



T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON
BİRİMİ (PAUBAP)

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ SONUÇ RAPORU

PROJE NO : 2011 BSP 024
PROJE TİPİ : Başlangıç Seviyesi Projesi
İLGİLİ BİRİM : Mühendislik Fakültesi
PROJE ADI : Sismik Yapı Hasarı ile Çeşitli
İvme Kaydı Parametrelerinin İlişkilerinin
Değerlendirilmesi

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ :
Yrd. Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN (MF)

ARAŞTIRMACILAR :
Prof. Dr. Mehmet İNEL (MF)

DENİZLİ - 2013

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ
(PAUBAP)**

PROJE NO : 2011 BSP 024
PROJE TİPİ : Başlangıç Seviyesi Projesi
İLGİLİ BİRİM : Mühendislik Fakültesi
PROJE ADI : Sismik Yapı Hasarı ile
Çeşitli İvme Kaydı Parametrelerinin
İlişkilerinin Değerlendirilmesi

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ :
Yrd. Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN (MF)

ARAŞTIRMACILAR :
Prof. Dr. Mehmet İNEL (MF)

DENİZLİ - 2013

**Sismik Yapı Hasarı ile Çeşitli İvme Kaydı
Parametrelerinin İlişkilerinin Değerlendirilmesi
Tayini**

Proje No: 2011 BSP 024

Yrd.Doç.Dr. Hayri Baytan ÖZMEN
Prof.Dr. Mehmet İNEL

KASIM 2013
DENİZLİ

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN yürütücülüğünde hazırlanan 2011 BSP 024 nolu ve “**Sismik Yapı Hasarı ile Çeşitli İvme Kaydı Parametrelerinin İlişkilerinin Değerlendirilmesi**” başlıklı **Başlangıç Seviyesi Araştırma Projesi** Kesin Sonuç Raporu Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'nun .../.../20.. tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Latif ELÇİ
Koordinatör
.../.../20..

ÖNSÖZ

Bu çalışma, ülkemizin önemli konuları arasında yer alan depremlerin yapı stokları üzerindeki hasar vericilik etkilerinin; ivme kaydı ve deplasman istemi parametreleri üzerinden incelenmesi hakkındadır. Çalışma, Pamukkale Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (PAUBAP) kanalıyla 2011BSP024 numaralı “Sismik Yapı Hasarı ile Çeşitli İvme Kaydı Parametrelerinin İlişkilerinin Değerlendirilmesi” adlı proje kapsamında desteklenmiştir.

Çalışmayı destekleyen Pamukkale Üniversitesi'ne ve çalışma ekibinde yer alan Prof. Dr. Mehmet İNEL' e teşekkürlerimi sunarım.

Yrd. Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN
Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
1. Giriş	1
1.1 Amaç	1
1.2 Önceki çalışmalar	2
1.3 Yapılan Çalışmanın Önceki Çalışmalardan Farkı	3
1.4 Yöntem.....	4
2. Deprem İvme Kayıtları	6
3. Bina Model Seti Bilgileri.....	9
3.1 Model Özellikleri ve Modelleme	9
4. Deplasman İstemi ve İvme Kaydı Parametreleri İlişkisi.....	13
4.1 İvme kaydı Parametreleri.....	13
4.2 İvme kaydı Parametreleri ve Deplasman İstemi Korelasyonu.....	15
5. Hibrit Parametre Çalışması	20
6. Özet ve Sonuçlar	24
7. KAYNAKLAR.....	27

ÖZET

Sismik Yapı Hasarı İle Çeşitli İvme Kaydı Parametrelerinin İlişkilerinin Değerlendirilmesi

Deprem hasarlarının yapılar üzerindeki etkilerinin tahmin ve değerlendirilmesi inşaat mühendisliğinin öncelikli konuları arasındadır. Her bir depremin çok çeşitli özelliklerde olması ve yapılar üzerindeki etkilerinin farklılaşması konunun önemli zorluklarından. Sismik yüklemenin şiddeti ile ilgili tanımlamalarda genel olarak depremin büyüklüğü ve en büyük yer ivmesi sıklıkla kullanılan parametreler arasındadır. Fakat daha düşük büyüklük ve/veya yer ivmesi değerine sahip depremlerin daha yıkıcı sonuçlara yol açması da mümkündür. Dolayısıyla depremin etkisinin tanımlanması için birçok parametre önerilmiştir. Önerilen çalışmada çeşitli ivme kaydı parametrelerinden hangilerinin yapı stoğu hasarı ile daha ilişkili olduğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ülkemiz mevcut yapı stoğunun büyük bölümünü temsil etmesi açısından az ve orta katlı betonarme çerçeve yapılar dikkate alınmıştır. Betonarme yapı stoğu 1056 kapasite eğrisi ile tanımlanan geniş yelpazede özelliklere sahip binalar ile temsil edilmiştir. 466 deprem kaydı dikkate alınarak geniş bir ivme kaydı seti oluşturulmuştur. Her bir kapasite eğrisi ve deprem kaydı için yapıların doğrusal elastik olmayan deplasman talebi elde edilmiştir. Yaklaşık yarım milyon deplasman talebine dayanan bu veri setinin kapsamlı değerlendirmeye imkan verdiği düşünülmektedir. Belirlenen özellikte yapı grupları için elde edilen ortalama deplasman talepleri ile dikkate alınan 19 ivme kaydı parametresi arasında en yüksek korelasyon ve en düşük saçılıma sahip parametreler olarak Hız Spektrum Şiddeti (VSI) ve Maksimum Yer Hızı (PGV) belirlenmiştir. İlâveten dikkate alınan 19 parametreden seçilen bir kaçının birlikte kullanımı ile hasar ile daha büyük ilişkiye sahip hibrit bir parametre elde edilmesi için çalışma yapılmış ve VSI'ya göre %23 daha az saçılıma sahip bir denklem önerilmiştir. Yapılan çalışmanın deprem hasarlarının tahmini ve azaltılması çalışmalarında, yönetmeliklerin sismik şiddet tanımlanmasında, yapıların sismik analizinde ivme kaydı seçimi ve değerlendirilmesi işlemlerinde önemli faydalar sağlayabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, doğrusal elastik olmayan dinamik analiz, ivme kaydı, sismik hasar, yapı stoğu.

ABSTRACT

Evaluation of the Relation of Seismic Structural Damage and Some Acceleration Record Parameters

Evaluation and estimation of seismic hazards on structures are primary subjects of civil engineering. The singular characteristics and diverging effects of each earthquake on structures is one of the main challenges of the topic. The magnitude and peak ground acceleration of the earthquake is among the commonly used parameters regarding the intensity of the seismic loading. However, earthquakes with smaller magnitude or acceleration values may have more destructive effects. Therefore, in order to define the effect of earthquake many parameters are suggested. The goal of the proposed project is the evaluation of the acceleration record parameters mostly correlated with building stock seismic damage. The mid-rise reinforced concrete frame buildings are investigated, as it consists of the major portion of the building stock. Reinforced concrete building stock is represented with 1056 capacity curves that belong to a broad sense of buildings with different properties. 466 acceleration records are used in order to have a wide range of ground motions. For each of the acceleration record and capacity curve, the non-linear displacement demands will be determined with non-linear dynamic response history analyses. It is anticipated that, the data set based on more than half a million non-linear displacement demands will enable a comprehensive evaluation. The mostly correlated acceleration record parameters with minimum deviation are found to be Velocity Spectrum Intensity (VSI) and Peak Ground Velocity (PGV) among the investigated 19 parameters. Additionally, by use of some of the considered parameters together, definition of a new hybrid parameter that has 23% less deviation when compared to VSI is proposed. The conducted study is valuable for its contribution to the estimation and mitigation of seismic hazard studies, definition of seismic intensity for building codes, selection and evaluation of acceleration records for seismic assessment of structures.

Keywords: Earthquake, nonlinear dynamic analyses, acceleration record, seismic damage, building stock.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 İvme kayıtları PGV-PGA değerleri	7
Şekil 2.2 İvme kayıtları PGV dağılımı ve ort. 0.445 m/s, Std. değeri 0.226 m/s olan normal dağılım eğrisi	7
Şekil 3.1 Modellenen binalara ait kat kalıp planları (taşıyıcı dolgu duvarlar taralı olarak gösterilmiştir)	11
Şekil 3.2 Bina modelleri periyot değerleri.....	12
Şekil 3.3 Bina modelleri yatay dayanım oranları değerleri.....	12
Şekil 4.1 En yüksek korelasyona sahip ilk iki parametre için parametre değeri ve deplasman istemi ilişkileri	18
Şekil 4.2 En yüksek korelasyona sahip diğer iki parametre için parametre değeri ve deplasman istemi ilişkileri	19
Şekil 5.1 Analiz sonucu elde edilen ve Denklem 5.6 ile tahmin edilen deplasman istemlerinin ilişkisi	22
Şekil 5.2 Denklem 5.6'da verilen terimlerin toplam değer üzerindeki etkisi	22

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.Kullanılan ivme kayıtları ile ilgili bilgiler	6
Çizelge 2.2 İvme kayıtları zemin grubu dağılımı.....	8
Çizelge 3.1 Eğilme mafsalı hasar sınır kriterleri.....	11
Çizelge 4.1 Farklı kat sayıları ve tüm modeller için ivme parametreleri korelasyon ve saçılım değerleri	17
Çizelge 5.1 Birden fazla parametre kullanılarak elde edilen korelasyon ve saçılım değerleri	21

1. GİRİŞ

Deprem yüklemesinin yapılar üzerindeki etkilerinin tahmin ve değerlendirilmesi inşaat mühendisliğinin öncelikli konuları arasındadır. Her bir depremin çok çeşitli özelliklerde olması ve yapılar üzerindeki etkilerinin farklılaşması konunun önemli zorlukları arasındadır. Sismik yüklemenin şiddeti ile ilgili tanımlamalarda genel olarak depremin büyüklüğü ve en büyük yer ivmesi (PGA) sıklıkla kullanılan parametreler arasındadır (Kramer, 1996; Giovenale ve diğ., 2004; DBYBHY-2007, 2007). Fakat daha düşük büyüklük ve yer ivmesi değerine sahip depremlerin daha yıkıcı sonuçlara yol açması da mümkündür. Dolayısıyla depremlerin yıkıcılık özelliklerinin bir iki parametre ile tanımlanması yeterli olmayabilir.

Bu sebeple depremlere ait ivme kayıtlarının özelliklerinin tanımlanmasında en büyük yer hızı (PGV), en büyük yer deplasmanı (PGD), efektif tasarım ivmesi (EDA) (Benjamin, 1998), A95 parametresi (Sarma ve Yang, 1987), baskın periyot (T_p), Arias şiddeti (I_a), RMS ivmesi, RMS hızı, RMS deplasmanı, V_{max}/A_{max} oranı, karakteristik şiddet (I_c), Spesifik enerji yoğunluğu (SED), kümülatif mutlak hız (CAV), ivme (ASI) ve hız (VSI) spektrum şiddeti (Von Thun ve diğ., 1988), devamlı maksimum hız (SMV) ve ivme (SMA) (Nuttli, 1979), ortalama periyot (T_m), (Rathje ve diğ., 1998), vb. gibi birçok parametre yer almaktadır (Kramer, 1996).

