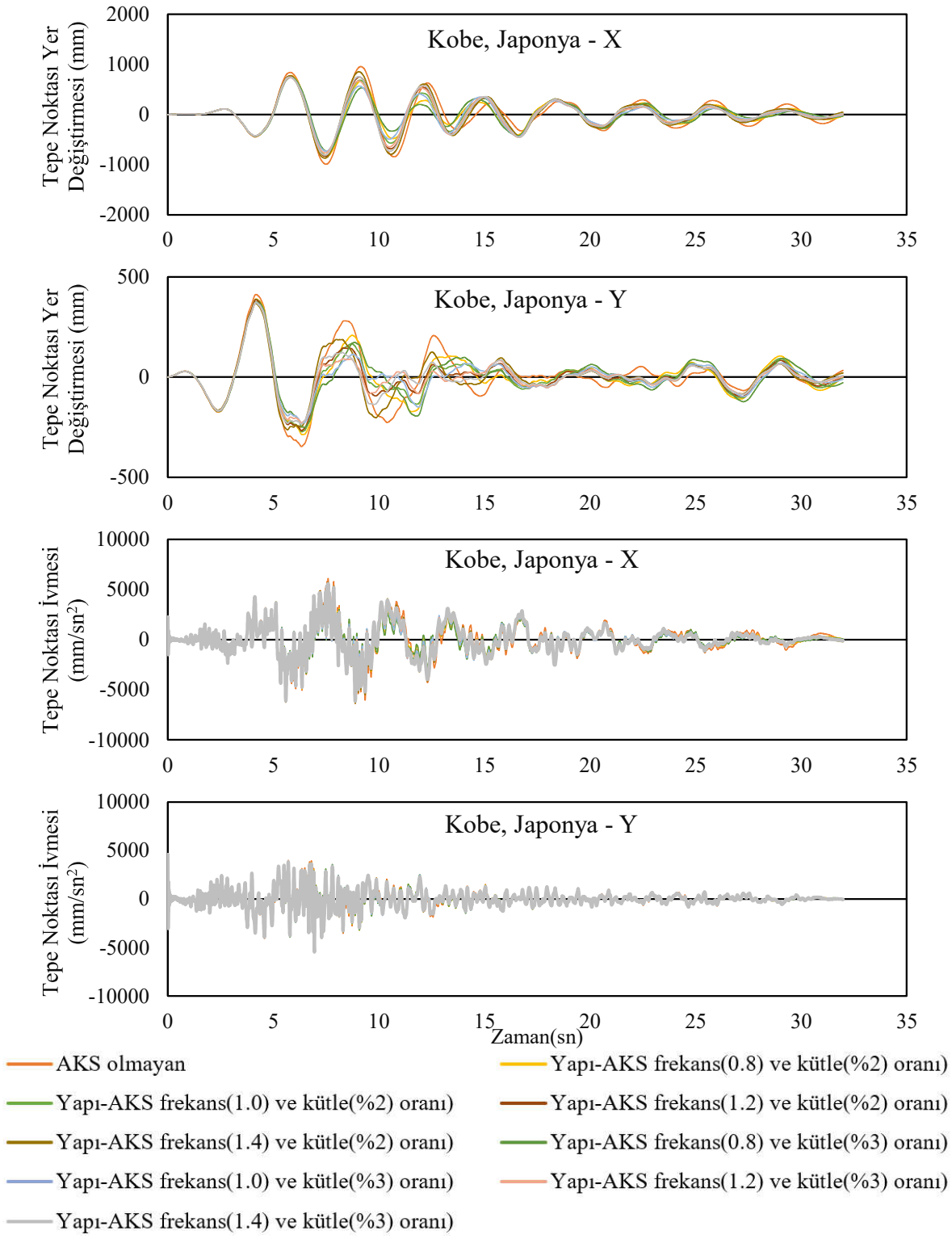
Şekil 4.3: Imperial Valley deprem kaydına ait, her iki yön için kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



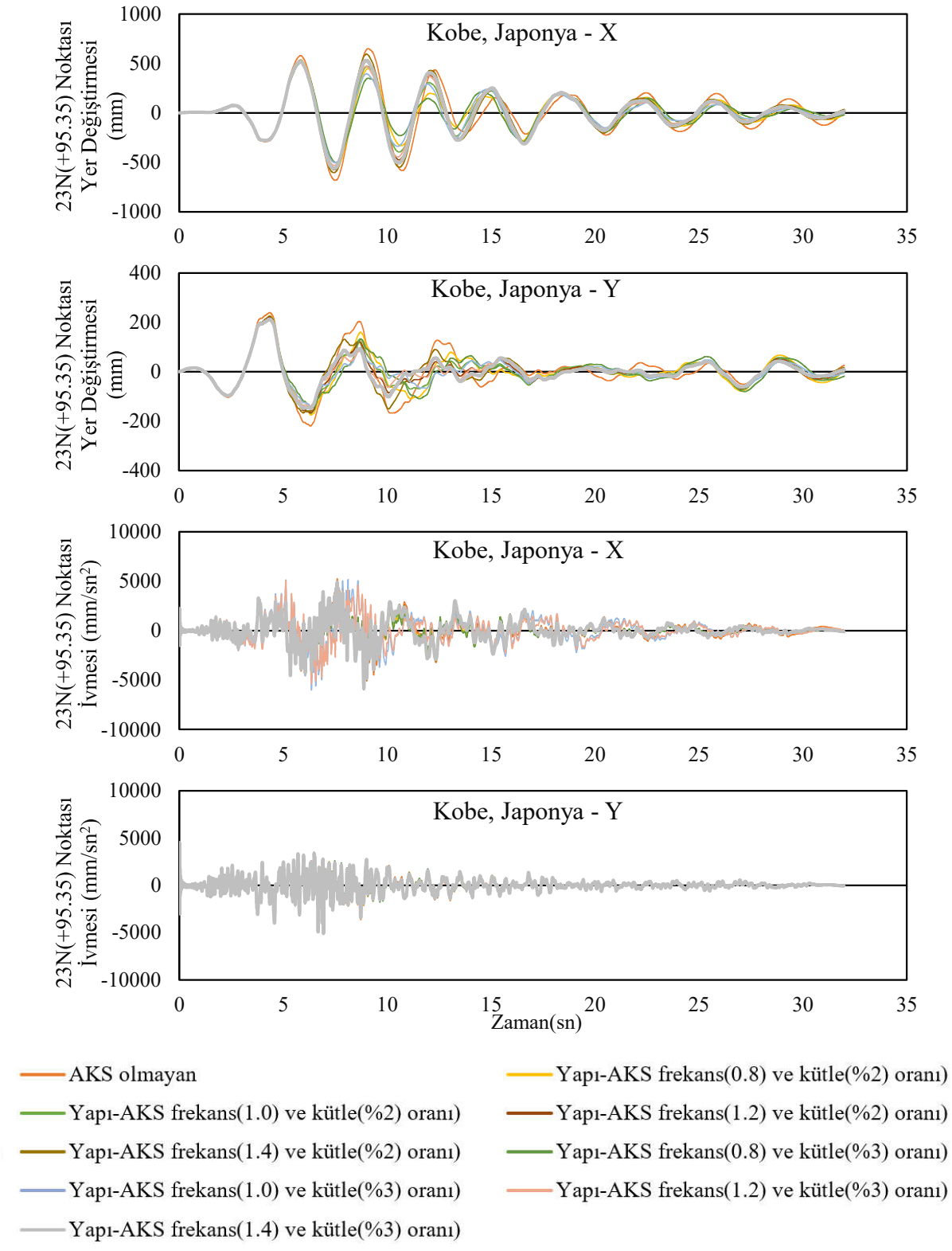
Şekil 4.4: El Centro deprem kaydına ait, her iki yön için kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



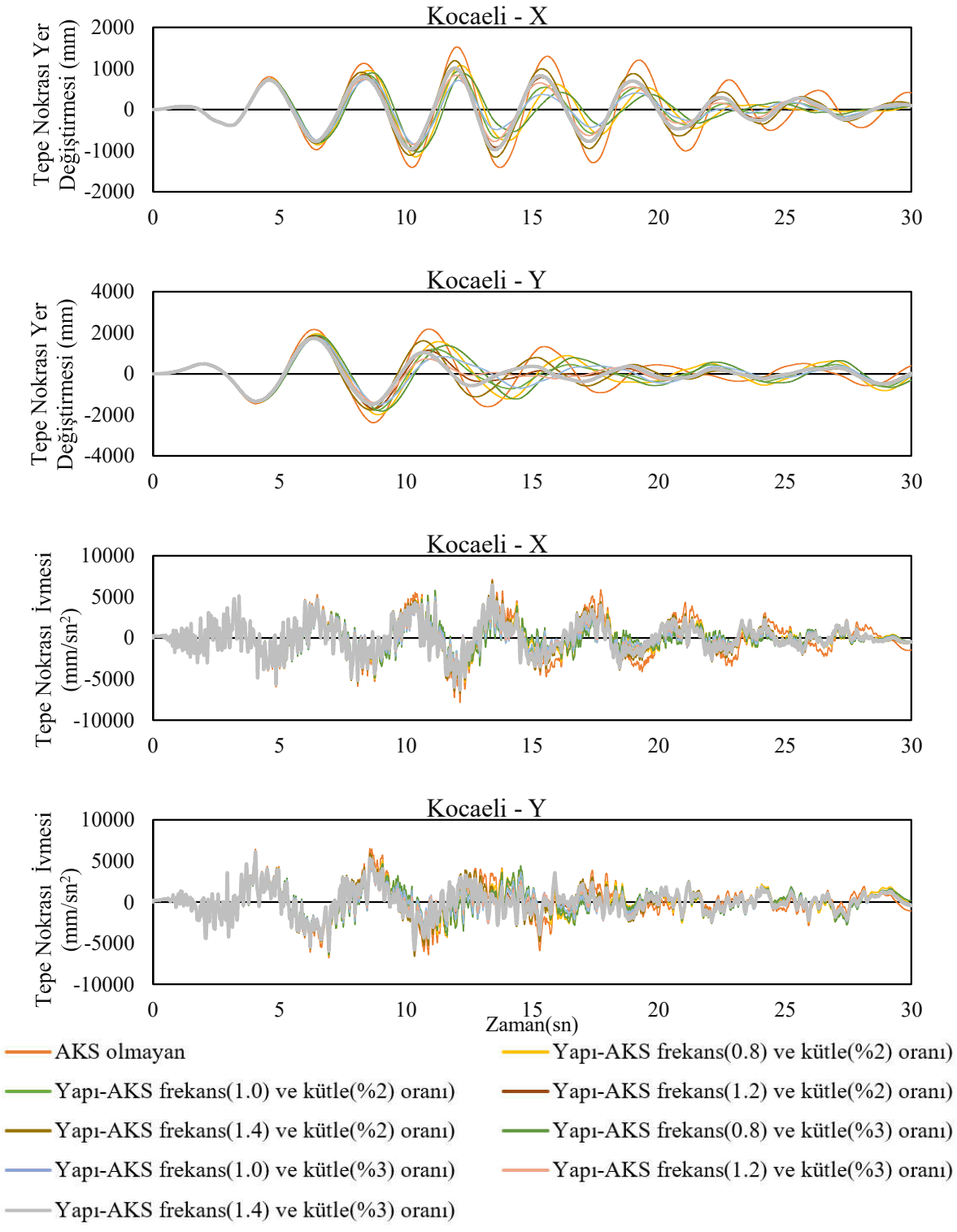
Şekil 4.5: El Centro deprem kaydına ait, her iki yön için kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