Çalışmanın konusu yukarıda sayılan bu parametreler ile yapı stoğu sismik hasar ilişkisinin değerlendirilmesidir. Yapı stoğu olarak çalışma kapsamı içinde mevcut yapıların büyük kısmını kapsamaları sebebiyle az ve orta katlı (1-8 kat) betonarme çerçeve yapılar dikkate alınmıştır.

Bu yapılar için doğrusal elastik olmayan deplasman istemleri 466 deprem için hesaplanarak bunların deprem ivme kaydına ait parametreler ile korelasyonu değerlendirilmiştir.

Böylelikle çalışma kapsamında 466 deprem ve 1056 kapasite eğrisi için yaklaşık yarım milyon doğrusal elastik olmayan sismik deplasman talebi değerlendirilmiştir. Bu şekilde geniş bir sismik yükleme ve yapı çeşidinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.1 Amaç

Projenin amacı, çeşitli deprem parametreleri ile yapı stoğu hasarı arasında nasıl bir ilişki bulunduğunun incelenmesidir. Bilindiği gibi depremlerin şiddeti ile ilgili gösterge olduğu genel olarak kabul edilen büyüklük, pik ivme gibi değerlerin daha küçük olduğu depremler; bu değerlerin daha büyük olduğu depremlerden daha yıkıcı özellik gösterebilmektedir. Bu sebeple deprem özellikleri ve hasar arasındaki ilişkinin daha iyi bilinmesi deprem etkilerinin tahmin edilmesi ve azaltılması çalışmalarını için önemli olabilir.

Çalışma kapsamında çeşitli depremlere ait 19 parametrenin değeri ile bunların yapı stoğu deplasman talebi ile ilişkisi değerlendirilecektir.

Çalışma kapsamında incelenen deprem parametrelerinin hangi tür yapılar için uygun olduğu da belirlenmiştir. Böylelikle deprem kaydının yıkıcılık özelliklerinin belirlenmesinde hangi durumda hangi parametrelerin kullanılmasının daha uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışmada farklı deprem parametrelerinin birleştirilmesi ile oluşturulacak yapı stoğu deplasman istemleri ile korelasyonu yüksek hibrit deprem parametrelerine ait denklemler de önerilmiştir. Bu parametre, çalışma kapsamında incelenen 19 parametreden optimizasyon yoluyla seçilen birkaç tanesinin (hesaplama kolaylığı göz önüne alınarak) çeşitli matematiksel ifadeler ile birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Matematiksel ifadenin fiziksel olarak anlamlı olması göz önüne alınmakla birlikte birincil amaç olarak düşünülmemektedir.

Özet olarak projenin amaçları:

- Çeşitli deprem parametreleri ile yapı stoğu hasarı arasındaki ilişkinin incelenmesi,
- İncelenen parametrelerin hangi durumlarda hasar ile daha fazla ilgili olduğunun belirlenmesi,
- İncelenen parametrelerden yapı hasarı ile yüksek korelasyona sahip hibrit bir parametre belirlenmesi,

şeklinde özetlenebilir.

1.2 Önceki çalışmalar

Deprem özellikleri ve depremlerin yol açtıkları hasarlar arasındaki ilişki birçok mühendisliğin önemli konuları arasında yer almaktadır ve konu ile ilgili birçok araştırma yapılmış ve yapılmaktadır. Fakat bu araştırmalardan bir çoğu temel özellikleri bilinen (yaygın olarak periyot, ve kısmen de ilave olarak dayanım ve akma sonrası rijitlik) yapılar dikkate alınarak yapılmış çalışmaları kapsamaktadır. Bu çeşit çalışmalara literatürden yüzlerce örnek verilebilir. Önerilen projenin konusu spesifik bir yapı için değil yapı stoğu için depremin hasar vericiliğinin tespiti ile ilgili olduğundan bunların çoğu kapsam dışındadır. Fakat konunun genel gidişi açısından bazı bu kısım çalışmalara da yer verilmiştir.

Depremlerin hasar vericiliği ile ilgili parametreler incelenmiş ve hasarın depremin büyüklüğü, frekans içeriği, süresi ve maruz kalan yapının özellikleri ile ilgili olduğu bilinmektedir (Uang ve Bertero, 1988; Kramer 1996). Bu açıdan Uang ve Bertero (1988) hasar ile en ilgili parametrenin depremin enerji talebi olduğunu ileri sürmüştür. Cabanas ve diğ. (1997) bazı gerçek depremlerden elde edilen hasar verileri ışığında, hasarın I_a ve CAV ile üstel bir ilişkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Buna karşın Sucuoğlu (1997) bu makeleye karşı yazmış olduğu eleştirisinde PGA ve PGV'nin bu parametrelere göre hasar ile daha yüksek korelasyona sahip olduğunu savunmuştur.

Günümüzde en yaygın kullanılan hasar parametresinin spektral ivme (S_a) olduğu söylenebilir (Kramer, 1996; Giovenale ve diğ., 2004). Bu parametrenin daha önce yaygın olarak kullanılan PGA'dan hasar ile daha yüksek ilişkiye sahip olduğu savunulmuştur (Shome and Cornell, 1999). Fakat S_a 'nın yapı periyodu bilinen sistemler için hesaplanması sebebiyle daha spesifik olduğu unutulmamalıdır. Buna rağmen bazı çalışmalar S_a 'nın depremin hasar vericiliğini yansıtmada uzun periyotlu yapılar (Shome and Cornell, 1999) ve yakın kaynak depremler için (Luco ve Cornell, 2007) yetersiz olabileceğini ortaya koymuştur.

Wald ve diğ. (1999) 8 California depreminden elde edilen veriler ile Geliştirilmiş Mercalli Şiddet ölçeği ve depremlerin PGA ve PGV değerlerinin korelasyonlarını incelemiştir. Büyük şiddet değerleri için PGV'nin daha yüksek korelasyona sahip olduğunu gözlemiştir. Wu ve diğ. 1999 Chi Chi depremi verileri için benzer sonuçlara ulaşmıştır (Wu ve diğ., 2003). Ayrıca PGV'nin PGA'ya göre deprem büyüklüğü ile daha yüksek korelasyona sahip olduğunu iddia etmiştir. Başka bir çalışmada Wu ve diğ. (2004) PGA ve 1.0 saniyede S_a değerinin deprem hasarı ile en yüksek korelasyona sahip olduğunu belirtmiştir. Fakat PGA değerinin depremi oluşturan içerikte büyük ivmeye sahip yüksek frekanslı tek bir dalga sebebiyle değişime açık olduğundan bu parametre yerine PGV'nin kullanılmasını önermişlerdir (Wu ve diğ., 2004).

Liao ve diğ. (2001) en büyük görelî kat ötelenmesinin PGV/PGA oranı, Spektral Hız (S_v) ve enerji ile artış gösterdiğini belirtmiştir. Akkar ve Özen (2005) depremin deformasyon talepleri ile uyumlu bir veri olarak PGV'nin diğer yer hareketi büyüklük parametrelerine göre daha iyi bir parametre olduğunu öne sürmüştür. Yılmaz (2007) VSI ve Housner şiddeti parametrelerinin yapı hasarı ile daha büyük ilişkisi olduğunu iddia etmiştir. Daha sonra ise PGA ve S_a gelmektedir.

Önerilen çalışma literatürde bulunan diğer çalışmalara göre kapsam ve detay açısından daha geniş özelliklere sahiptir. Ayrıca ülkemiz mevcut yapı stoğu dikkate alınarak değerlendirme yapılacak olması önemlidir. Literatürde periyodu bilinen yapılar için daha çok çalışma mevcuttur. Fakat genel yapı stoğunu göz önüne alan çalışmalar daha kısıtlıdır. Hangi parametrenin hangi durumlarda hasar ile daha yüksek korelasyona sahip olduğu belirtilen çalışmalara göre daha detaylı olarak incelenmiştir.

1.3 Yapılan Çalışmanın Önceki Çalışmalardan Farkı

Projenin özgün değeri ile ilgili bilgiler genel hatları ile literatür kısmında belirtilmiştir. Bu noktalar daha yakından incelenecek olursa literatürde yer alan çalışmalar ile yapılan çalışmanın farkları şöyle özetlenebilir:

- Literatürde yer alan çalışmaların büyük kısmı ele alınan parametre sayısı olarak yapılan çalışmadan daha kısıtlı sayıda parametre üzerine incelemeler yapmıştır.
- Yapılan çalışmada önceki çalışmalara göre oldukça fazla sayıda deprem kaydı değerlendirilmiştir. Örneğin Liao ve diğ. (2001) çalışmasında 22 ivme kaydı, Giovenale ve diğ., 2004 çalışmasında 60 ivme kaydı, Akkar ve Özen (2005) çalışmasında 60 ivme kaydı, Riddell (2007) çalışmasında 90

ivme kaydı, Elenas (2000) çalışmasında 20 ivme kaydı, vb. Yapılan çalışmada belirtilen yaklaşık 500 kaydın anılan çalışmalara göre ne kadar fazla olduğu açıktır.

- Literatürde bulunan çalışmalarda ya az sayıda yapı modeli kullanılmış (Yakut ve Yılmaz (2008) 16 betonarme çerçeve), yada örneğin birden sekize kadar R (deprem yükü azaltma katsayısı) ve μ (süneklik) değerlerine sahip tamamen teorik yapılar (Akkar ve Özen, 2005) ele alınmıştır. Oysa 8 gibi yüksek bir süneklik değerine sahip aynı zamanda R değeri 1 olan bir yapı stoğu içinde ne oranda mevcuttur. Bu örnek olarak verilen uç değerlerin yanında diğer değerleri ne oranda temsil edici olduğu tartışmaya açıktır. Bu şekilde yapı stoğunu temsil eden ve etmeyen değerlerin bir arada kullanılması parametrik bir çalışma açısından önemli olabilir. Fakat çalışmanın odağını mevcut stoktan uzaklaştırmak gibi bir olumsuzluğa neden olmaktadır.
- Oysa yapılan proje ülkemiz yapıları dikkate alınarak hazırlanmış çok sayıda binaya ait kapasite eğrileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu açıdan ülkemize uygunluğu daha yüksektir.
- Projede ivme kaydı parametrelerinin hangi durumlarda daha uygun sonuçlar verdiği, belirtilen diğer çalışmalara göre daha geniş kapsamlı incelenmiştir.
- Literatürde çoğu çalışma periyodu bilinen yapılar ile ilgilenmektedir. Bu durumda yapı periyodu için verilen spektral değerlerin korelasyonu zaten önemli ölçüde artmaktadır. Fakat periyodu bilinmeyen yapılar ve yapı grupları için çalışma daha az sayıdadır.

1.4 Yöntem

Proje kapsamında yapı stoğu tahmini hasarı ile çeşitli ivme kaydı parametrelerinin ilişkisinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Yapı stoğu hasar tahmini yapılara ait doğrusal elastik olmayan deplasman talepleri ile temsil edilmiştir. Yapı stoğu olarak çalışma kapsamı içinde mevcut yapıların büyük kısmını kapsaması sebebiyle az ve orta katlı (1-8 kat) betonarme çerçeve yapılar dikkate alınmıştır.

Betonarme yapı stoğu, önerilen projenin yürütücüsü ve araştırmacısının da içinde bulunduğu bir ekip tarafından yapılan 107M569'nolu TUBİTAK projesi kapsamında analiz edilen farklı özelliklerdeki mevcut yapılara ait 1056 kapasite eğrisi kullanılarak temsil edilmiştir (İnel ve diğ., 2011). Bu kapasite eğrileri kullanılarak 3-B binaların tek serbestlik dereceli (TSD) modelleri elde edilmiştir. Her bir TSD model her ivme kaydı için doğrusal elastik olmayan dinamik analize tabi tutularak deplasman istemleri belirlenmiştir. 107M569'nolu TUBİTAK projesi kapsamında doğrusal elastik olmayan deplasman istemleri 264 deprem için hali hazırda hesaplanmış durumdadır. Bu depremlere çalışmanın daha detaylı olması bakımından yaklaşık 200 deprem daha ilave edilmiştir. Böylece 466 ivme kaydından oluşan bir set elde edilmiştir. Seçilen ivme kayıtlarının her biri için 1056 kapasite eğrisine ait yaklaşık 500 bin doğrusal elastik olmayan sismik deplasman talebi değerlendirilmiştir.

Her bir ivme kaydı için Giriş bölümünde belirtilen ivme kaydı parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametreler ile ilgili yapı grubuna ait ortalama doğrusal elastik olmayan deplasman istemlerinin korelasyonu ve saçılımı değerlendirilmiştir. Yüksek korelasyon ve düşük saçılıma sahip parametreler belirlenmiştir. Bu işlem sırasında yapılar farklı kat sayısı için gruplanarak bu durumlarda da değerlendirme yapılarak uygun parametrelerde değişim olup olmadığı incelenmiştir. Bu şekilde daha detaylı bir değerlendirme yapılması amaçlanmaktadır.

Daha sonra bu parametrelerden bir kaçının çeşitli denklemsel ifadeler ile birleştirilmesi ile kullanım kolaylığı ve basitlik de göz önüne alınarak hasar ile uyumu daha yüksek hibrit bir parametre oluşturulmuştur. Bu işlem farklı parametre değerlerine eklenen katsayıların yüksek korelasyon ve düşük saçılım elde edilmesi için optimize edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için Excel ortamında bir kod kullanılmıştır. Seçilen parametreler de optimizasyon yoluyla elde edilmiştir.

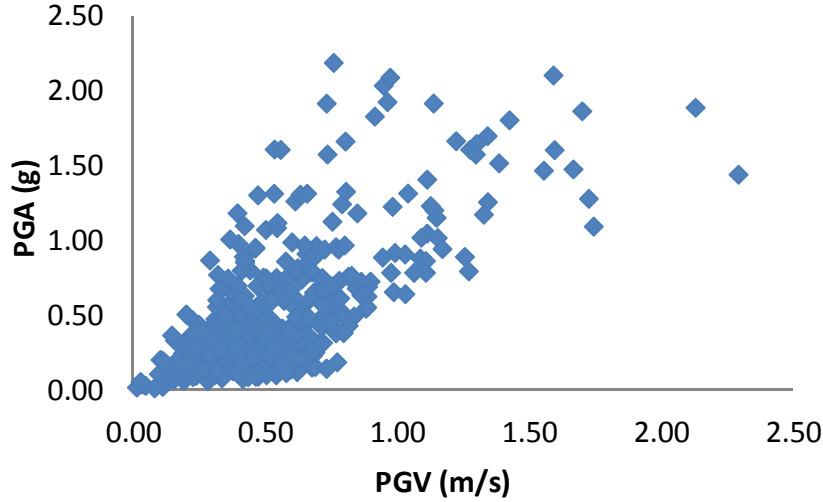
2. DEPREM İVME KAYITLARI

Doğrusal olmayan yerdeğiştirme taleplerinin hesaplanmasında toplamda 466 adet yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Tüm deprem kayıtları PEER (PEER, <http://peer.berkeley.edu>) web sitesinden alınmıştır. Analizde kullanılan depremler ve ivme kayıtlarına ait maksimum yer ivmesi değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1.Kullanılan ivme kayıtları ile ilgili bilgiler

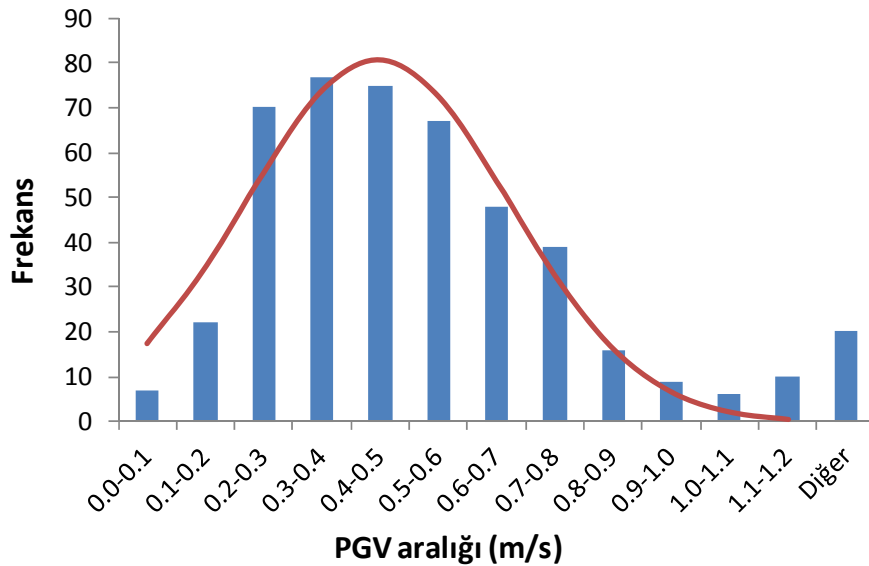
Deprem	Kayıt Sayısı	PGA Aralığı (g)		PGV Aralığı (m/s)	
		Min.	Mak.	Min.	Mak.
Cape Mendocino 1992/04/25	10	0.114	1.612	0.220	1.27
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	108	0.069	1.158	0.130	1.15
Coalinga 1983/05/02	11	0.038	0.984	0.045	0.440
Coyote Lake 1979/08/06	5	0.266	0.435	0.190	0.492
Duzce, Turkey 1999/11/12	9	0.022	1.014	0.080	0.840
Erzincan, Turkey 1992/03/13	1	0.517	-	0.643	-
Friuli, Italy 1976/05/06	2	0.300	0.338	0.220	0.308
Gazli, USSR 1976/05/17	2	0.591	0.741	0.654	0.716
Imperial Valley 1940/05/19	48	0.113	0.758	0.190	0.766
Irpinia, Italy 1980/11/23	17	0.104	0.377	0.236	0.527
Kobe 1995/01/16	13	0.232	0.765	0.190	0.850
Kocaeli, Turkey 1999/08/17	23	0.097	0.390	0.160	0.795
Landers 1992/06/28	10	0.148	0.777	0.180	0.515
Livermore 1980/01/24 19:00	1	0.212	-	0.205	-
Loma Prieta 1989/10/18	52	0.133	0.661	0.209	0.624
Mammoth Lakes 1980/05/27	5	0.027	0.874	0.012	0.339
Morgan Hill 1984/04/24	6	0.047	0.702	0.034	0.516
N. Palm Springs 1986/07/08	8	0.210	0.691	0.295	0.733
Nahanni, Canada 1985/12/23	5	0.953	0.985	0.460	0.641
Northridge 1994/01/17	70	0.116	1.920	0.095	1.140
Parkfield 1966/06/28	8	0.369	0.474	0.215	0.751
San Fernando 1971/02/09	10	0.064	1.237	0.026	1.130
Spitak, Armenia 1988/12/07	1	0.187	-	0.286	-
Superstitt Hills(B) 1987/11/24	18	0.139	0.871	0.206	0.464
Tabas, Iran 1978/09/16	2	0.328	0.401	0.206	0.265
Victoria, Mexico 1980/06/09	2	0.514	0.609	0.199	0.316
Westmorland 1981/04/26	9	0.152	0.363	0.120	0.487
Whittier Narrows 1987/10/01	10	0.205	0.407	0.110	0.381

İvme kayıtlarına ait PGA ve PGV dağılımı Şekil 2.1 ve 2.2'de verilmiştir. İvme kayıtlarının yapı deplasman talebi ilişkisinde PGV değerinin iyi bir belirteç olduğu iddia edilmiştir (Akkar ve Özen, 2005). Bu sebeple ivme kaydı setinin PGV dağılımının incelenmesi önemli görülebilir.



Şekil 2.1 İvme kayıtları PGV-PGA değerleri

Şekil 2.2'de verilen grafik incelendiğinde dağılımın ortalama değeri 0.445 m/s, standart sapma değeri 0.226 m/s olan normal dağılım şekline benzerlik gösterdiği düşünülebilir. 0.0-0.2 m/s aralıklarında dağılıma göre daha düşük deprem kaydı bulunması bu aralığın yapılar üzerinde daha düşük riske sahip bulunması sebebiyle makul görülebilir. Bu aralıktaki düşük değerler yanında 0.2-0.3 m/s aralığındaki dağılıma göre daha fazla deprem bulunmasının, düşük hız ancak risk bölgesinde bulunan deprem sayısının artırılması bakımından uygun olduğu düşünülebilir.



Şekil 2.2 İvme kayıtları PGV dağılımı ve ort. 0.445 m/s, Std. değeri 0.226 m/s olan normal dağılım eğrisi

Depremlerin alındıkları istasyona ait zemin bilgileri de önemli görülebilir. İvme kayıtlarının alındığı PEER sitesi zeminleri üst 30 m'lik kısmında kayma dalgası hızına göre gruplandırmaktadır. Kayma dalgası hızı 750 m/s'den büyük zeminler A, 360-750 m/s arası zeminler B, 180-360 m/s arası zeminler C ve 180 m/s'den küçük zeminler D grubu olarak sınıflanmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre kullanılan ivme kayıtları Çizelge 2.2'de verilmiştir. Bazı gruplarda değerlendirmeye alınan deprem sayısının diğerlerinden daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi literatürde verilen özellikle ivme kaydı sayısının daha az olmasıdır. Örneğin A ve D grubu gibi daha uç özellikte zeminlerde, veya yüksek PGA değerine (0.5g-0.7g) sahip ivme kaydı literatürde daha düşük sayıdadır. Ancak zeminlerin de çoğunlukla B ve C grubu gibi ara değerlerde daha çok olması çalışma sonuçlarının genel geçerliliği açısından olumlu sayılabilir.

Çizelge 2.2 İvme kayıtları zemin grubu dağılımı

Zemin Grubu	Kayıt Sayısı
A	74
B	154
C	182
D	56

3. BİNA MODEL SETİ BİLGİLERİ

Daha önce de belirtildiği gibi betonarme yapı stoğu proje yürütücüsü ve araştırmacısının da içinde bulunduğu bir ekip tarafından yapılan 107M569'nolu TUBİTAK projesi kapsamında analiz edilen farklı özelliklerdeki mevcut yapılara ait 1056 kapasite eğrisi kullanılarak temsil edilmiştir (İnel ve diğ., 2011).