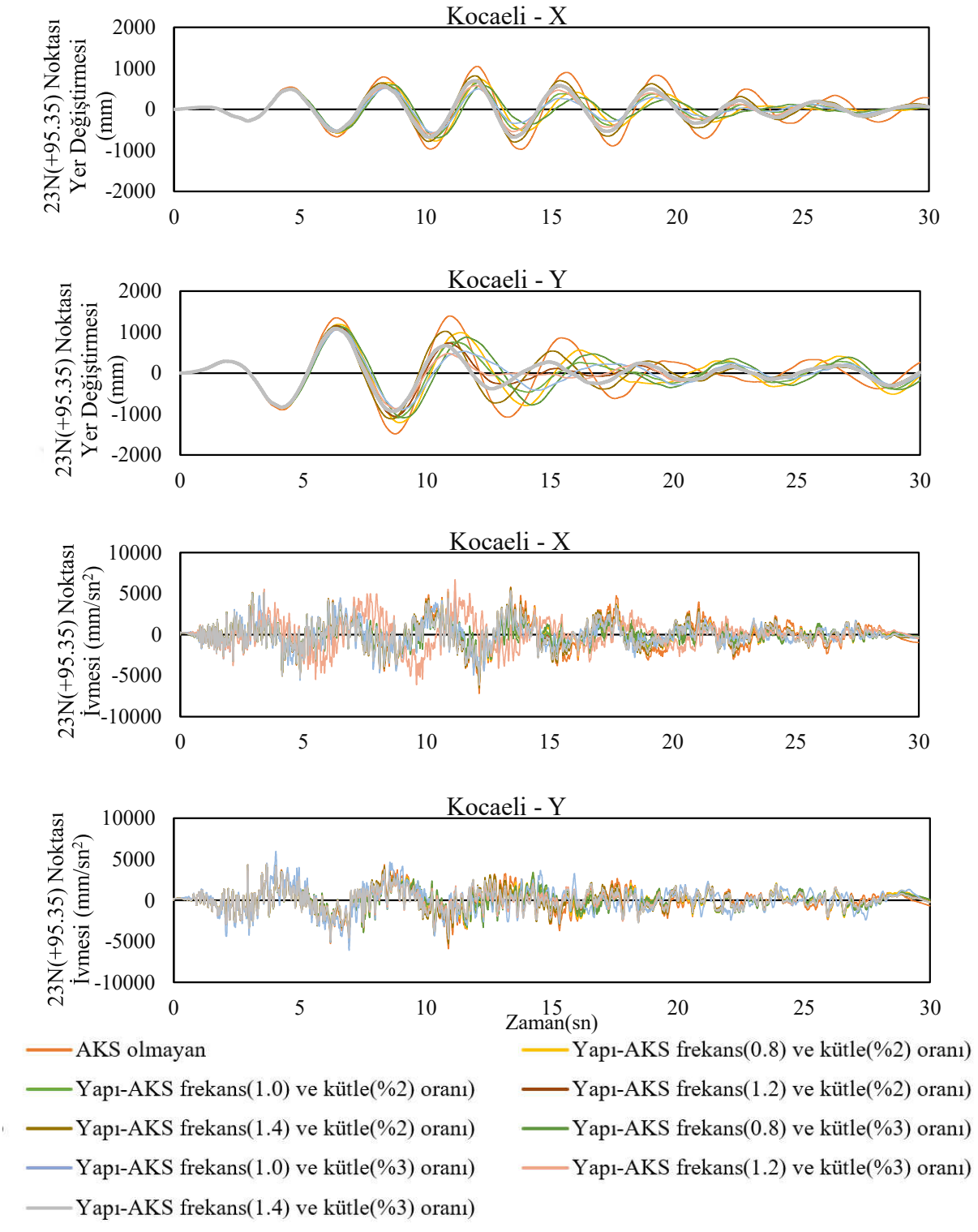
Şekil 4.6: Kobe,Japonya deprem kaydına ait, her iki yön için kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları



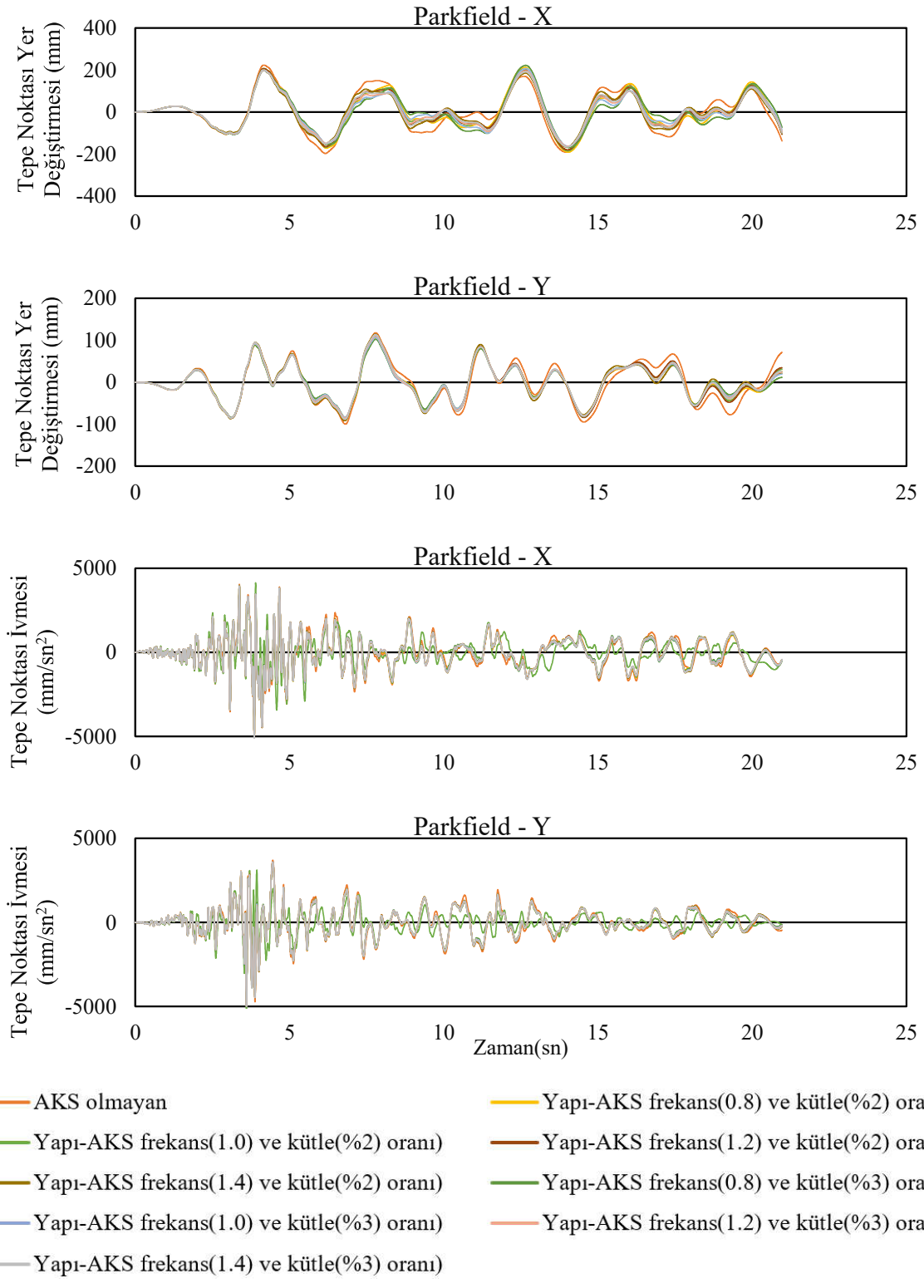
Şekil 4.7: Kobe, Japonya deprem kaydına ait, her iki yön için kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



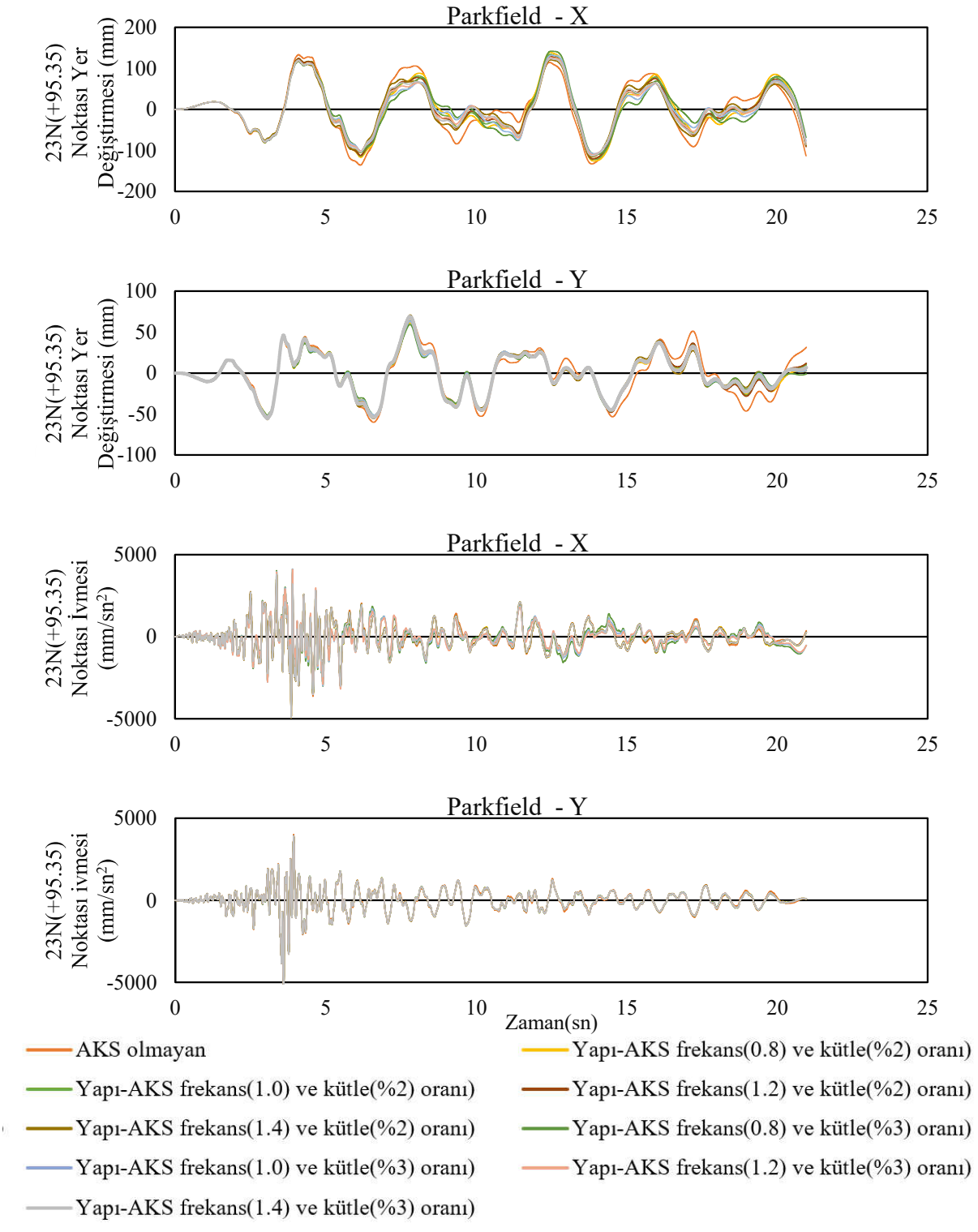
Şekil 4.8: Kocaeli deprem kaydına ait, her iki yön için kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