Çalışma kapsamında kullanılan bina özellikleri yaklaşık 500 mevcut bina üzerinde yapılan envanter çalışması ile (İnel vd., 2009) oluşturulmuştur. Bu yapıların özellikleri sayısal değerlere dönüştürülmüştür (kolon alanı/bina alanı, bölme duvar miktarı/bina alanı, eleman boyut ve donatı miktarı, vb.). Bu şekilde yaklaşık 34 adet parametrenin ortalama değerlerine uygun 1-2 katlı yapıları temsilen 2, 3-5 katlı yapılar için 4, 6 ve üzeri katlı yapılar için 7 katlı bina modelleri oluşturulmuştur.

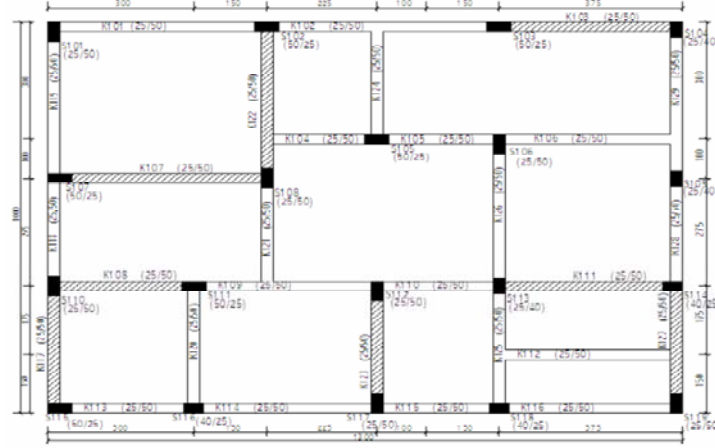
Her bir yapı grubu için iki farklı deprem yönetmeliği (1975 ve 1998), iki farklı beton basınç dayanımı ve iki farklı yanal donatı durumu dikkate alınmıştır. Beton sınıfı olarak 1998 öncesi yapılarda BS16 (orta kalite) ve BS10 (düşük kalite), 1998 ve sonrası yapılarda BS25 (iyi kalite) ve BS16 (orta kalite) öngörülmüştür. Her bir model için sargı bölgelerinde yönetmeliğe uygun donatı düzeni ve 200 mm aralıklı aynı zamanda çirozsuz olmak üzere iki farklı yanal donatı durumu göz önüne alınmıştır. Ayrıca bina envanter çalışması ile binalarda bulunan düzensizlik durumları da incelenmiş ve buna uygun şekilde her bir bina grubu; yumuşak kat (duvar dağılımı, ilk kat yükseklik farkı ve ikisi birlikte), 2 farklı oranda kapalı çıkma (çıkma bölgesi kolon bağlantı kirişlerinin mevcut olduğu ve olmadığı durum), yumuşak kat ve kapalı çıkmanın birlikte olduğu ve kısa kolon gibi düzensizliklerinin bulunduğu durumlar için modellenmiştir. Bu şekilde 528 3-B modele ait 1056 kapasite eğrisi doğrusal olmayan statik analiz yoluyla elde edilmiştir. Çalışmanın tüm safhalarında bina modellerinin hazırlanması ve kapasitelerin belirlenmesinde 2007 Deprem Yönetmeliği dikkate alınmıştır.

3.1 Model Özellikleri ve Modelleme

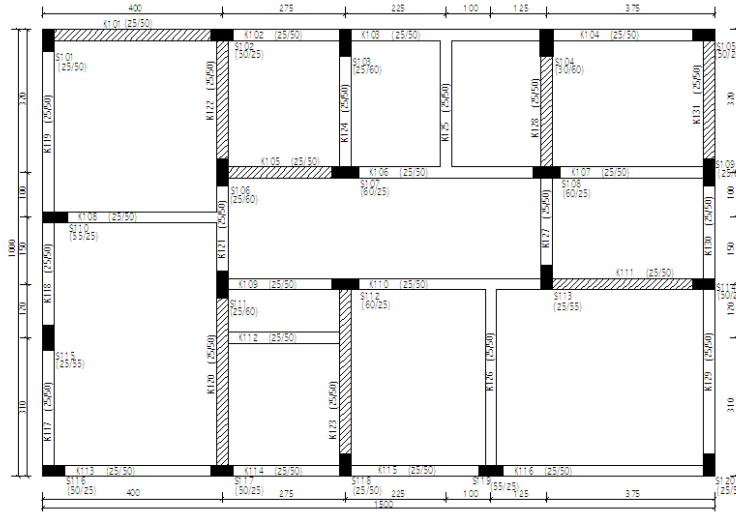
Çalışma kapsamında kullanılan bina modellerinin hazırlanmasında mevcut binalarla ilgili envanter çalışması (İnel vd., 2009) verileri kullanılmıştır. Çalışmada betonarme yapıların dayanım ve şekildeğiştirme davranışları üzerinde etkisi olduğu düşünülen bazı yapısal özelliklerin yapı stoğu içindeki değerleri incelenmiştir. Binalar yapım yılları ve kat sayısına göre alt gruplara ayrılarak toplam 475 bina ve bu binalardan seçilen 40351 kolon ve 3123 kiriş eleman dikkate alınmıştır.

3 farklı mimariye ve incelenen parametrelerin farklı değerlerine sahip toplam 528 adet binanın 3-B modellemesi yapılmıştır. Modellere ait kalıp planı görünümleri Şekil 3.1'de verilmiştir. Bina modellerinin sismik davranış ve performansının belirlenmesi amacıyla doğrusal olmayan modelleri 2007

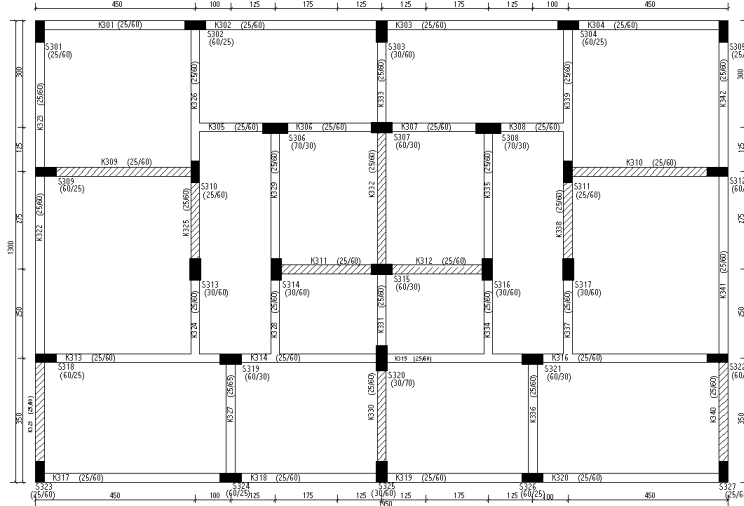
Deprem Yönetmeliği göz önüne alınarak hazırlanmıştır (DBYBHY-2007, 2007). Doğrusal elastik olmayan davranış eleman uçlarına yerleştirilen plastik mafsallar yoluyla belirlenmiştir. Modelleme ve analizde statik hesap programı SAP2000 kullanılmıştır (SAP2000, CSI).



2 katlı bina



4 katlı bina



7 katlı bina

Şekil 3.1 Modellenen binalara ait kat kalıp planları (taşıyıcı dolgu duvarlar taralı olarak gösterilmiştir)

Bir plastik mafsalın tanımlanabilmesi için B (akma), C (maksimum dayanım), D (dayanım kaybı), E (göçme) (ve performans kriterleri için MN, GV, GÇ) noktalarının koordinatları belirlenmelidir. Eğilme mafsallarında bu noktaların tanımlanabilmesi için moment-eğrilik ilişkisinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla her bir elemanın kritik kesitlerinde yanal donatı miktarı dikkate alınarak öncelikle sargılı beton birim deformasyon-dayanım ilişkisi belirlenmiştir. Çelik birim deformasyon-dayanım ilişkisi DBYBHY-2007’de önerilen şekilde dikkate alınmıştır. Malzeme deformasyon-dayanım ilişkileri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik ilişkisi ve belirlenen süneklik kriterleri kullanılarak eğilme mafsalının deformasyon kapasiteleri belirlenmiştir. Mafsalların tanımlanması için her elemanın kritik kesitlerinin moment eğrilik ilişkileri Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı (SEMAp, 2008) kullanılarak hesaplanmıştır.

Beton modelleri için Mander sargılı beton modeli (Mander vd., 1988) kullanılmıştır. Bu moment-eğrilik ilişkileri, nihai deformasyon kriterleri ve plastik mafsal boyu ($L_p = h/2$, DBYBHY-2007, 2007) kullanılarak her bir elemanın plastik dönme kapasitesi ve mafsal özellikleri belirlenmiştir. Eğilme mafsalı için hasar sınır değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Moment mafsalına ek olarak, kolon ve kirişlerde kesme mafsalı da tanımlanmıştır. Moment mafsallarından farklı olarak, kesme mafsallarında herhangi bir süneklik hesaplanmamış, elemanların kesme kapasitelerine ulaşır ulaşmaz göçme konumuna ulaştığı varsayılmıştır. Kesme kapasiteleri TS500’e (2000) göre hesaplanmıştır.

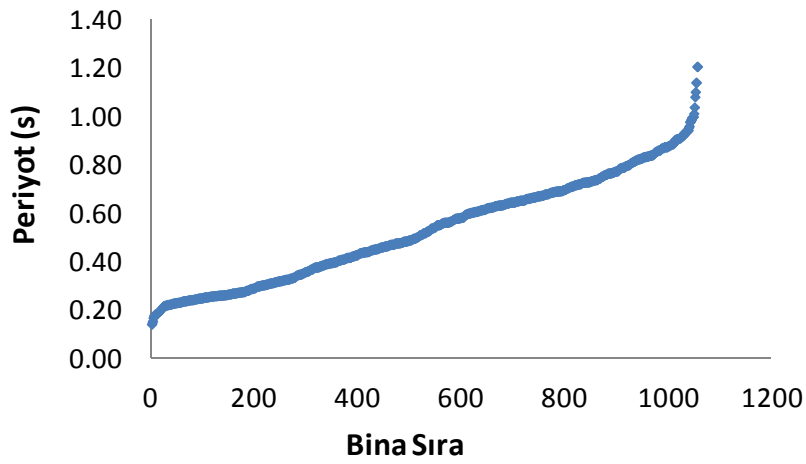
Duvarların etkisi eşdeğer çapraz basınç çubukları kullanılarak yansıtılmıştır. Basınç çubuklarının özellikleri FEMA-356 ve 2007 Deprem Yönetmeliği (FEMA-356, 2000; DBYBHY-2007, 2007) dikkate alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.1 Eğilme mafsalı hasar sınır kriterleri

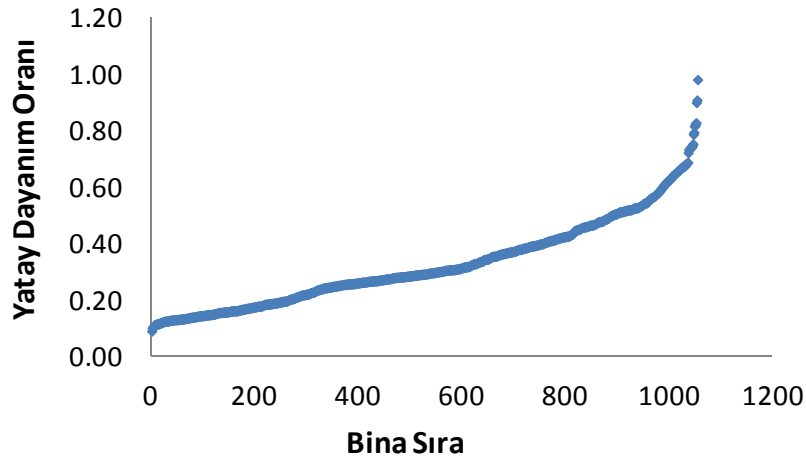
Nokta	Beton Birim Deformasyonu ϵ_c	Çelik Birim Deformasyonu ϵ_s
B	Akma dayanımı ve eğilme rijitliği belirler	
MN	$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$	$(\epsilon_s)_{MN} = 0.01$
GV	$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.010 \cdot (\rho_m / \rho_s) \leq 0.0135$	$(\epsilon_s)_{GV} = 0.04$
GC	$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.0040 + 0.014 \cdot (\rho_m / \rho_s) \leq 0.0180$	$(\epsilon_{cu})_{GC} = 0.06$
C-D	$(\epsilon_{cg})_C = 0.03$	$(\epsilon_s)_C = 0.5 \cdot \epsilon_{su}$
E	$(\epsilon_{cg})_E = 0.04$	$(\epsilon_s)_E = \epsilon_{su}$

Burada verilen; ϵ_c : beton birim deformasyon değeri, ϵ_{cu} : en dış beton lifi basınç birim deformasyonu, ϵ_{cg} : en dış çekirdek lifi basınç birim deformasyonu, ρ_s : kesitte mevcut bulunana enine donatı hacimsel oranı, ρ_{sm} : kesitte DBYYHY-2007'ye göre bulunması gerekli enine donatı hacimsel oranı, ϵ_s : çelik birim deformasyon değeri, ϵ_{su} : nihai çelik birim deformasyon değerini ifade etmektedir.

Açıklanan kabuller ile elde edilen modellere ait periyot ve dayanım bilgileri Şekil 3.2 ve 3.3'de verilmiştir. Şekillerde verilen periyot değeri çatlama kesit rijtiliği ile elde edilen hakim mod periyodu, yatay dayanım oranı ise binanın akma dayanımının sismik ağırlığa bölünmesi ile elde edilen oranı ifade etmektedir.



Şekil 3.2 Bina modelleri periyot değerleri



Şekil 3.3 Bina modelleri yatay dayanım oranları değerleri

Şekil 3.2 ve 3.3 incelendiğinde bina modellerinin dikkate alınan aralık içinde düzgün dağılan periyot ve dayanım değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Herhangi bir bölgede yığılma söz konusu değildir.

4. DEPLASMAN İSTEMİ VE İVME KAYDI PARAMETRELERİ İLİŞKİSİ

3-B olarak modellenen binalar üzerinde bulunan düşey yük etkileri de göz önüne alınarak doğrusal elastik olmayan statik analize tabi tutulmuş ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. 3-B modellere ait kapasite eğrileri iki doğrulu hale getirilerek eşdeğer “Tek Serbestlik Dereceli” (TSD) modele indirgenmiştir. TSD modellerin farklı maksimum yer ivmesi değerlerine sahip 264 gerçek deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi BiSpec yazılımı yardımıyla yapılarak ile doğrusal olmayan yerdeğiştirme talepleri hesaplanmıştır (Hachem, BiSpec). Bu deplasman istemi değerlerinin ortalaması alınarak yapı stoğu genel deplasman istemi belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı katlara sahip deplasman istemlerinin de birleştirilebilmesi amacıyla çatı deplasman istemleri bina yüksekliği ile normalize edilerek görece deplasman talepleri belirlenmiştir. Bu değerlerin ortalaması ile çeşitli ivme kaydı parametrelerinin korelasyonu ve saçılımı incelenmiştir.

4.1 İvme kaydı Parametreleri

Giriş kısmında verilen parametreler ile ilgili kısa bilgi bu kısımda verilmiştir. Daha detaylı bilgi için Kramer (1996) vb. gibi herhangi bir deprem mühendisliği kitabı incelenebilir.

Maksimum Yer Hareketi Değerleri:

Maksimum yer ivmesi (PGA), maksimum yer hızı (PGV) ve maksimum yer deplasmanı (PGD) deprem kaydı boyunca söz konusu parametrelerin maksimum değerleridir.

İvme, Hız ve Deplasman Ortalama Karekök (RMS) değeri:

Herhangi bir parametrenin ortalama karekök değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$f_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{t_r} \int_0^t [f(t)]^2 dt} \quad (4.1)$$

t zamanı, t_r ise kayıt süresini ifade etmektedir.

Maksimum Hız/İvme Oranı (V_{max}/A_{max}):

Bu oran maksimum yer hızının maksimum yer ivmesine bölünmesiyle elde edilir. Basit harmonik bir dalga için $T/2\pi$ değerine sahiptir (Kramer, 1996). Hareketin frekans içeriği ile ilgili bir belirteç olduğu kabul edilir.

Arias Şiddeti (I_a):

Arias şiddeti parametresi aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt \quad (4.2)$$

Karakteristik Şiddet (I_c):

Karakteristik şiddet parametresi aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$I_c = (a_{rms})^{3/2} \cdot \sqrt{t_r} \quad (4.3)$$

Kümülatif Mutlak Hız (CAV):

Kümülatif Mutlak Hız parametresi aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$CAV = \int_0^t |a(t)| dt \quad (4.4)$$

Efektif Tasarım İvmesi (EDA):

Bu parametre ivme kaydının 9 Hz kullanılarak alçak geçiş filtrelemesinden sonra kayıta bulunana en büyük ivme değeri olarak tanımlanır (Benjamin, 1988).

Spesifik Enerji Yoğunluğu (SED):

Spesifik enerji yoğunluğu parametresi aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$SED = \int_0^t [v(t)]^2 dt \quad (4.5)$$

A95 Parametresi:

Bu parametre Aria şiddetinin %95'inin altında kaldığı ivme değeri olarak tanımlanır (Sarma and Yang, 1987).

İvme (ASI) ve Hız (VSI) Spektrum Şiddeti:

İvme ve hız spektrum şiddeti parametreleri aşağıdaki gibi belirlenir (Von Thun et al., 1988):

$$ASI = \int_{0.1}^{0.5} S_a(t) dt \quad (\xi = 0.05); \quad VSI = \int_{0.1}^{2.5} S_v(t) dt \quad (\xi = 0.05) \quad (4.6a, 4.6b)$$

Denklem 3.6a ve 6b'de, ξ sönüm oranını ifade etmektedir.

Sürekli Maksimum İvme (SMA) ve Hız (SMV):

Bu değerler ivme ve hız kaydının üçüncü en yüksek değerleri olarak tanımlanmıştır (Nuttli, 1979).

3.1.12. Baskın Periyot (T_p):

%5 elastik sönümlü ivme spektrumunda en yüksek genliğe sahip periyot değeridir.

3.1.13. Ortalama Periyot (T_m):

Ortalama periyot aşağıdaki gibi tanımlanır (Rathje et al., 1998):

$$T_m = \frac{\sum C_i^2 / f_i}{\sum C_i^2} \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'de, C_i fourier genlikleri, f_i 0.25 and 20 Hz arasında ayırık fourier çevrim frekanslarıdır.

4.2 İvme kaydı Parametreleri ve Deplasman İstemi Korelasyonu

Ortalama deplasman istemi ve ivme kaydı parametreleri korelasyonu bu kısımda verilmiştir. 2, 4 ve 7 katlı modellerin her biri için ayrı ayrı ve hepsi için ortak değerlendirmelere ait Çizelge ve grafikler Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1'de incelenen parametreler için deplasman istemleri ve ilgili parametrenin korelasyon ve saçılım değerleri farklı kat sayısına sahip ve tüm modeller için ortak değerlendirildiği durum için verilmiştir. Korelasyon değeri verilerin paralelliği ile ilgilenirken saçılım değeri aradaki farkın bir ölçüsüdür. Aralarında 2 yada 3 kat fark olan serilerin korelasyon değeri aynı olabilirken saçılım değeri oran ile değişmektedir. Bu değişkenliğin giderilmesi için ilgili parametre değerlerinden bir fonksiyon yardımı ile ortalama deplasman istemi değerinin hesaplanması yoluna gidilmiştir. Bu şekilde girdi değeri ilgili parametre değeri, çıktı değeri ise ortalama deplasman istemi olan fonksiyonun

katsayıları en küçük kareler yöntemi kullanılarak optimizasyon yoluyla hesaplanmıştır. Bu şekilde bir nevi verilen girdi değerinin, deplasman istemini belirlemede “başarısı” belirlenmeye çalışılmaktadır.

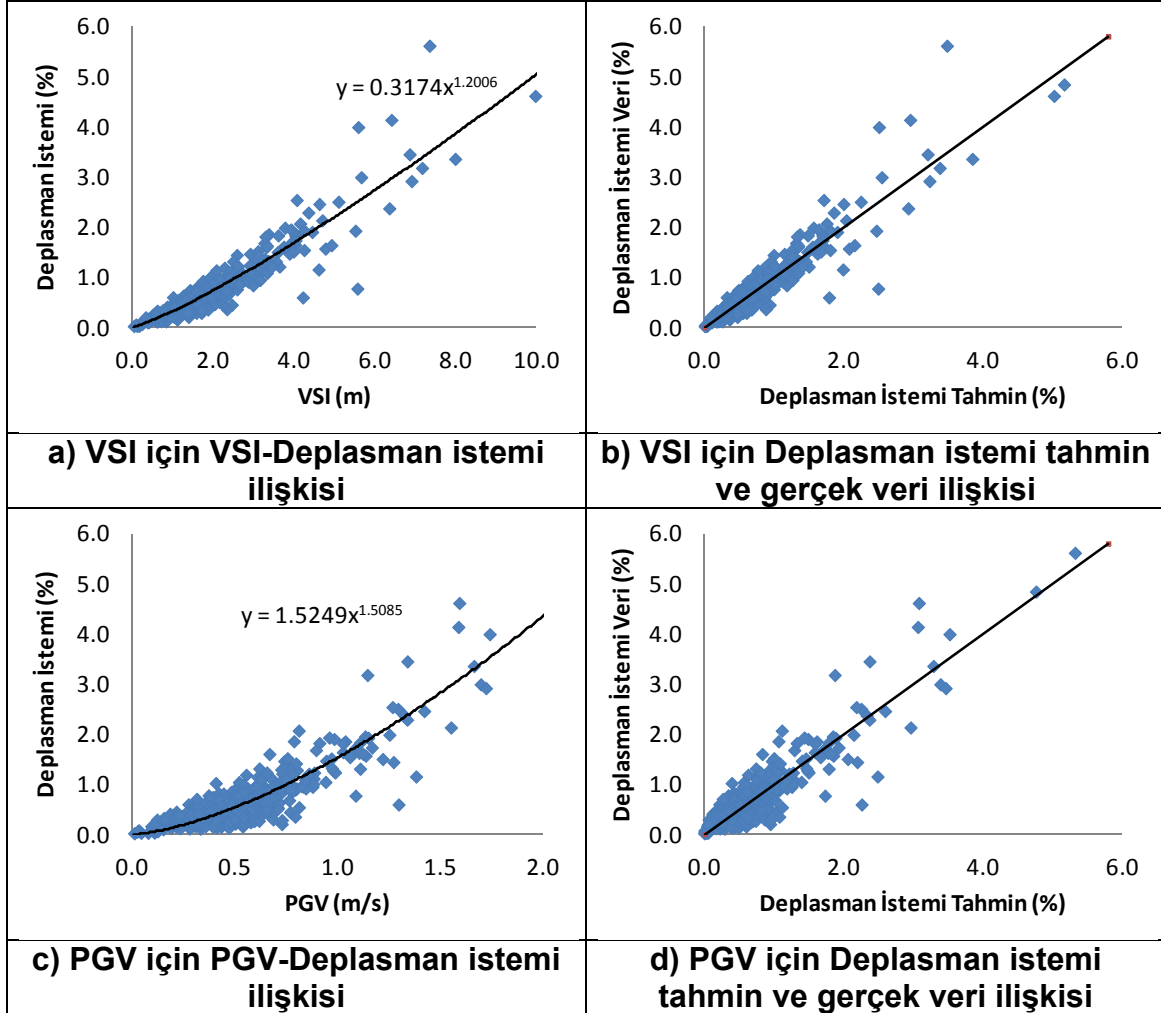
Fonksiyon tipi olarak en iyi korelasyon değerini veren fonksiyonlar seçilmiştir. Genel olarak en iyi korelasyon üs ve doğrusal tip fonksiyonlar ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.1’de verilen saçılım değerleri gerçek ortalama deplasman istemi ile, ilgili parametre yoluyla hesaplanan deplasman isteminin farkının karelerinin toplamının veri sayısına bölümünün karekökü değeridir (standart sapma ile aynı formülasyon). Çizelge 4.1’de her grup için en iyi 4 korelasyon değeri koyu olarak belirtilmiştir. Tabidir ki, korelasyon değeri yüksek olan parametreler için saçılım değerleri de düşen bir trend izlemektedir.