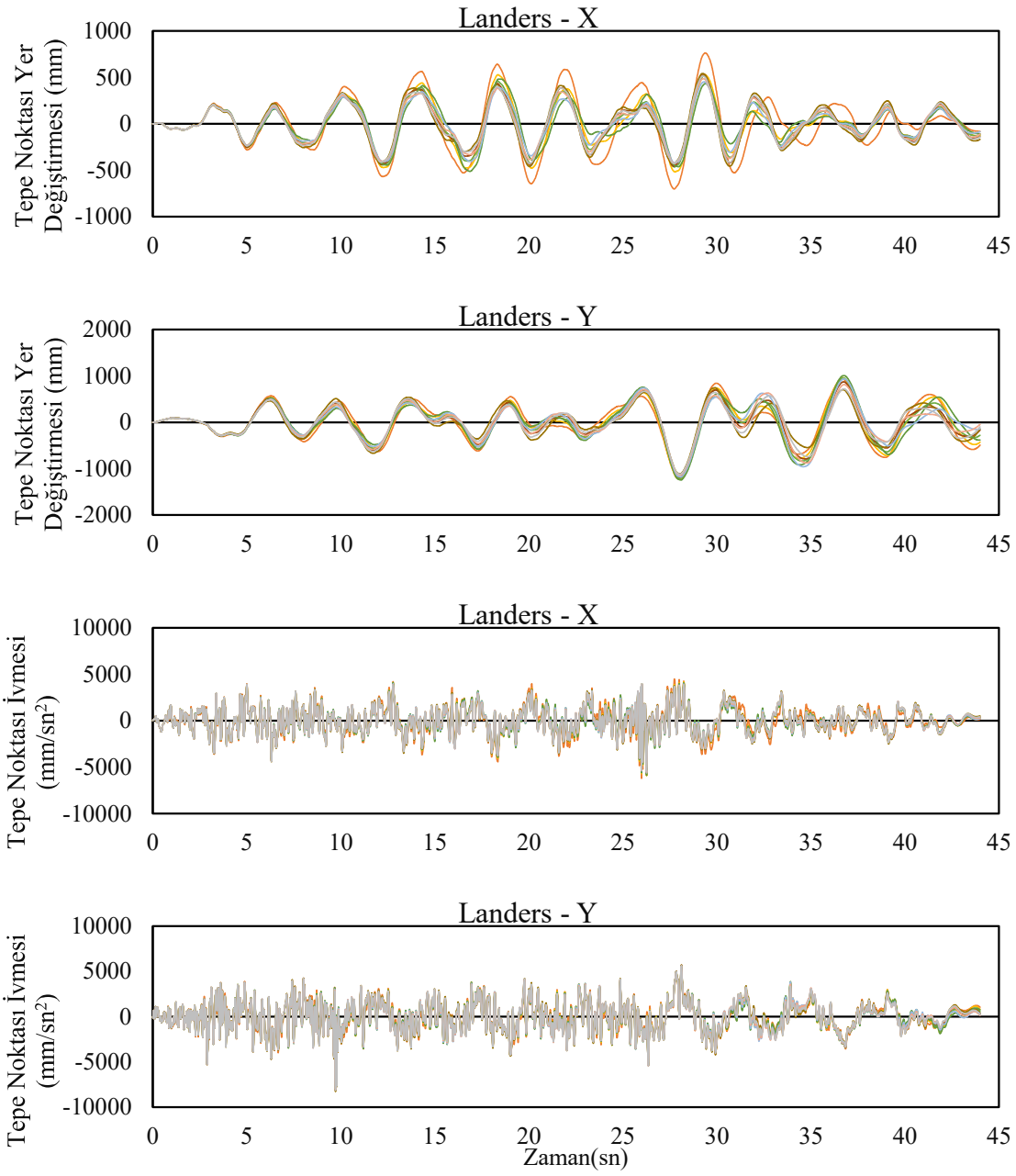
Şekil 4.9: Kocaeli deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



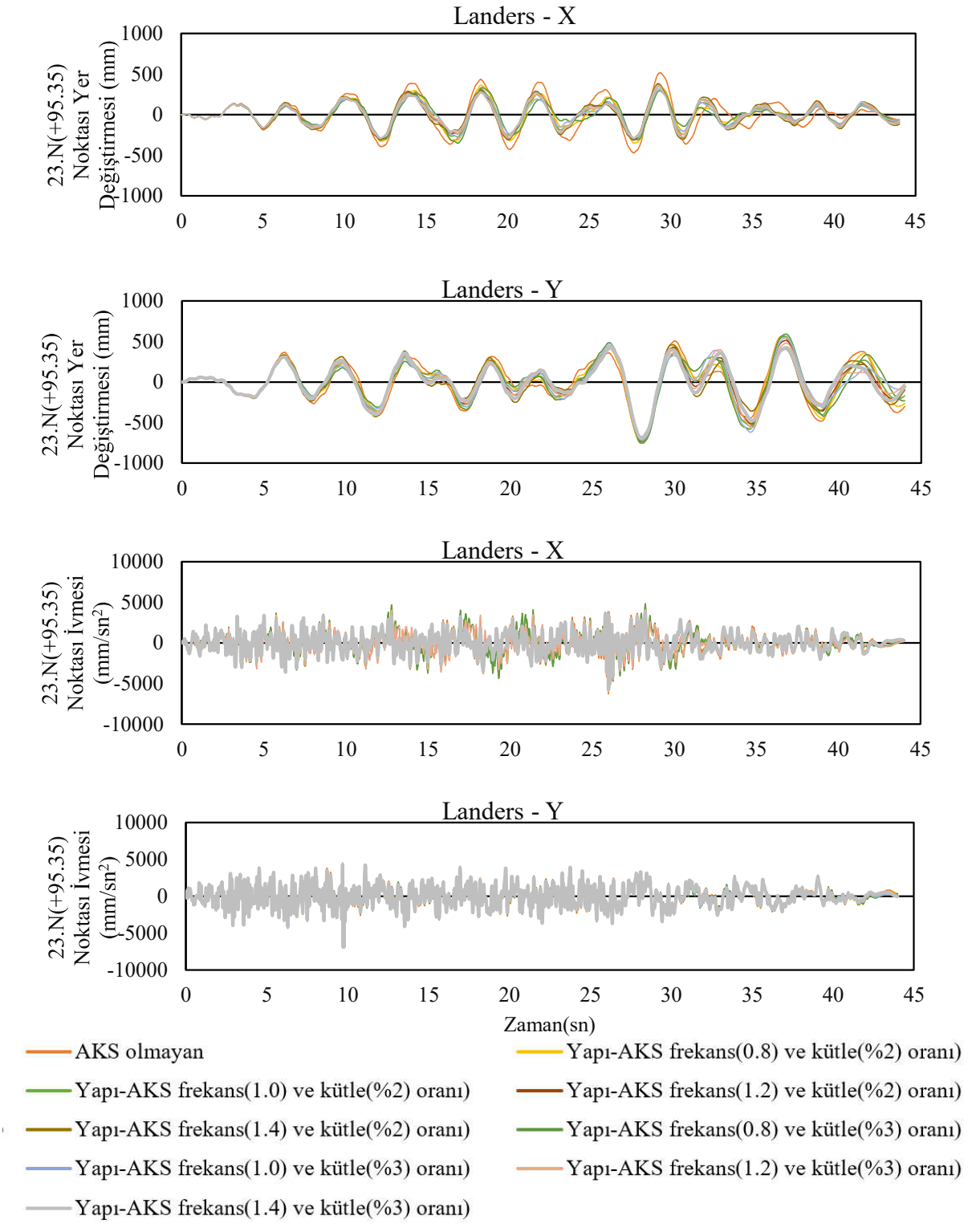
Şekil 4.10: Parkfield deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



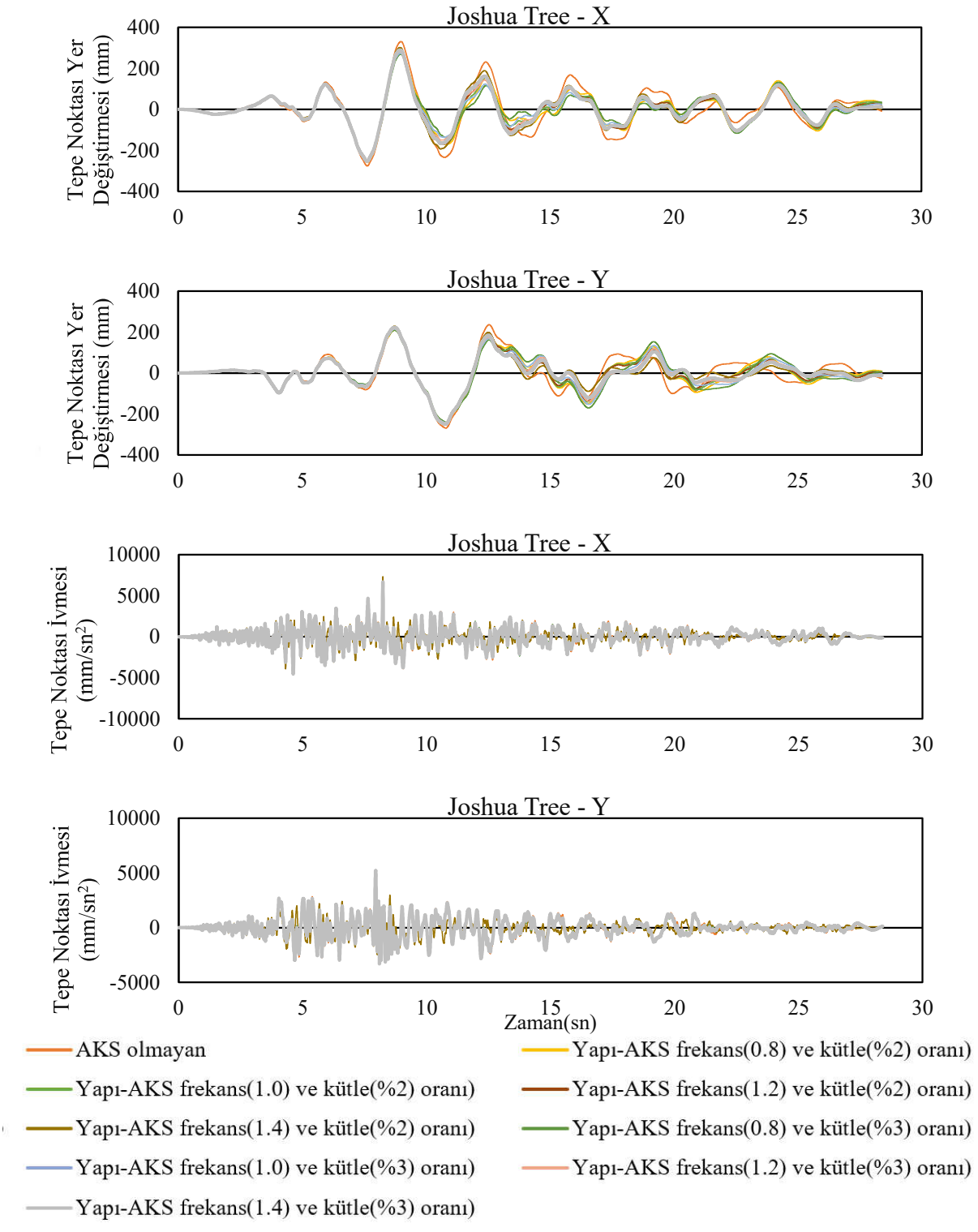
Şekil 4.11: Parkfield deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



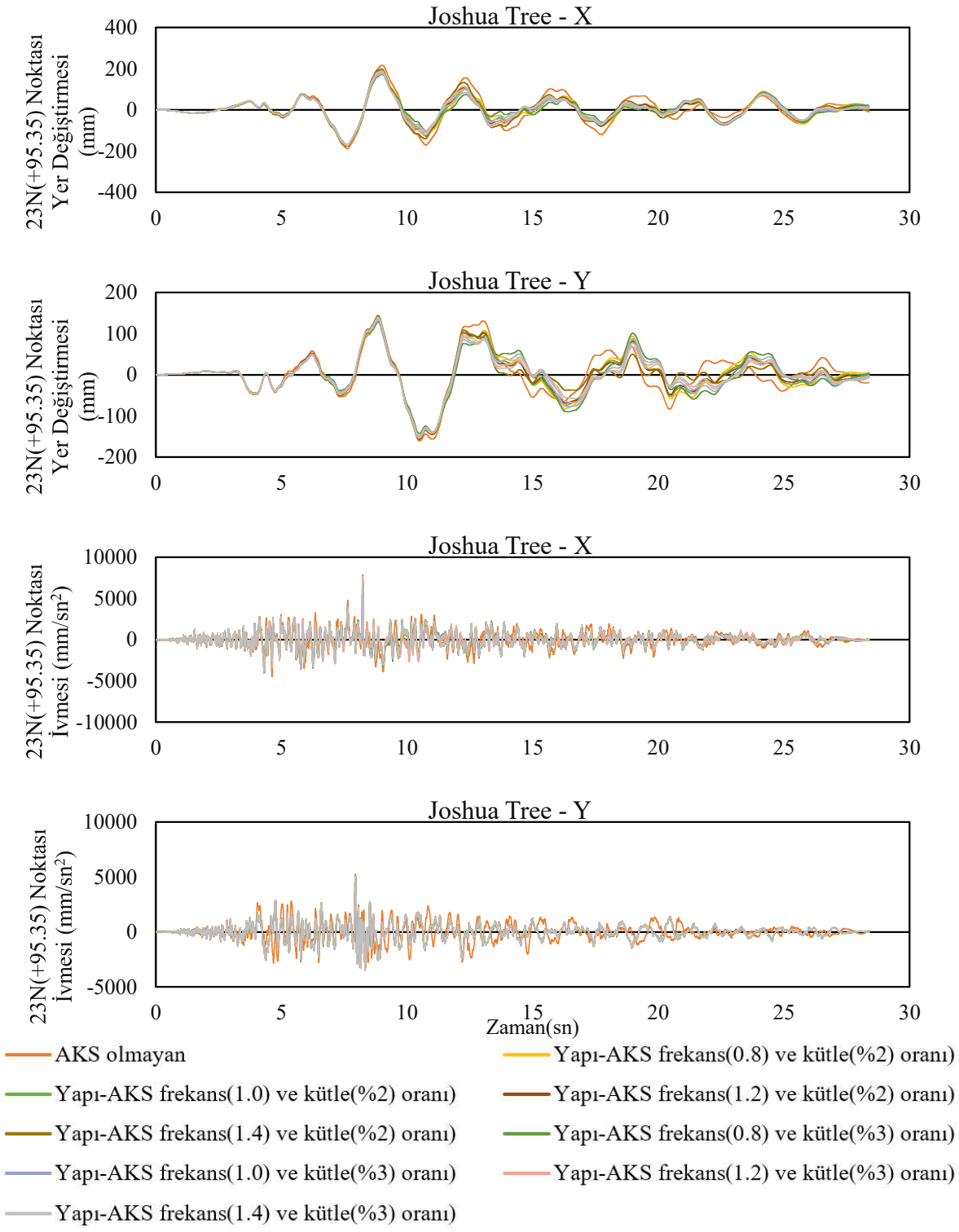
Şekil 4.12. Landers deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



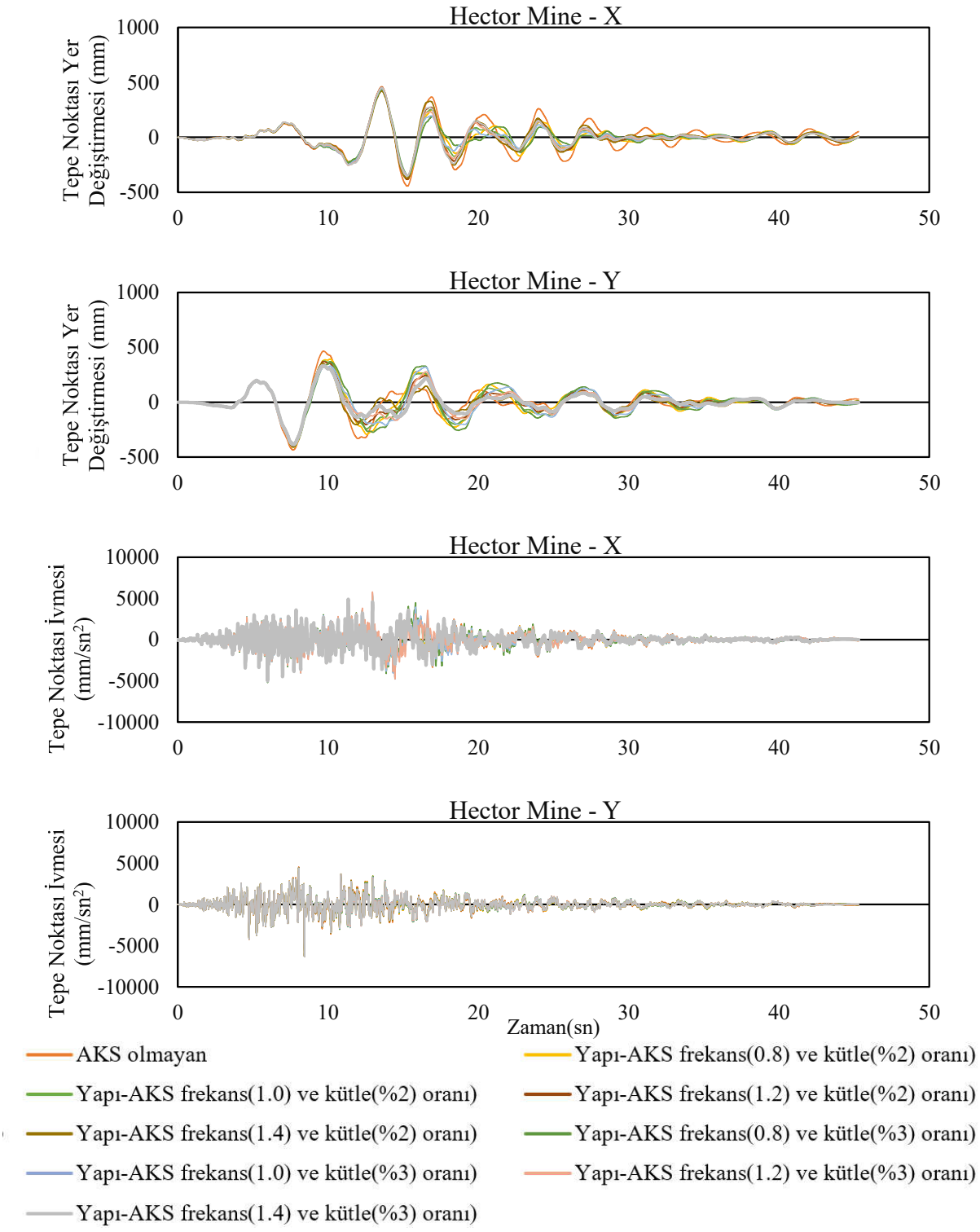
Şekil 4.13: Landers deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



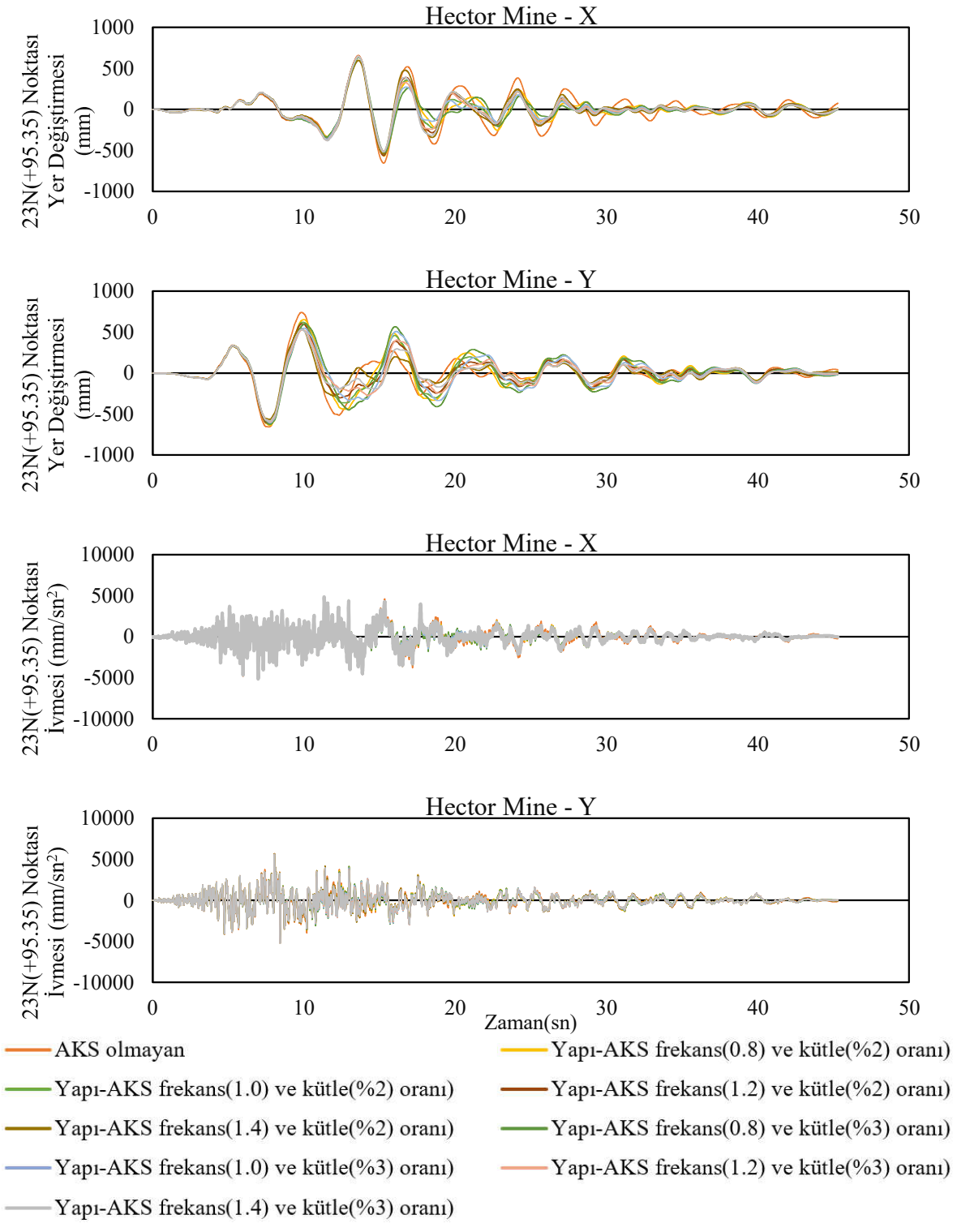
Şekil 4.14: Joshua Tree deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