Çizelge 4.1 Farklı kat sayıları ve tüm modeller için ivme parametreleri korelasyon ve saçılım değerleri

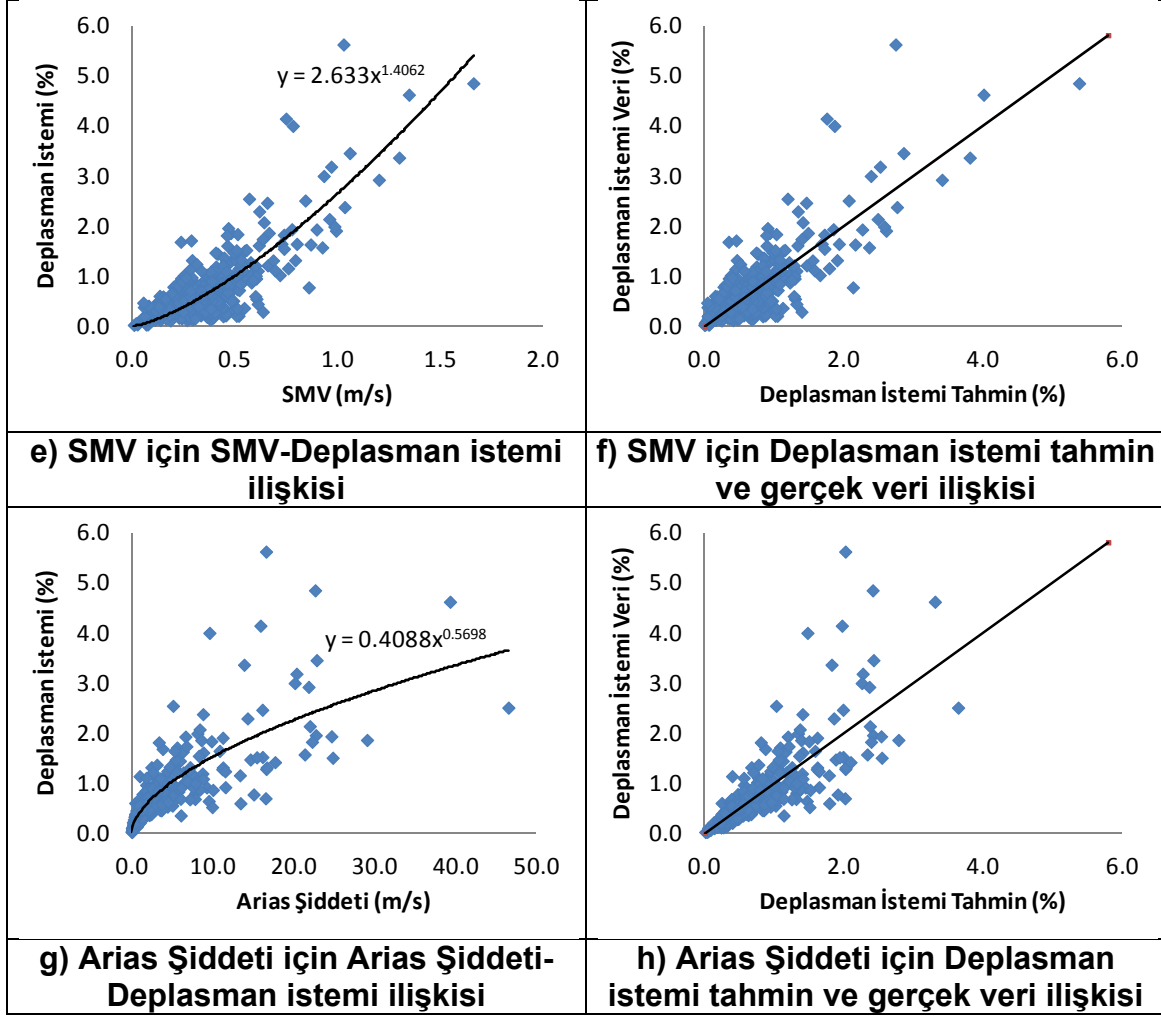
Kat Sayısı	K2			K4			K7			Tüm Katlar		
	Tip	Kor.	Saçılım	Tip	Kor.	Saçılım	Tip	Kor.	Saçılım	Tip	Kor.	Saçılım
PGA	Üs	0.77	0.48	Üs	0.71	0.52	Üs	0.65	0.42	Üs	0.74	0.44
PGV	Üs	0.85	0.41	Üs	0.90	0.32	Üs	0.89	0.26	Üs	0.91	0.28
PGD	Doğru	0.24	0.73	Doğru	0.36	0.69	Doğru	0.44	0.49	Doğru	0.35	0.62
Vmax/Amax	Doğru	0.33	0.72	Doğru	0.26	0.72	Doğru	0.20	0.54	Doğru	0.27	0.64
İvme RMS	Üs	0.74	0.51	Üs	0.71	0.53	Üs	0.66	0.41	Üs	0.73	0.45
Hız RMS	Üs	0.66	0.60	Üs	0.75	0.51	Üs	0.78	0.36	Üs	0.75	0.46
Depl. RMS	Üs	0.13	0.96	Üs	0.25	0.72	Üs	0.33	0.52	Üs	0.25	0.64
Arias Şiddeti	Üs	0.81	0.45	Üs	0.78	0.46	Üs	0.73	0.38	Üs	0.80	0.39
Karak. Şiddet	Üs	0.80	0.46	Üs	0.77	0.48	Üs	0.72	0.38	Üs	0.79	0.40
SED	Doğru	0.56	0.63	Doğru	0.66	0.56	Doğru	0.68	0.41	Doğru	0.65	0.50
CAV	Üs	0.64	0.58	Doğru	0.65	0.57	Üs	0.64	0.43	Doğru	0.66	0.49
ASI	Üs	0.75	0.50	Üs	0.68	0.54	Üs	0.62	0.43	Doğru	0.71	0.46
VSI	Üs	0.88	0.36	Üs	0.95	0.24	Doğru	0.90	0.24	Üs	0.94	0.23
SMA	Üs	0.72	0.52	Üs	0.69	0.54	Üs	0.64	0.42	Üs	0.71	0.46
SMV	Üs	0.74	0.52	Üs	0.82	0.43	Üs	0.81	0.33	Üs	0.81	0.39
EDA	Üs	0.82	0.43	Doğru	0.77	0.48	Doğru	0.70	0.39	Üs	0.79	0.40
A95	Üs	0.77	0.48	Üs	0.71	0.52	Üs	0.65	0.42	Üs	0.74	0.44
Baskın Per.	Üs	-0.07	0.99	Doğru	-0.14	0.92	Doğru	-0.15	0.68	Doğru	-0.11	0.81
Ortalama Per.	Doğru	0.20	0.74	Üs	-0.16	1.07	Üs	-0.12	0.85	Üs	-0.16	0.94

Tüm modeller için en iyi korelasyon ve en düşük saçılma sahip VSI, PGV, SMV ve Arias Şiddeti değerleri için veriler ve ortalama deplasman istemi ilişkisini gösteren grafikler Şekil 4.1-4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1 En yüksek korelasyona sahip ilk iki parametre için parametre değeri ve deplasman istemi ilişkileri

Şekillerde önce ortalama deplasman istemleri ve ilgili parametre ilişkisi, daha sonra ise gerçek veri ortalama deplasman istemi ile kurulan denklem yoluyla elde edilen ortalama deplasman istemi tahmini ilişkileri gösterilmektedir. İkinci grafiğe verilerin saçılımının rahat görülmesi için $x=y$ (tahmin=veri) doğrusu da eklenmiştir.



Şekil 4.2 En yüksek korelasyona sahip diğer iki parametre için parametre değeri ve deplasman istemi ilişkileri

5. HİBRİT PARAMETRE ÇALIŞMASI

Çalışma kapsamındaki parametreler ile elde edilen korelasyonun arttırılması ve saçılımın azaltılması için yalnız bir parametre yerine birden fazla parametrenin birlikte kullanılması durumu da incelenmiştir. Bu amaçla parametrelerin birleştirilmesi için çeşitli formülasyonlar üzerinde durulmuştur. Bu formülasyonlar Denklem 5.1 – 5.4'te verilmiştir.