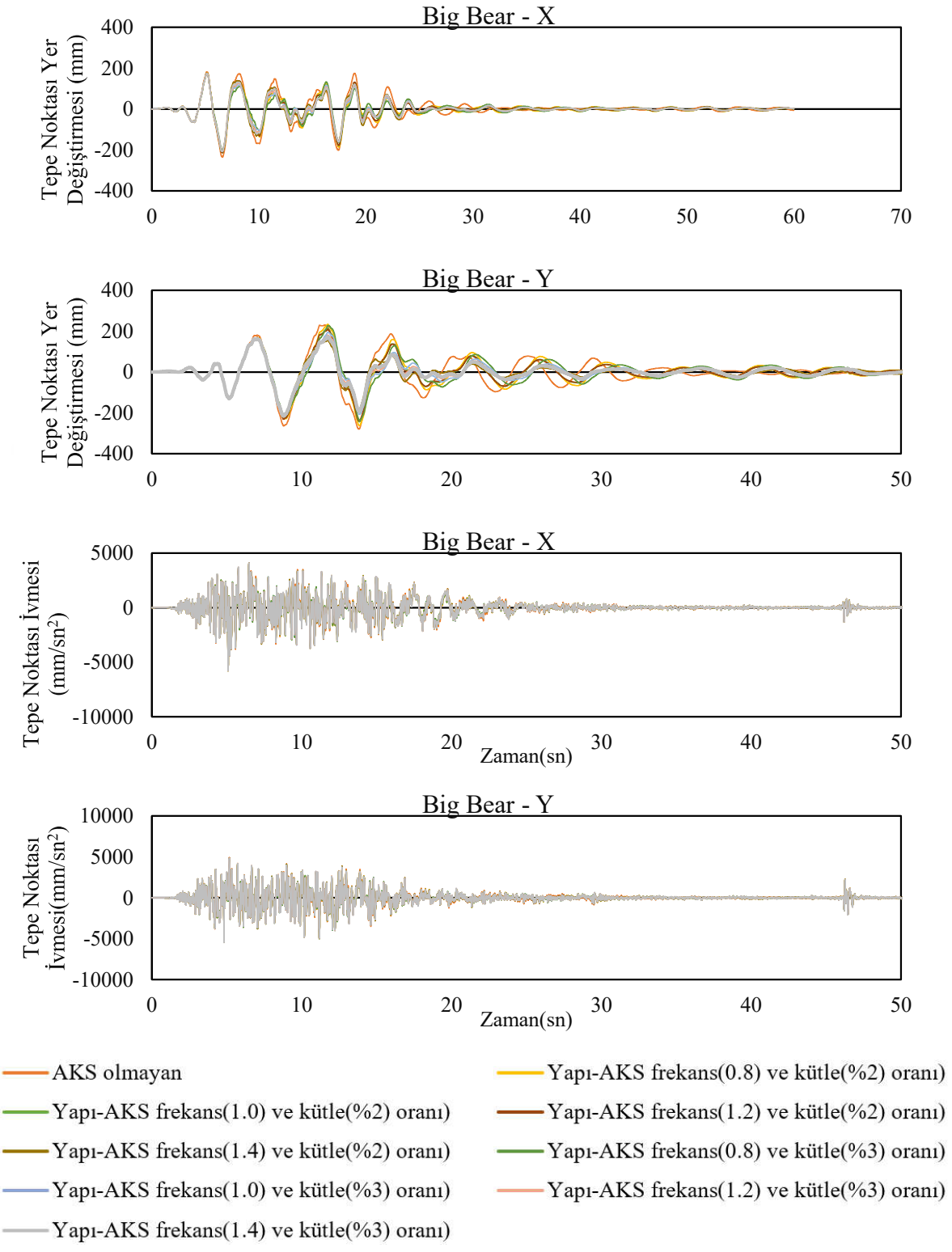
Şekil 4.15: Joshua Tree deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



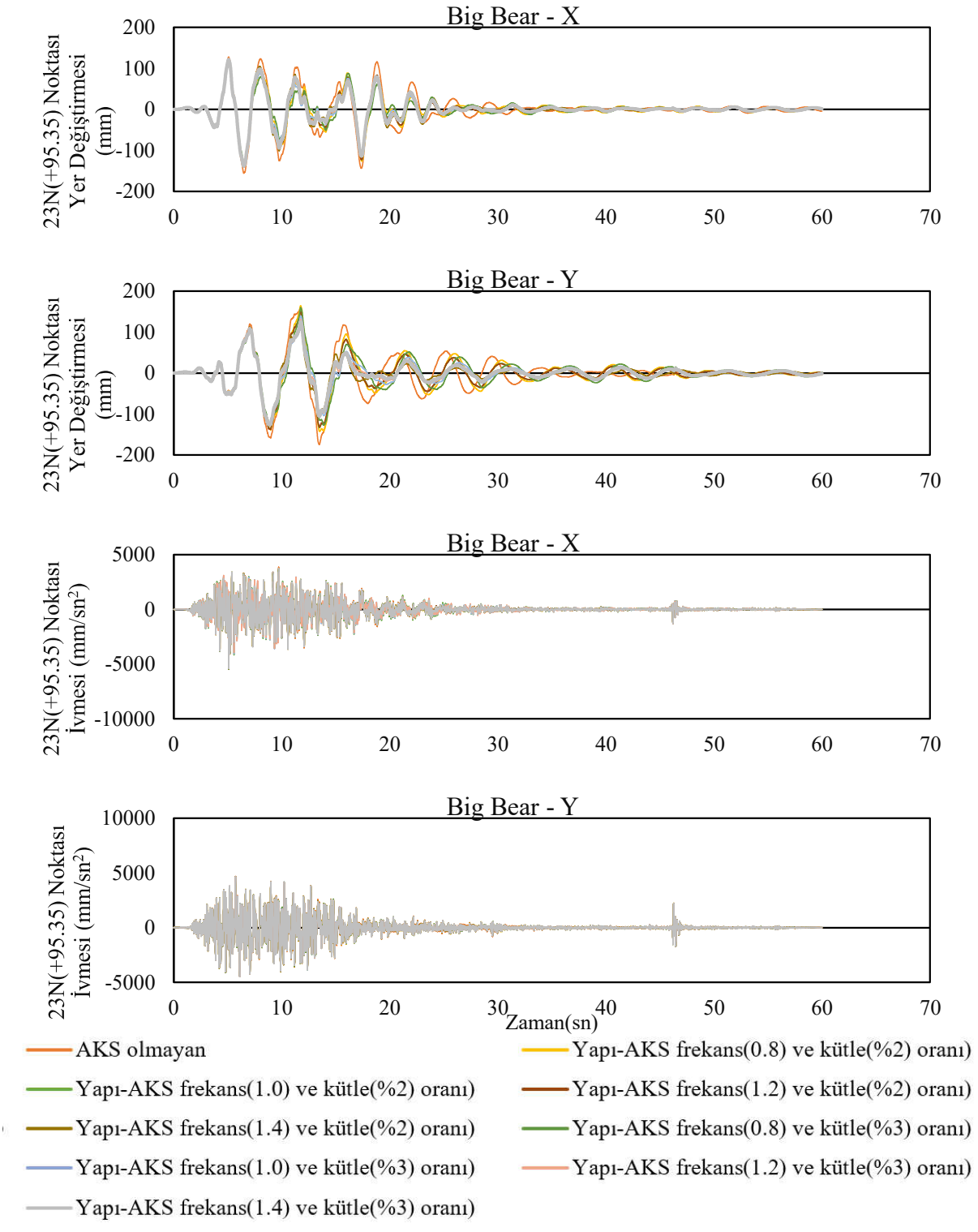
Şekil 4.16: Hector Mine deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



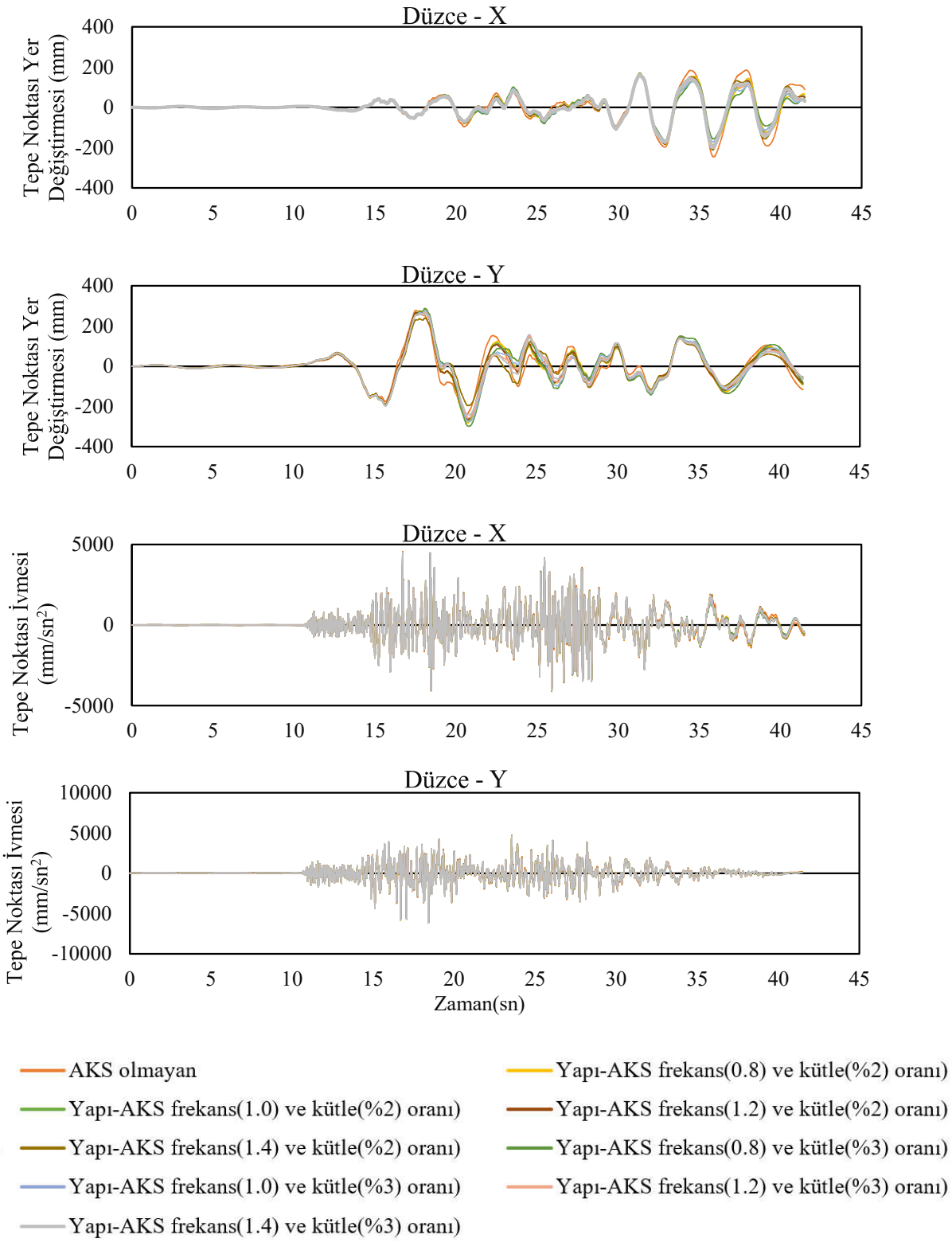
Şekil 4.17: Hector Mine deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



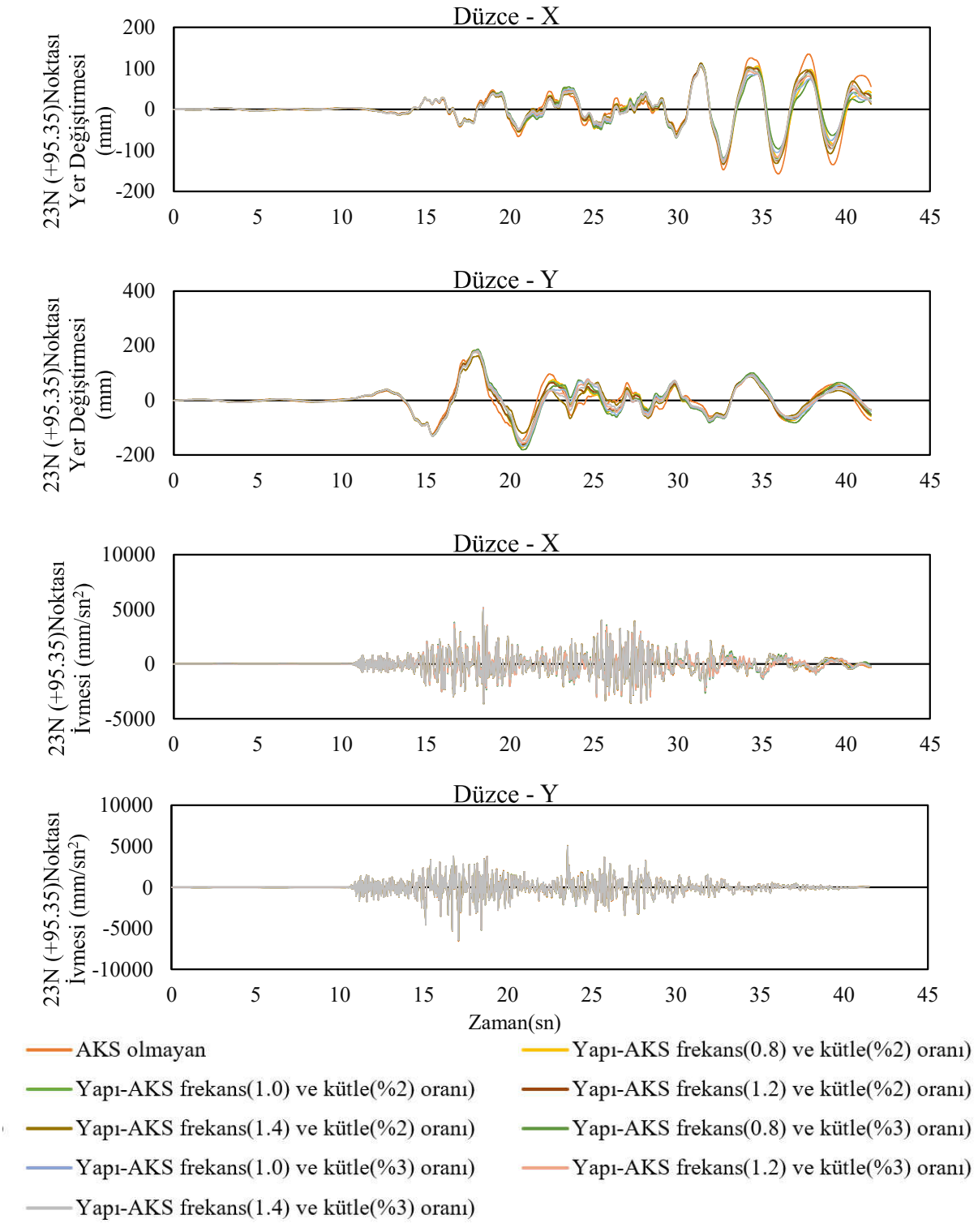
Şekil 4.18: Big Bear deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



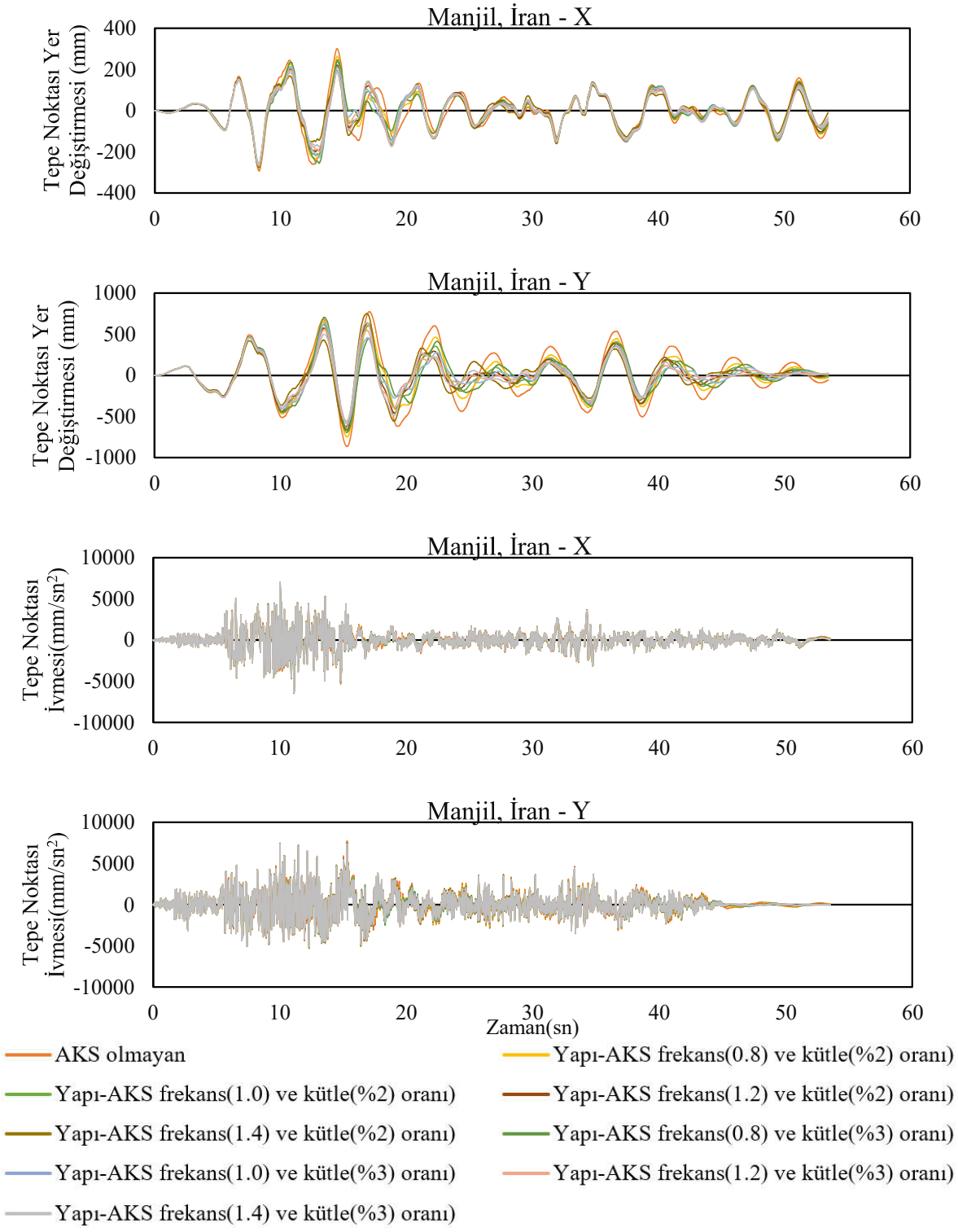
Şekil 4.19: Big Bear deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



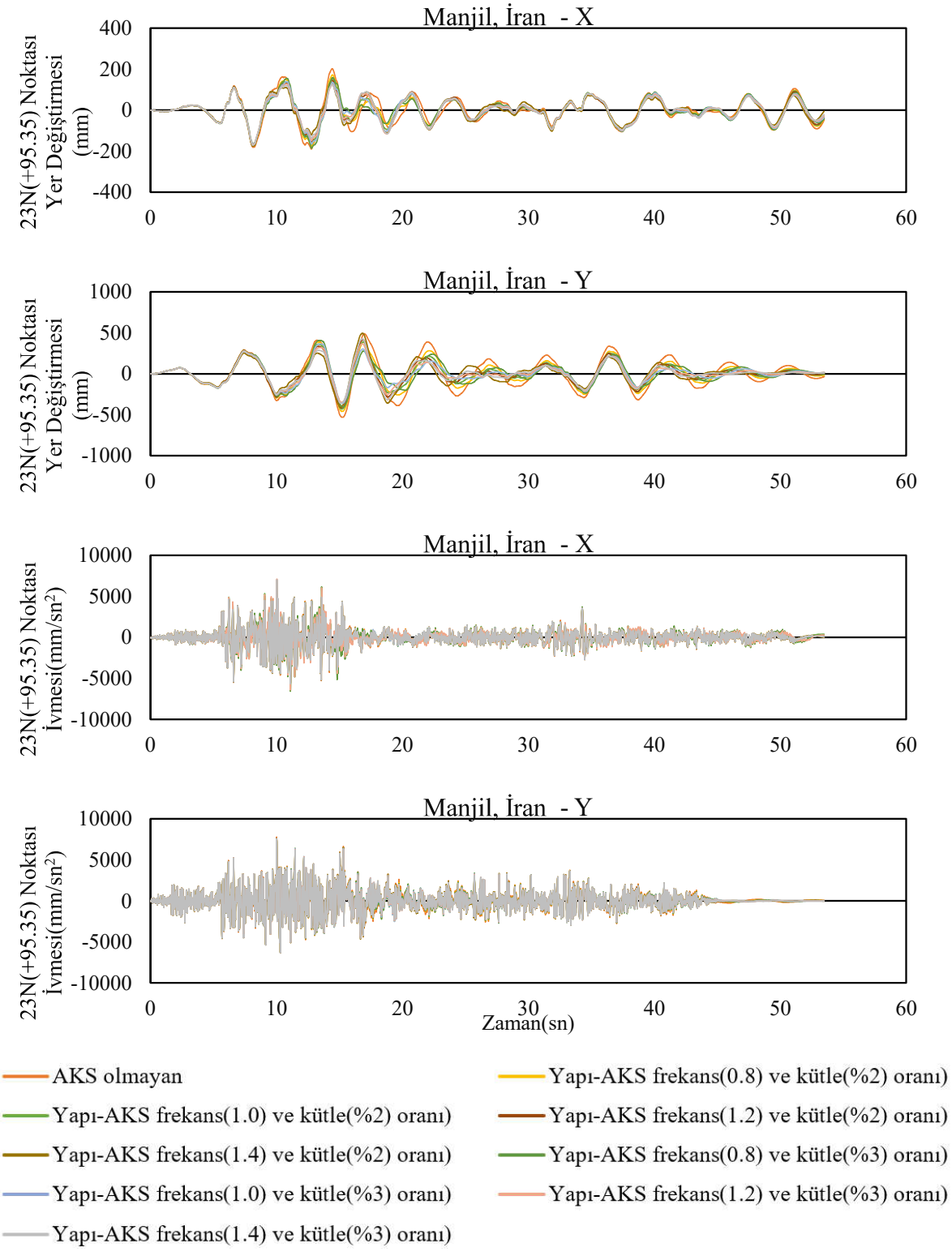
Şekil 4.20: Duzce deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



Şekil 4.21: Düzce deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



Şekil 4.22: Manjil, İran deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 37. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.



Şekil 4.23: Manjil, İran deprem kaydına ait, her iki yön için, kütle ve frekans oranlarına göre 23. normal kat yer değiştirme ve ivme kayıtları.

Tablo 4.2: Maksimum yer değiştirmelerin oluştuğu AKS – yapı kütle ve frekans oranları

Deprem	Nokta	Zaman (sn)	En büyük mutlak yer değiştirme (mm)	AKS Etkisiyle (mm)	Fark (mm)		AKS-Yapı Kütle Oranı	AKS-Yapı Frekans Oranı
Imperıal Valley	23.Normal Kat, X Yönü	40-43	417	244	173	41%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	23.Normal Kat, Y Yönü	28	690	512	178	26%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, X Yönü	40-43	615	350	265	43%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, Y Yönü	28	1139	857	282	25%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
El Centro	23.Normal Kat, X Yönü	5	312	250	62	20%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	31	1105	663	442	40%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	37.Normal Kat, X Yönü	7	446	297	149	33%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, Y Yönü	31	1773	1062	711	40%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
Kobe, Japan	23.Normal Kat, X Yönü	8	682	505	177	26%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	23.Normal Kat, Y Yönü	6	220	139	80	37%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, X Yönü	8	990	732	258	26%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, Y Yönü	4	412	369	43	10%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
Kocaeli	23.Normal Kat, X Yönü	12	1048	502	546	52%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	23.Normal Kat, Y Yönü	9	1483	865	618	42%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	37.Normal Kat, X Yönü	12	1522	713	809	53%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, Y Yönü	9	2381	1401	98	41%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
Parkfield	23.Normal Kat, X Yönü	6	136	101	35	25%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	23.Normal Kat, Y Yönü	8	69	59	10	14%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	4	223	199	24	11%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	37.Normal Kat, Y Yönü	8	117	102	15	13%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
Landers	23.Normal Kat, X Yönü	29	516	317	199	39%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	23.Normal Kat, Y Yönü	28	729	681	48	7%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, X Yönü	29	763	452	311	41%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, Y Yönü	28	1203	1108	95	8%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4

Tablo 4.2(devam): Maksimum yer değiştirmelerin oluştuğu AKS – yapı kütle ve frekans oranları.