$x_1 \cdot Par_1^{x_2} + x_3 \cdot Par_2^{x_4} + x_5 \cdot Par_3^{x_6} + x_7 \cdot (Par_1 \cdot Par_2)^{x_8} + x_9 \cdot (Par_2 \cdot Par_3)^{x_{10}} + x_{11} \cdot (Par_1 \cdot Par_3)^{x_{12}} + x_{13}$	(5.1)
$x_1 \cdot Par_1^{x_2} + x_3 \cdot Par_2^{x_4} + x_5 \cdot (Par_1 \cdot Par_2)^{x_6} + x_7 \cdot Mutlak(Par_3 - x_8)^{x_9} + x_{10}$	(5.2)
$x_1 \cdot Par_1^{x_2} + x_3 \cdot Par_2^{x_4} + x_5 \cdot (Par_1 \cdot Par_2)^{x_6} + x_7 \cdot Par_1^{x_8} \cdot Mutlak(Par_3 - x_9)^{x_{10}} + x_{11}$	(5.3)
$x_1 \cdot Par_1^{x_2} + x_3 \cdot Par_2^{x_4} + x_5 \cdot (Par_1 \cdot Par_2)^{x_6} + x_7 \text{ if } Par_3 < x_8$ $x_9 \cdot Par_1^{x_{10}} + x_{11} \cdot Par_2^{x_{12}} + x_{13} \cdot (Par_1 \cdot Par_2)^{14} + x_{15} \text{ if } Par_3 > x_8$	(5.4)
$x_1 \cdot Par_1^{x_2} + x_3 \cdot Par_2^{x_4} + x_5 \cdot x_6^{Par_1} + x_7 \cdot x_8^{Par_2} + x_9$	(5.5)

Parametrelerin tek tek deplasman istemi ile ilişkileri incelendiğinde genel olarak doğrusal ve üs fonksiyon tipleri ile maksimum korelasyon elde edildiğinden hibrit parametre içinde aynı fonksiyon tiplerinden oluşan denklemler kullanılmıştır. Denklemlerde verilen x_i optimizasyon yoluyla bulunan sabit katsayıları, Par_i değeri ise yine optimizasyon yoluyla seçilen parametreyi ifade etmektedir. En iyi sonucun elde edilebilmesi için seçilecek parametreler de optimizasyon yoluyla belirlenmektedir.

Denklem 1, 3 adet parametre, 13 adet sabit katsayı içermektedir. Bu denklem ile 3 adede kadar farklı parametre kullanımına olanak sağlanmaktadır. Daha az parametrenin yeterli olması durumunda parametre önündeki katsayı sıfıra yakınsayarak denklemin daha basit bir hale gelmesine imkân sağlanmış olmaktadır. 3 adetten fazla parametre kullanımı pratiklikten uzaklaşılması amacıyla uygun görülmemiştir.

Denklem 5.2 fiziksel olarak rezonans durumunun dikkate alınması için oluşturulmuştur. Örneğin belirli bir baskın periyot değeri etrafındaki

depremlerin daha yıkıcı olması durumunun simule edilmesine imkan verilmesi için Par_3 'ün belirli değerleri etrafında fonksiyon değerinin artabilmesi sağlanmıştır.

Denklem 5.3, 5.2'nin daha kompleks bir haline imkan vermektedir. Denklem 5.4 ile belirli değer üstünde ve altında ilişkinin değişmesine imkan verilerek daha esnek yapıda bir denklem kullanılmıştır. Denklem 5.5 ile parametrelerin sabit sayıların üstü olduğu durumda dikkate alınmıştır.

Bu denklem tipleri genetik algoritmalar yoluyla hataların karelerinin minimize edilmesi için optimize edilmiştir. Optimizasyon için bir Excel makrosu kullanılmıştır (Turkkan, 1999). Bu makro istenilen şekilde modifiye edilerek çalışma amacına uygun hale getirilmiştir. Bu denklemlerin optimizasyonu fazla sayıda değişken içerdiğinden ve genetik algoritma gibi çok sayıda deneme içeren bir yöntem kullanıldığından oldukça zaman almaktadır. Bu verilen denklemler için algoritma hazırlanması hariç yalnız analiz için biri Workstation (Hp z600 serisi, 2x Xeon 5450 işlemci, 12 gb 1600 Mhz ddr3 ram), ikisi masaüstü (Intel i7 950 işlemci, 8 Gb 1600 Mhz ddr3 ram) olmak üzere 3 farklı bilgisayarda birden 3 haftaya yakın bir süre harcanmıştır. Bu sebeple optimizasyon işlemi sadece tüm modellerin kullanıldığı veri seti için yapılmıştır. Her denklem için elde edilen korelasyon ve saçılım değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Birden fazla parametre kullanılarak elde edilen korelasyon ve saçılım değerleri

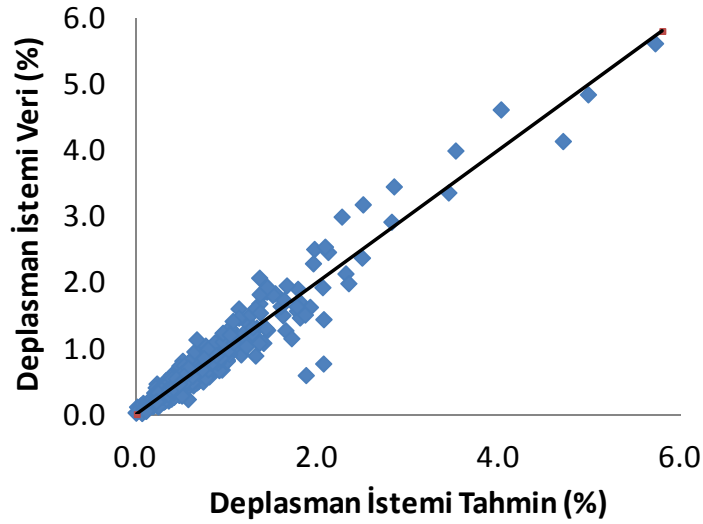
Denklem	Korelasyon	Saçılım
(5.1)	0.9558	0.1942
(5.2)	0.9483	0.2097
(5.3)	0.9632	0.1774
(5.4)	0.9500	0.2062
(5.5)	0.9428	0.2201

Çizelge 4.1 ve 5.1 incelendiğinde daha fazla parametre kullanılması ile korelasyon değerlerinde önemli artış ve daha da büyük oranda saçılım değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Korelasyon değeri için yalnız VSI kullanılarak 0.94 elde edilebilmiş olsa da, değer bire yaklaşmış olduğundan küçük artışlar dahi önemli görülebilir. Bu değerler için küçük korelasyon artışlarına büyük saçılım düşüşlerinin eşlik etmesi bu durumun da bir göstergesidir. En iyi değerlere sahip Denklem 5.3 için elde edilen değerler aşağıda verilmiştir:

$$0.5410(EDA)^{0.63092} - 0.6316 \left(\frac{V_{max}}{A_{max}} \right)^{1.44463} + 110.74 * \left(EDA * \frac{V_{max}}{A_{max}} \right)^{2.27348} + 1.4296(EDA)^{1.26588} * Mutlak(Tm - 0.2830)^{0.65491} + 0.018676 \quad (5.6)$$

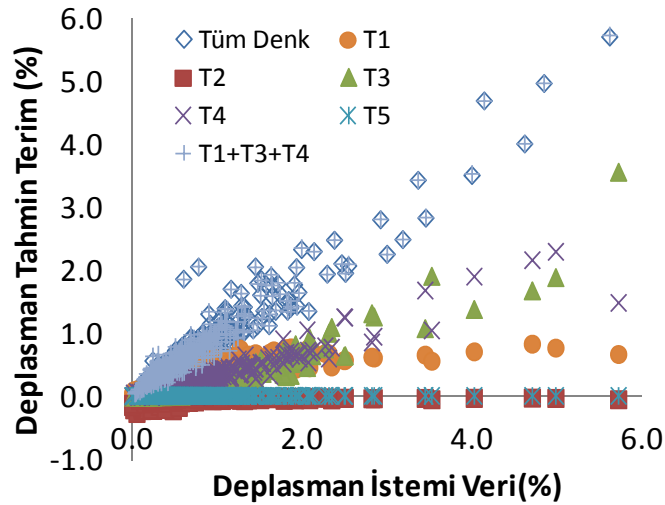
Analiz sonucu elde edilen ve Denklem 5.6 ile tahmin edilen deplasman istemlerinin ilişkisi Şekil 5.1'de verilmiştir. 4 Bölümde verilen şekiller ve Şekil 5.1 karşılaştırıldığında iyileşme açıkça görülmektedir.

Denklemler 5.6'da verilen terimlerin (+ ve - işaretleri arasında kalan parçalar) toplam değer üzerindeki etkisinin görülmesi amacıyla tüm değerlerin grafiği elde edilerek Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekil 5.2 incelendiğinde görüleceği gibi toplam değer üzerinde 2 ve 5 nolu terimlerin etkisi oldukça düşüktür. Bu değerlerin çıkarılması ile elde edilecek denklem $T1+T3+T4$ ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Analiz sonucu elde edilen ve Denklem 5.6 ile tahmin edilen deplasman istemlerinin ilişkisi

Tüm terimlerin kullanılması ile elde edilen elmas şekilli değerlerin hemen tamamının içinde $T1+T3+T4$ kullanılarak elde edilen ve + ile gösterilen değerler bulunmaktadır. Yalnız $T1+T3+T4$ terimlerinin kullanılması durumunda elde edilen korelasyon değeri 0.9610 ve hata değeri 0.1840 olmaktadır. Bu durumda korelasyonda elde edilen düşüş binde üçten, hata da meydana gelen artış ise %4'ten daha azdır.



Şekil 5.2 Denklem 5.6'da verilen terimlerin toplam değer üzerindeki etkisi

Bu sebeple Denklem 5.6'nın basitleştirilmiş hali olan Denklem 5.7'nin kullanılması da mümkün görülebilir.

$$0.5410(EDA)^{0.63092} + 110.74 * \left(EDA * \frac{V_{max}}{A_{max}}\right)^{2.27348} + 1.4296(EDA)^{1.26588} * \text{Mutlak}(Tm - 0.2830)^{0.65491} \quad (5.7)$$

6. ÖZET VE SONUÇLAR

Çalışma kapsamında yer hareketinin yapılar üzerindeki yıkıcılık düzeyinin hangi parametre(ler) ile belirlenebileceği incelenmiştir. Ülkemizde ve dünyada yaygın olması bakımından orta katlı betonarme yapılar üzerinde durulmuştur. İstenen özellikteki yapıların doğrusal olmayan artımsal itme yükü yöntemi ile kapasite eğrileri elde edilmiştir. Bu kapasite eğrileri kullanılarak bina modelleri her iki asal yön için eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemlere indirgenmiştir. Bu sistemler 466 ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analize tabi tutularak her bir deprem için deplasman istemleri belirlenmiştir. Bu deplasman istemlerinin çatı yüksekliğine bölünmesi ile görelî ötelenme değerleri bulunmuştur. İlgili yapı grubu için görelî ötelenme değerlerinin ortalamasının bu yapı grubu üzerinde dikkate alınan depremin yıkıcılık düzeyi ile paralel olduğu varsayılmıştır. Görelî ötelenme değerlerinin deprem ivme kayıtlarının hangi parametresi ile daha yüksek korelasyona sahip olduğu araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen parametreler: en büyük yer hızı (PGV), en büyük yer deplasmanı (PGD), efektif tasarım ivmesi (EDA), A95 parametresi, baskın periyot (T_p), Arias şiddeti (I_a), RMS ivmesi, RMS hızı, RMS deplasmanı, V_{max}/A_{max} oranı, karakteristik şiddet (I_c), Spesifik enerji yoğunluğu (SED), kümülatif mutlak hız (CAV), ivme (ASI) ve hız (VSI) spektrum şiddeti, devamlı maksimum hız (SMV) ve ivme (SMA), baskın periyot (T_p), ortalama periyot (T_m).