Deprem	Nokta	Zaman (sn)	En büyük mutlak yer değiştirme (mm)	AKS Etkisiyle (mm)	Fark (mm)		AKS-Yapı Kütle Oranı	AKS-Yapı Frekans Oranı
Joshua Tree	23.Normal Kat, X Yönü	9	217	173	44	20%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	11	161	142	18	11%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	9	331	269	62	19%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, Y Yönü	11	268	240	29	11%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
Hector Mine	23.Normal Kat, X Yönü	13	462	424	39	8%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	23.Normal Kat, Y Yönü	10	464	319	145	31%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, X Yönü	13	658	599	59	9%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, Y Yönü	10	739	523	215	29%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
Big Bear	23.Normal Kat, X Yönü	7	155	130	25	16%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	13	174	102	72	42%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	37.Normal Kat, X Yönü	7	235	199	36	15%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, Y Yönü	13	279	182	96	35%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
Düzce	23.Normal Kat, X Yönü	36	157	97	61	39%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	18	180	159	21	12%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, X Yönü	36	246	157	89	36%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, Y Yönü	18	277	231	46	17%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
Manjil, Abbar	23.Normal Kat, X Yönü	15	202	125	77	38%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	23.Normal Kat, Y Yönü	15	531	346	185	35%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	37.Normal Kat, X Yönü	15	301	189	113	37%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, Y Yönü	15	864	554	310	36%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2

Tablo 4.3: Maksimum ivme değerlerinin oluştuğu AKS – yapı kütle ve frekans oranları.

Deprem	Nokta	Zaman (sn)	En büyük mutlak ivme (mm/sn²)	AKS Etkisiyle (mm/sn2)	Fark (mm/sn2)		AKS-Yapı Kütle Oranı	AKS-Yapı Frekans Oranı
Imperial Valley	23.Normal Kat, X Yönü	13	5326	4694	633	12%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	23.Normal Kat, Y Yönü	11	4497.1	4478	19	0%	%2 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, X Yönü	13	6010	5960	50	1%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, Y Yönü	13	6010	5944	66	1%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
El Centro	23.Normal Kat, X Yönü	2.2	5738	5697	41	1%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	4.7	5426	5038	388	7%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	2.2	5785	5691	93	2%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, Y Yönü	4.7	6274	5636	638	10%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
Kobe, Japan	23.Normal Kat, X Yönü	9	5937	5124	813	14%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	23.Normal Kat, Y Yönü	7	4994	5032	-37	-1%	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	9	6374	5152	1223	19%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, Y Yönü	7	5115	5240	-125	-2%	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
Kocaeli	23.Normal Kat, X Yönü	12	7186	5595	1591	22%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	23.Normal Kat, Y Yönü	11	5909	4783	1126	19%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, X Yönü	12	7839	5595	2244	29%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, Y Yönü	7	6773	5930	843	12%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
Parkfield	23.Normal Kat, X Yönü	4	4925	4326	599	12%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	3.6	6123	6119	4	0%	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	4	5355	4346	1009	19%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, Y Yönü	3.6	4854	4933	-79	-2%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
Landers	23.Normal Kat, X Yönü	26	6257	5335	922	15%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	10	6897	6718	179	3%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	26	6211	5321	890	14%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, Y Yönü	10	7887	7800	87	1%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8

Tablo 4.3(devam): Maksimum ivme değerlerinin oluştuğu AKS – yapı kütle ve frekans oranları.

Deprem	Nokta	Zaman (sn)	En büyük mutlak ivme (mm/sn^2)	AKS Etkisiyle (mm/sn2)	Fark (mm/sn2)		AKS-Yapı Kütle Oranı	AKS-Yapı Frekans Oranı
Joshua Tree	23.Normal Kat, X Yönü	8	6802	7012	-210	-3%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	23.Normal Kat, Y Yönü	8	5236	5024	18	0%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	8	6802	6675	127	2%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, Y Yönü	8	5236	5182	29	1%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
Hector Mine	23.Normal Kat, X Yönü	6	5030	4995	39	1%	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	8	6239	6243	145	2%	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	7	5129	5144	59	1%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, Y Yönü	8	5701	5604	215	4%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
Big Bear	23.Normal Kat, X Yönü	5	5471	5318	25	0%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.2
	23.Normal Kat, Y Yönü	6	4698	4631	72	2%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	5	5770	5766	36	1%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, Y Yönü	5	5467	5353	96	2%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
Duzce	23.Normal Kat, X Yönü	18	4998	4983	61	1%	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	17	6557	6423	21	0%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, X Yönü	17	4564	4468	89	2%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	37.Normal Kat, Y Yönü	18	6050	6137	46	1%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
Manjıl, Abbar	23.Normal Kat, X Yönü	10	6978	6808	77	1%	%3 (93kN Yayılı Yük)	0.8
	23.Normal Kat, Y Yönü	10	7811	7567	185	2%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0
	37.Normal Kat, X Yönü	10	6641	6935	113	2%	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.4
	37.Normal Kat, Y Yönü	15	7775	7374	310	4%	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.0

Tablo 4.4: %2 AKS-Yapı kütle oranı için çatı katında oluşan en büyük göreli kat yer değiştirmeleri.

Deprem		Zaman (sn)	Çatı katında en büyük mutlak yer değiştirme (mm)	37.normal katta mutlak yer değiştirme (mm)	Fark (mm)	AKS-Yapı Kütle Oranı	AKS-Yapı Frekans Oranı
Imperıal Valley	X yönü	42.4	825.00	351.34	473.66	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	28.9	1387.50	422.18	965.34	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
El Centro	X yönü	28.6	594.85	299.10	295.75	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	31.4	3011.60	1647.99	1363.61	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
Kobe, Japan	X yönü	8.05	1307.53	452.54	854.99	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	4.5	473.43	344.63	128.80	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
Kocaeli	X yönü	11.0	2216.68	640.25	1576.43	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	9.4	3237.98	1227.95	2010.04	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
Parkfield	X yönü	12.9	283.11	165.35	117.76	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	5.2	116.91	62.063	54.85	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
Landers	X yönü	19.0	908.93	312.12	596.82	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	28.6	1794.83	776.46	1018.36	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
Joshua Tree	X yönü	9.4	336.61	136.05	200.57	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	11.2	314.57	184.47	130.09	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
Hector Mine	X yönü	14.0	1098.19	446.32	651.87	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
	Y yönü	10.5	989.35	508.73	480.62	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
Big Bear	X yönü	6.9	229.66	144.62	85.04	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	14.1	299.16	220.32	78.84	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
Düzce	X yönü	33.1	236.96	153.55	83.41	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
	Y yönü	18.1	351.38	277.51	73.87	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8
Manjil, Abbar	X yönü	13.2	485.58	192.01	293.56	%2 (55kN Yayılı Yük)	1.0
	Y yönü	15.6	959.15	615.16	343.99	%2 (55kN Yayılı Yük)	0.8

Tablo 4.5: %3 AKS-Yapı kütle oranı için çatı katında oluşan en büyük göreli kat yer değiştirmeleri.

Deprem		Zaman (sn)	Çatı katında en büyük mutlak yer değiştirme (mm)	37.normal katta mutlak yer değiştirme (mm)	Fark (mm)	AKS-Yapı Kütle Oranı	AKS-Yapı Frekans Oranı
Imperıal Valley	X yönü	41	560.58	406.59	153.99	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	26	1029.57	594.79	434.78	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
El Centro	X yönü	27	350.51	58.98	291.52	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	5	2164.52	1098.34	1066.18	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Kobe, Japan	X yönü	5	691.26	166.31	524.95	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	3	213.88	156.30	57.583	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Kocaeli	X yönü	8	1114.42	469.45	644.98	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	10	2049.99	525.05	1524.94	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Parkfield	X yönü	4	175.66	93.959	81.70	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	4	78.53	79.71	-1.18	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Landers	X yönü	28	527.56	427.95	99.61	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	33	1258.05	560.14	697.92	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Joshua Tree	X yönü	10	179.26	-86.81	266.07	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	14	194.94	49.44	145.49	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Hector Mine	X yönü	12	1007.48	311.32	696.16	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	11	776.45	59.05	717.40	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Big Bear	X yönü	7	131.64	92.87	38.77	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	9	200.83	62.39	138.44	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Düzce	X yönü	36	127.18	35.072	92.11	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	21	275.71	111.18	164.52	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
Manjil, Abbar	X yönü	14	418.33	41.93	376.40	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4
	Y yönü	8	752.73	251.06	501.67	%3 (93kN Yayılı Yük)	1.4

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, AKS'nin depremden kaynaklanan yapısal titreşimi azaltma kabiliyeti kütle ve izolatörlerin efektif rijitliği altında incelenmiştir. Frekans, kütle ve sönüm oranları gibi çeşitli parametrelerin genlik tepkisi üzerindeki etkisi AKS olan ve AKS olmayan betonarme çerçeveli çok katlı yüksek bir yapı modeli üzerinde incelenmiştir. İki uygulamada da zaman tanım alanında analizde kullanılmak üzere on bir farklı deprem kaydı (Imperial Valley, El Centro, Kobe, Kocaeli, Parkfield, Landers, Joshua Tree, Hector Mine, Big Bear, Düzce ve Abbar) dikkate alınmıştır.

Depremlerde elde edilen ivme-zaman ve yer değiştirme-zaman grafikleri incelendiğinde, 37. Normal katta ölçülen en yüksek ivmenin Landers depreminde 7886.94 mm/sn^2, en düşük ivmenin Imperial Valley depreminde 4497.1 mm/sn^2, en büyük yer değiştirmenin Kocaeli depreminde 238.1 cm, en küçük yer değiştirmenin Parkfield depreminde 11.7 cm olarak elde edildiği görülmektedir. Değerler karşılaştırılmak üzere yapıda modal yer değiştirmenin en yüksek olduğu düşünülen 23. normal kattan da aynı parametrelerle değerler okunmuştur. Elde edilen sonuçlar, yapısal tepkinin uygun şekilde tasarlanmış bir AKS ile büyük ölçüde azaltılabileceğini doğrulamaktadır.

Optimum AKS parametreleri, bina üzerindeki konumu ve modal ayarı, frekans alanı veya zaman alanı aracılığıyla ele alınabilir. Sönümleyicilerin tipik gereksinimleri yanında geleneksel bir AKS için özel düzenlemeler gereklidir. Kütlenin yapı kütlesine oranla artması çok katlı yüksek yapılarda mimari problemler doğurabilir. Ayrıca bu ek büyük kütle yapıya gelen deprem kuvvelerinin artmasına da neden olacaktır. Çalışılan AKS sisteminde AKS-yapı kütle oranı %1 olarak tercih edildiğinde yer değiştirme ve ivme sonuçlarında istenilen azalma görülememiştir. Bu sebeple %2 ve %3 AKS-yapı kütle oranlarıyla çalışmaya devam edilmiştir. Çalışmada ele alınan yapının mimarisinde bulunan mekanik kat kauçuk izolatörlerle yapıdan ayrılarak AKS için gerekli kütle olarak planlanmıştır. AKS-yapı kütle oranı için hesaplanan kütlenin ağırlığını tamamlamak üzere eklenen yayılı yükler, mimariye işlenecek parapet veya kubbe benzeri detaylar olarak planlanabilir.

AKS tasarımında kauçuk izolatör olarak planlanan ve çatı katının kolonları altına yerleştirilen yayların ihtiyacı olan kapasiteyi görmek adına çatı katı deplasmanları 37.normal

kat deplasmanlarıyla birlikte incelenmiştir. Çatı katında oluşan deplasmanlar incelenen depremlere göre farklılık gösterdiği gibi X ve Y yönlerinde yaptığı deplasmanlarla karşılaştırıldığında da fark gözlenmektedir. Çatı katındaki deplasmanlarda oluşan maksimum değerler göz önüne alındığında bütün depremlerde %2 AKS-Yapı kütle oranı ve 0.8, 1.0 AKS-Yapı frekans oranı altında oluştuğu belirlenmiştir. %2 AKS-Yapı kütle oranı pek çok depremde yatay yer değiştirmelerde izolatör sınırlarının aşıldığı görülmüştür. Ancak %3 AKS-Yapı kütle oranı için deplasmanların belirgin oranda azaldığı ve izolatör sınırlarına daha yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla tasarım aşamasında rölatif deplasmanların titiz bir şekilde ele alınması izolatörlü kat sisteminin efektif çalışabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Çok katlı yüksek yapıların tasarım ömrüyle birlikte AKS'lerin de uzun yıllar kullanılabilecek durumda tasarlanması gerekir. AKS'lerin bakımı yapılırken kapatılması uzun süreliğine kabul edilemez. Bu çalışmada kullanılan geleneksel olmayan AKS ise daha yaygın, uygulanabilir, bakım ve onarımı kolaylıkla yapılabilir durumdadır. Bu bakım ve onarımların da daha ekonomik olması avantaj olarak sayılabilir. Kauçuk izolatörlerin kullanıldığı taban izolasyon sistemlerinde ise yapının kat ötelenmelerinde azalma olurken yapının tamamının yaptığı yer değiştirmeler artmaktadır, bu da yapıdaki yaşam konforunu azaltmakta yapısal olmayan maliyetlerin artmasında sebebiyet vermektedir.

AKS'nin kritik bileşenleri sönümleyicilerin kendileridir. AKS'lerde kullanılmak üzere çeşitli sönümleyici türleri düşünülmüştür. AKS sisteminde kütlenin hareketlenmesi için önemli ölçüde enerjinin oluşması beklenmektedir. Bunun için küçük titreşimlerde AKS'yi harekete geçirecek aktüatörlerle A-AKS adı altında sistemin aktifleştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca sistem kendisiyle birlikte hidrolik amortisör veya sürtünme ile onu sönümleyecek fazladan sistemlere ihtiyaç duyar. Bu da çalışmada önerilen AKS temel prensibiyle çalışan sistemi daha ekonomik, ulaşılabilir ve uygulanabilir kılmaktadır.

Bu çalışmada önerilen sönümleme sistemi az katlı yapılarda da modal analizle bilgisayar ortamında çözülmüş, pozitif sonuçlar elde edilmiştir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde az katlı, önem arz eden, yapılar için de yaygınlaştırılmak üzere çalışmalar yapılabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar, tasarım değişkeni olarak AKS'nin kütlesini ve yapıyla AKS arasındaki frekans oranını da dikkate alarak elde edilen tüm çözümlerin, AKS'siz elde edilenlere kıyasla daha verimli olduğunu göstermektedir.

Çalışmada mekanik katın altına yerleştirilen kauçuk izolatör olarak planlanan link elemanların rijitlikleri her iki ana yön için eşit şekilde dağıtılmıştır. Ticari olarak temin edilebilen bu sönümleyicilerin yapısal özellikleri belli başlı üreticilerin internet sitelerinden elde edilmiştir. AKS-yapı kütle oranı %1 olduğunda istenilen sonuçları vermediğinden %2 ve %3 AKS-yapı kütle oranlarıyla çalışmaya devam edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda %3 AKS-yapı kütle oranının, yapının yer değiştirmelerini azaltmada daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Yer değiştirme değerleri verilen 37. ve 23. normal katlarda bulunan noktalar için optimum olan kütle ve frekans oranları her iki ana yönde de benzer görülmektedir. Çalışmayla varılan bulgularda %3 AKS-yapı kütle oranının, farklı frekans oranları, etkitilen depremler ve değerlerin verildiği noktalar için %2 AKS- yapı kütle oranına göre daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha yüksek AKS-yapı kütle oranlarıyla çalışma genişletilebilir.

%3 AKS-yapı kütle oranının yanı sıra 1.2 ve 1.4 frekans oranları seçildiğinde %2 kütle oranı da etkili olmaktadır. Sistem, 1.4 AKS-yapı frekans oranı ile %2 AKS- yapı kütle oranı birlikte uygulandığında da yapının yer değiştirmelerinin önemli ölçüde azalmasını sağlamıştır. Algoritmik hassas hesaplarla AKS-yapı parametrelerinin optimizasyonu sağlandığında daha kesin ve yapının deprem davranışı açısından daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Optimizasyon sağlandığı takdirde AKS'nin yapının titreşimini kontrol etmek için başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir. Bu çalışmayla, yapılan zaman tanım alanında çözümde kullanılan on bir deprem takımında da kat ötelenmelerinde azalma olmuştur. Bu, yapının kullanım ömrü ve yaşam konforu açısından çok katlı yüksek yapılar için oldukça önem arz etmektedir.

Imperial Valley depreminin 43. Saniyesinde X yönünün yer değiştirmesine AKS'nin faydası Şekil 4.2 ve 4.3'te açıkça görülebilmektedir. Y yönünde ise 28-30 saniyelerde yapının 23. ve 37. katlarında oluşan maksimum yer değiştirmeler olumlu yönde azalmıştır. Okunan

maksimum mutlak yer değiştirmelerin optimum olarak %3 AKS-yapı kütle oranıyla azaltıldığı, etkili AKS-yapı frekans oranının ise 0.8 ve 1.0 olduğu Tablo 4.2'de belirtilmiştir. Yapıya AKS yerleştirilmesinin olumlu etkileri diğer deprem bulgularında da benzerdir.

Yapılarda titreşimi kontrol altına almak için planlanan bu sistem yapının kat ötelenmelerini ve periyodunu azaltırken yapıya gelen ivme değerlerinde belirgin bir değişme gözlenmemiştir. Tasarlanan AKS'nin yapı periyodunu azaltması ve eklenen kütlelerin yapının toplam ağırlığını arttırması nedeniyle yapının ivme cevaplarında belirgin bir azalma görülmemiştir.

AKS tasarımındaki kauçuk izolatörlerin ihtiyaç duyduğu yer değiştirme kapasitesini belirlemek için çatı katında oluşan yer değiştirmeler incelenmiştir. Çatı katı yer değiştirmeleri 37.normal kat ile göreli olarak incelendiğinde bazı depremlerde yüksek yer değiştirmeler gözlenmektedir. Bu yer değiştirmelerin hepsi %2 AKS -Yapı kütle oranı ve 0.8, 1.0 AKS - Yapı frekans oranı gözetildiğinde oluşmuştur. Bu nedenle kullanılacak kauçuk izolatörlerin yer değiştirme kapasitesini aşmaması için AKS-Yapı kütle ve frekans oranları arttırılarak tasarlanabilir. Kauçuk izolatör olarak planlanan yayların efektif rijitlikleri veya sayıları arttırılabilir.

Önerilen AKS sistemi uygulanabilir, ekonomik ve mimari açıdan estetik olmasıyla cazip görülebilir bir sistemdir. Az katlı önem arz eden yapılarda da taban izolatör sistemi yerine daha az sayıda kauçuk izolatör kullanılarak uygulama yapılabilir. Erişilebilir ve ekonomik olan bu izolatörlerle uygulanacak olan AKS sistemi hızla yaygınlaştırılabilir. Bu sistemlerin yaygınlaştırılabilmesi, doğru hesap ve uygulama yapılabilmesi için ülkemizde var olan yönetmeliklerin ışığında titreşim kontrol sistemlerine özel yönetmelik ve şartnameler yayınlanması gerektiği düşünülmektedir.

7. KAYNAKÇA

Abe, M. ve Igusa, T., 1996, Semi-Active Dynamic Vibration Absorbers For Controlling Transient Response, Journal of Sound and Vibration, 198(5), 547-569.

Aldemir, U., 2003, Optimal control of structures with semi-active tuned mass dampers, Journal of Sound and Vibration, 226(4), 847-874.

Bekdaş, G. ve Nigdeli, S. M., 2011, Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search. Engineering Structures, 33(9), 2716-2723.

Beyen, K. ve Batı, M., 2020, 8 Katlı Yapının Dinamik Yükler Altında Titreşim Kontrolü, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Der*gisi, 3(1), 65-76.

Brodersen, M. L., Bjørke, A.-S. ve Høgsberg, J., 2016, Active tuned mass damper for damping of offshore, Wind Energy, 20(5), 783-796.

Casciati, F. ve Giuliano, F., 2008, Performance of Multi-TMD in the Towers of Suspension Bridges, Journal of Vibration and Control, 15(6), 821-847.

Celep, Z. ve Özuygur, A. R., 2017, Yüksek Yapıların Yapısal Tasarımı, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Yayın Organı*, 70, 8-12.

Cho, S. G., Chang, S. ve Deokyong, S., 2020, Application of tuned mass damper to mitigation of the seismic responses of electrical equipment in nuclear power plants, Energies, 13(2), 427.

DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, 26454.

De Angelis, M., Tronci, E., Pietrosanti, D. ve Cordisco, G., 2017, Vibration analysis of the civic tower in Rieti, Procedia Engineering, 199, 2268-2273.

Elias, S. ve Matsagar, V., 2018. Wind response control of tall buildings with a tuned mass damper, Journal of Building Engineering, 15, 51-60.

G Bekdaş, S. N., 2013, Mass ratio factor for optimum tuned mass damper strategies, International Journal of Mechanical Sciences, 71,68-84.

G Bekdaş, S. N., 2017, Metaheuristic based optimization of tuned mass dampers under earthquake excitation by considering soil-structure interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 92, 443-461.

Gu, M., Chen, S. ve Chang, C., 2001, Control of wind-induced vibrations of long-span bridges by semi-active lever-type TMD, Journal of Wind Engineering, 90(2), 111-126.

Guclu, R. ve Yazici, H., 2008, Vibration control of a structure with ATMD against earthquake using fuzzy logic controllers, Journal of Sound and Vibration, 318(1-2), 36-49.

Hermann, F., 1911, *Cisimlerin Titreşimini Sönümleyen Cihaz*, Washington/ABD, Patent No. 989958.

Kwok, K. C., 1983, Damping Increase In Building, Journal of Engineering Mechanics, 14(1-3), 307-318.

Longarini, N. ve Zucca, M., 2014, A chimney's seismic assessment by a tuned mass damper, Engineering Structures, 79, 290–296.

Nagarajaiah, S., 2009, Adaptive passive, semiactive, smart tuned mass dampers:identification and control using empirical mode decomposition, hilbert transform and short-term fourier transform, Structural Control And Health Monitoring, 16(7-8), 800-841.

Nagarajaiah, S. ve Varadarajan, N., 2000, Novel semi-active variable stiffness tuned mass damper with real time tuning capability, 13th Engineering Mechanics Conf., 13-16 Haziran 1999, Reston, ASCE.

Reggio, A. ve De Angelis, M., 2015, Optimal energy-based seismic design of non-conventional Tuned Mass Damper (TMD) implemented via inter-story isolation, Earthquake Engineering ve Structural Dynamics, 44(10), 1623-1642.

Ryan, K. L. ve Earl, C. L., 2010, Analysis and Design of Inter-Story Isolation, Journal of Earthquake Engineering, 14(7), 1044-1062.

Samali, B. ve Al-Dawod, M., 2003, Performance of a five-storey benchmark model using an active tuned mass damper and a fuzzy controller, Engineering Structures, 25(13),1597-1610.

Spencer, B. ve Nagarajaiah, S., 2003, State of the art of structural control, Journal of Structural Engineering, 129(7), 845.

TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Resmi Gazete, 30364.

Tolani, K. K., Talikoti, R. S. ve Deore, M. K. S., 2017, Vibration Analysis of Structure Using Tuned Mass Damper, International Research Journal of Engineering and Technology, 4(7), 2814-2820.

TT, S., 1990, Active structural control: Theory and practice, Journal of Engineering Mechanics, 118(6), 1282.

Yang, J., Agrawal, A., Samali, B. ve Wu, J., 2004, Benchmark problem for response control of wind-excited tall buildings, Journal of Engineering Mechanics, 130(4), 437.

Zhao, X., Ding, J. ve Sun, H., 2011, Structural Design of Shanghai Tower for Wind Loads, Procedia Engineering, 14, 1759-1767.

4801191073-Selen OZKAN

ORİJİNALLİK RAPORU

%15	%13	%3	%9
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%5
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%2
3	Submitted to Pamukkale Üniversitesi Öğrenci Ödevi	%1
4	Submitted to Istanbul Aydin University Öğrenci Ödevi	%1
5	www.imarhaber.com İnternet Kaynağı	<%1
6	www.scribd.com İnternet Kaynağı	<%1
7	acikarsiv.aydin.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	Submitted to Karadeniz Teknik University Öğrenci Ödevi	<%1
9	acikerisim.aku.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1