Çalışma kapsamında 528 betonarme binaya ait 1056 kapasite eğrisi ve 466 deprem için yaklaşık yarım milyon doğrusal elastik olmayan sismik deplasman talebi değerlendirilmiştir. Bu şekilde geniş bir sismik yükleme ve yapı çeşidinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Çalışmanın bir sonucu olarak kapsam içinde ele alınan tüm parametreler için görelî deplasman istemi ile korelasyon ve saçılım değerleri belirlenmiş ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.
- Deplasman istemleri ve ivme kaydı parametreleri arasındaki ilişki genel olarak doğrusal ve üs formundadır.
- Farklı kat sayısına sahip yapılar için korelasyon değerleri önemli ölçüde değişebilmektedir. Örneğin VSI parametresi; 2 katlı binalar için 0.88, 4 katlı binalar için 0.95 ve 7 katlı binalar için 0.90 değerine sahiptir.
- Genel olarak ivme kaynaklı parametrelerin (Karakteristik Şiddet, Arias Şiddeti, EDA, PGA, SMA, İvme RMS, ASI) kat sayısı ile azalan bir korelasyona, hız kaynaklı parametrelerin ise (VSI, PGV, SMV, CAV, Hız RMS, SED) 2 kattan 4 kata gidildiğinde artış, 4 kattan sonra ise bir miktar

azalış gösterdiği görülmektedir. Bu sonucun az katlı yapıların ivme, orta katlı yapıların hız, daha çok katlı yapıların ise deplasman duyarlı periyot bölgesinde olmasıyla paralel olduğu düşünülebilir.

- Deplasman (PGD, Deplasman RMS) ve frekans içeriği (V_{max}/A_{max} , Ortalama periyot, baskın periyot) kaynaklı parametrelerin ise tek başına anlamlı olmadığı düşük korelasyon değerleri yoluyla görülmektedir.
- Her yapı grubu için farklı değerlerde de olsa en yüksek korelasyon ve en düşük saçılım değerine VSI parametresi sahiptir.
- İkinci sırada ise yine farklı değerlerde olmakla birlikte tüm yapı grupları için PGV gelmektedir. PGV'nin VSI'ye göre daha kolay hesaplanması ve azalım ilişkisi geliştirilmesine uygunluğu bu parametre için önemli bir avantaj olarak görülebilir.
- Tüm modeller için VSI 0.94 korelasyon katsayısına ve 0.23 saçılım değerine, PGV ise 0.91 korelasyon katsayısına ve 0.28 saçılım değerine sahiptir.
- VSI ve PGV'den sonra sıralama yapı grupları için farklılıklar içermektedir.
- Saçılım değerleri yüksek katlı yapılara doğru gidildikçe genel olarak azalan bir trende sahiptir. Bu durum yüksek katlı yapıların sahip olduğu daha yüksek periyot değerleri sebebiyle eş deplasman bölgesine daha yakın olması ve böylelikle deplasman istemlerinin değişkenliğinin görece daha az olmasına bağlanabilir.
- Parametrelerin tek tek kullanılması yanında birkaçının birlikte kullanılması durumunda korelasyon değeri ve özellikle saçılım değerinin iyileştirilip iyileştirilemeyeceği de araştırılmıştır. Farklı özellikte denklemler ile yapılan çalışmalar sonucunda korelasyon ve saçılımda önemli iyileşme görülmüştür.
- Elde edilen denklem ile korelasyon 0.9632'ye yükseltilmiş, saçılım ise 0.1774 değerine indirilmiştir. Bu denklem 5.6 olarak verilmiştir.
- Denklem 5.6 incelendiğinde ivme cinsinden bir şiddet parametresi (EDA) ve iki frekans içeriği parametresi içerdiği görülmektedir. Bu da depremin büyüklük ve şiddet parametreleri yanında frekans içeriğinin de önemini ortaya koymaktadır.
- Denklem 5.6 üzerinde yapılan incelemede bazı terimlerin katkısının düşük olduğu ve bunların çıkarılması ile yaşanacak hassasiyet kaybının sınırlı olduğu görülmüştür. Bu şekilde belirlenen denklem de 5.7 olarak verilmiştir.
- Denklem 5.7'nin korelasyon değeri 0.9610, saçılım değeri ise 0.1840'tır.

Çalışma sonucunda; ele alınan parametreler içinde VSI ve PGV parametrelerinin, daha yüksek oranda ise Denklem 5.6 ve 5.7'nin, ivme kayıtlarının orta katlı betonarme yapı stoğu üzerindeki yıkıcılık etkisinin belirlenmesinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

7. KAYNAKLAR

Akkar, S. and Özen, Ö., Effect of peak ground velocity on deformation demands for sdof systems, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34, 1551-1571, (2005).

Benjamin J.R., A criterion for determining exceedance of the Operating Basis Earthquake, EPRI Report NP-5930, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, (1988).

Cabanas, L., Benito, B., Herraiz, M., An approach to the measurement of the potential structural damage of earthquake ground motions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 79-92, (1997).

DBYBHY-2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (2007).

Elenas, A., Correlation between seismic acceleration parameters and overall structural damage indices of buildings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20, 93-100, (2000).

Giovenale, P., Cornell, C.A. and Esteva, L., Comparing the adequacy of alternative ground motion intensity measures for the estimation of structural responses, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33, 951-79, (2004).

İnel M., Şenel Ş. M., Özmen H.B., TUBITAK 107M569: Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Yapıların Deprem Performanslarını Etkileyen Faktörlerin İrdelenmesi Sonuç Raporu, Denizli, (2011).

Kramer S. L, *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall. New York, (1996).

Liao, W., Loh, C., Wan, S., Earthquake responses of RC moment frames subjected to near-fault ground motions, *Structural Design of Tall Buildings*, 10, 219-229, (2001).

Luco, N. and Cornell, CA., Structure-Specific Scalar Intensity Measures for Near-Source and Ordinary Earthquake Ground Motions, *Earthquake Spectra*, 23, 357-92, (2007).

Nuttli O.W., The relation of sustained maximum ground acceleration and velocity to earthquake intensity and magnitude. Miscellaneous Paper S-71-1, Report 16, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, (1979).

PEER, <http://peer.berkeley.edu>, (2013).

Rathje E.M., Abrahamson N.A. and Bray J.D., Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 124, No. 2, pp. 150-159, (1998).

Riddell R., On Ground Motion Intensity Indices, *Earthquake Spectra*, 23 (1), 147-173, (2007).

Sarma S.K. and Yang K.S., An evaluation of strong motion records and a new parameter A95. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 15, pp. 119-132, (1987).

Shome, N. and Cornell, CA., Probabilistic Seismic Demand Analysis of Non-linear Structures. Report No. RMS-35, RMS Program Stanford University, Stanford, (1999).

Sucuoğlu, H., Discussion of “An approach to the measurement of the potential structural damage of earthquake ground motions”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26, 1283-1285, (1997).

Turkkan, N., Floating point genetic algorithm for minimization problems, (1999).

Uang, C.H., and Bertero V.V., Implications of recorded earthquake ground motions on seismic design of buildings structures, UCB/EERC-88/13, California, (1988).

Von Thun J.L., Rochim L.H., Scott G.A. and Wilson J.A., Earthquake ground motions for design and analysis of dams, Earthquake Engineering and Soil Dynamics II - Recent Advances in Ground-Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication, Vol. 20, pp. 463-481, (1988).

Wald DJ, Quitoriano V, Heaton TH, Kanomori H., Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity and modified Mercalli intensity in California. Earthquake Spectra, 15:557-564, (1999).

Wu, YM, Teng TI, Shin TC, Hsiao NC., Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity and intensity in Taiwan. Bulletin of the Seismological Society of America; 93:386-396, (2003).

Wu, Y.M., Hsiao, N.C., and Teng, T.L., Relationship between strong motion peak values and seismic loss during the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, Natural Hazards, 32, 357-373, (2004).

Yakut, A. and Yılmaz, H., Correlation of Deformation Demands with Ground Motion Intensity, ASCE Journal of Structural Engineering, 134, 1818-28, (2008).

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 2011 BSP 024
Proje Başlığı: Sismik Yapı Hasarı ile Çeşitli İvme Kaydı Parametrelerinin İlişkilerinin Değerlendirilmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yrd. Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN (Yürütücü) Prof. Dr. Mehmet İNEL (Araştırmacı)
Projenin Yürütüldüğü Birim: Mühendislik Fakültesi
Varsa, Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 18.11.2011-05.11.2013
Özet <p>Deprem hasarlarının yapılar üzerindeki etkilerinin tahmin ve değerlendirilmesi inşaat mühendisliğinin öncelikli konuları arasındadır. Her bir depremin çok çeşitli özelliklerde olması ve yapılar üzerindeki etkilerinin farklılaşması konunun önemli zorluklarından biridir. Sismik yüklemenin şiddeti ile ilgili tanımlamalarda genel olarak depremin büyüklüğü ve en büyük yer ivmesi sıklıkla kullanılan parametreler arasındadır. Fakat daha düşük büyüklük ve/veya yer ivmesi değerine sahip depremlerin daha yıkıcı sonuçlara yol açması da mümkündür. Dolayısıyla depremin etkisinin tanımlanması için birçok parametre önerilmiştir. Önerilen çalışmada çeşitli ivme kaydı parametrelerinden hangilerinin yapı stoğu hasarı ile daha ilişkili olduğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ülkemiz mevcut yapı stoğunun büyük bölümünü temsil etmesi açısından az ve orta katlı betonarme çerçeve yapılar dikkate alınmıştır. Betonarme yapı stoğu 1056 kapasite eğrisi ile tanımlanan geniş yelpazede özelliklere sahip binalar ile temsil edilmiştir. 466 deprem kaydı dikkate alınarak geniş bir ivme kaydı seti oluşturulmuştur. Her bir kapasite eğrisi ve deprem kaydı için yapıların doğrusal elastik olmayan deplasman talebi elde edilmiştir. Yaklaşık yarım milyon deplasman talebine dayanan bu veri setinin kapsamlı değerlendirmeye imkan verdiği düşünülmektedir. Belirlenen özellikte yapı grupları için elde edilen ortalama deplasman talepleri ile dikkate alınan 20 ivme kaydı parametresi arasında en yüksek korelasyon ve en düşük saçılıma sahip parametreler olarak Hız Spektrum Şiddeti (VSI) ve Maksimum Yer Hızı (PGV) belirlenmiştir. İlâveten dikkate alınan 20 parametreden seçilen bir kaçının birlikte kullanımı ile hasar ile daha büyük ilişkiye sahip hibrit bir parametre elde edilmesi için çalışma yapılmış ve VSI'ya göre %23 daha az saçılıma sahip bir denklem önerilmiştir. Yapılan çalışmanın deprem hasarlarının tahmini ve azaltılması çalışmalarında, yönetmeliklerin sismik şiddet tanımlanmasında, yapıların sismik analizinde ivme kaydı seçimi ve değerlendirilmesi işlemlerinde önemli faydalar sağlayabileceği öngörülmektedir.</p>
Anahtar Kelimeler: Deprem, doğrusal elastik olmayan dinamik analiz, ivme kaydı, sismik hasar, yapı stoğu.
Varsa, Projeden Yapılan Yayınlar: