# BETONARME BİNALARDA EŞDEĞER TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEM VE 3-B DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN DİNAMİK ANALİZ DEPLASMAN TALEPLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**M. İnel[1], E. Meral[2] ve H.B. Özmen[3]**

[1] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
[2] *Araştırma Görevlesi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
[3] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Uşak Üniversitesi, Uşak*
*Email: minel@pau.edu.tr*

**ÖZET:**

Mevcut bina stoğunun büyük bir kısmını oluşturan sekiz kata kadar olan binaların 2, 4 ve 7 kat olarak temsil edilmesiyle oluşturulan 3-B ve bunların "eşdeğer" TSD sistem modelleri ile elde edilen çatı seviyesi deplasman talepleri kıyaslanarak, TSD sistemin 3-B modeli ne derece temsil ettiği araştırılmıştır. Ayrıca duvar etkisinin deprem davranışı üzerindeki etkileri de çalışma içerisinde irdelenmiştir. 500 mevcut bina üzerinde yapılan envanter çalışması ile elde edilen ortalama bina özelliklerinin yansıtılması ile 1-2 katlı yapıları temsilen 2, 3-5 katlı yapılar için 4, 6-8 katlı yapılar için 7 katlı bina modelleri oluşturulmuştur. Her bir yapı grubu için iki farklı deprem yönetmeliği (1975 ve 1998) ve 2 farklı malzeme durumu dikkate alınmıştır. Binalarda duvar etkisinin modellenmesi de parametre olarak alınmış ve duvarlı modeller de oluşturulmuştur. Bu şekilde, 24 adet 3-B modelin her iki asal yönü ve gerçek depremlerden seçilen farklı özelliklere sahip 19 adet ivme kaydı kullanılarak 912 adet 3-B ve 912 adet "eşdeğer" TSD dinamik analiz ile elde doğrusal elastik olmayan deplasman talepleri hesaplanmıştır. 3-B doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analiz ile elde edilen çatı seviyesi deplasman talepleri üzerinde yapılan değerlendirme ile duvar etkisinin modellenmesinin deplasman taleplerini ortalama olarak 2 katlı binalarda %30, 4 katlı binalarda %20 ve 7 katlı binalarda %10 düzeyinde azalttığı görülmüştür. TSD sistem ile elde edilen deplasman talebinin 3-B model ile elde edilen deplasman talebine oranı kullanılarak yapılan değerlendirmede, TSD sistem ile hesaplanan deplasman taleplerinin 3-B modellere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Genel olarak TSD modellerinin çatı seviyesi deplasman taleplerini %20-%40 oranında daha fazla tahmin ederek, deplasman esaslı değerlendirme düşünüldüğünde güvenli tarafta kalabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Mevcut betonarme yapı, dinamik analiz, doğrusal olmayan deplasman talebi, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem, zaman tanım alanında analiz.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde yaşanan depremlerde ortaya çıkan can kayıpları ve ekonomik kayıpların boyutları ülkemiz yapılarının sismik performanslarının değerlendirilmesini gündeme getirmiştir. Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar ülkemiz yapı stoğunun oldukça önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle bu binaların deprem davranışlarının anlaşılması sismik değerlendirme çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Sismik talep hesabı yönetmeliklerce kolay olması nedeniyle, Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistemler kullanılarak yapılmaktadır. Yapıların sismik davranışını daha gerçekçi yansıtan 3-B doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analiz hem zor olması hem de çok zaman alması bakımından tercih edilmemektedir. Bu çalışmada TSD ile 3-B doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analiz yapılarak bulunan sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Ayrıca modellenen binalar dolgu duvarların yük taşıyıcı özelliklerinin

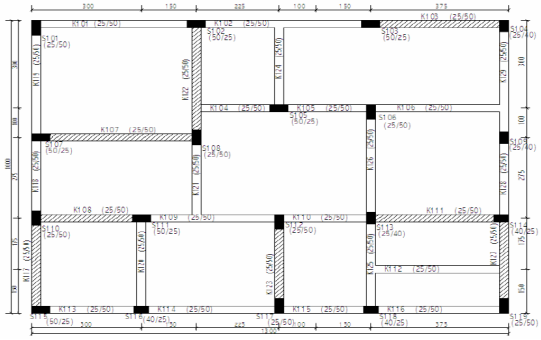
dikkate alındığı ve alınmadığı iki bina seti olarak düşünülmüş olup dolgu duvarların deprem davranışına etkileri ve TSD ile tahmin yapılırken oluşturdukları farklılıklar araştırılmıştır.

## 2. YAPILARIN TANIMLANMASI VE MODEL ÖZELLİKLERİ

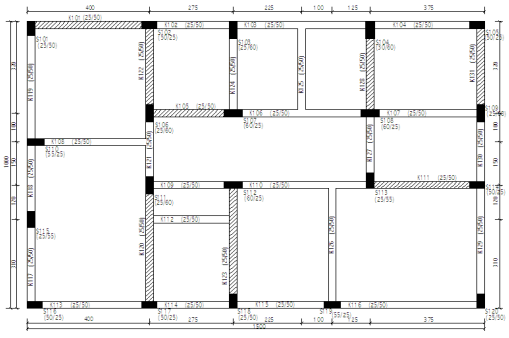
Çalışma kapsamında ülkemiz yapı stoğunun oldukça büyük bir kısmını oluşturan 8 kata kadar olan düşük ve orta yükseklikteki binalar dikkate alınmıştır. Düşük ve orta yükseklikteki yaklaşık 500 mevcut bina üzerinde yapılan envanter çalışması (Inel vd., 2009) ile elde edilen bina özelliklerinin yansıtılması ile 1-2 katlı binalar 2 kat, 3, 4 ve 5 katlı binalar 4 kat ve 6, 7 ve 8 katlı binalar 7 kat olarak modellenmiştir. Seçilen bu binalar perde duvarı olmayan tipik kiriş-kolon betonarme çerçeve binaları olarak modellenecektir. Modellerde kullanılan değerler envanterde elde edilen yapısal parametrelerin ortalama değerleridir. Yapıların kalıp planları Şekil 1'de verilmiştir.

Envanter verileri dikkate alınarak seçilen referans binalar, sismik ağırlık ve sismik yükler göz önünde bulundurularak 1975 ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik esaslarına göre (ABYYHY-1975; ABYYHY-1998) tasarlanmıştır (1. derece deprem bölgesi ve zemin sınıfı Z3). Her iki yönetmelik için mevcut binaları temsil etmek üzere iki farklı karakteristik beton basınç dayanımı değeri göz önünde bulundurulmuştur; ABYYHY-1975 için 10 ve 16 MPa ve ABYYHY-1998 için 16 ve 25 MPa kullanılmıştır. Boyuna ve enine donatıların karakteristik akma dayanımı ABYYHY-1975 ve ABYYHY-1998 için sırasıyla 220 ve 420 MPa alınmıştır. Boyuna donatıların pekleşmesi dikkate alınmıştır.

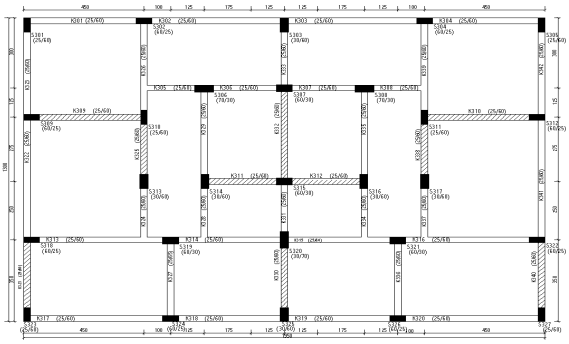
Şekil 2 'de gösterildiği gibi, plastik mafsalın kuvvet-deformasyon davranışını tanımlayan A, B, C, D, E ve performans kriterleri için MN, GV ve GÇ noktaları işaretlenmiştir. Bu noktaların her biri elemanın tipi, malzeme özellikleri, boyuna ve enine donatı içeriği ve eksenel yük seviyesine bağlı olarak verilmiştir. Doğrusal elastik olmayan davranışı yansıtmak için 2, 4 ve 7 katlı bina modellerinin her biri için sırasıyla 500, 800 ve 1800 plastik mafsal türetilmiştir. Plastik mafsal boyu DBYBHY-2007'de belirtildiği gibi ilgili yöndeki kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır. Eğilme mafsalları için hasar sınır değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Moment mafsallarına ek olarak, kolon ve kirişlerde kesme mafsalları 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. Plastik mafsal özelliklerinin hesaplanması ve SAP2000 programına aktarılması işlemi SEMAp yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (SEMAp, 2008). 3-B dinamik analizlerde SAP2000 programı (CSI, SAP2000, 2010) ve TSD dinamik analizlerde Bispec programı kullanılmıştır (Hachem, Bispec).



2 katlı bina

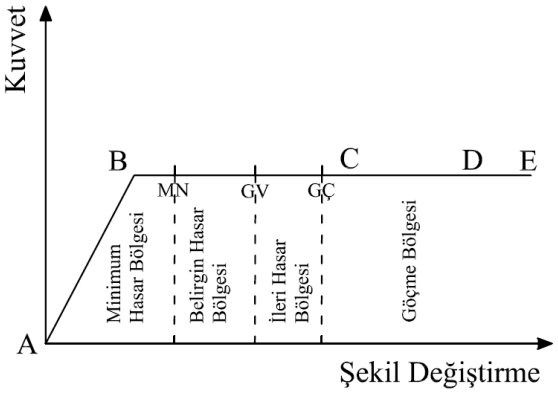


4 katlı bina



7 katlı bina

Şekil 1. Modellenen binalara ait kat kalıp planları (taşıyıcı dolgu duvarlar taralı olarak gösterilmiştir)




Şekil 2. Plastik mafsalın tipik yük-deformasyon ilişkisi

3-B doğrusal olmayan zaman tanım analizlerinde Newmark ortalama ivme metodu kullanılmıştır. Ayrıca, her bir model için efektif rijitlik değerleri, kirişler için 0.4EI ve kolonlar için eksenel yük seviyesine göre 0.4EI ve 0.8EI arasında değişen değerler dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Eğilme mafsalı hasar sınır kriterleri

| Nokta | Beton Birim Deformasyonu $\varepsilon_c$ | Çelik Birim Deformasyonu $\varepsilon_s$ |
|---|---|---|
| B | Akma dayanımı ve eğilme rijitliği belirler | |
| MN | $(\varepsilon_{cu})_{MN}$=0.0035 | $(\varepsilon_s)_{MN}$= 0.01 |
| GV | $(\varepsilon_{cg})_{GV}$= 0.0035+0. 010·$(\rho_m/\rho_s)$ ≤0.0135 | $(\varepsilon_s)_{GV}$= 0.04 |
| GC | $(\varepsilon_{cg})_{GC}$= 0.0040+0.014·$(\rho_m/\rho_s)$ ≤0.0180 | $(\varepsilon_{cu})_{GÇ}$= 0.06 |
| C-D | $(\varepsilon_{cg})_C$= 0.03 | $(\varepsilon_s)_C$= 0.5·$\varepsilon_{su}$ |
| E | $(\varepsilon_{cg})_E$= 0.04 | $(\varepsilon_s)_E$= $\varepsilon_{su}$ |

Dolgu duvarların yapı davranışına etkisinin dikkate alınması amacıyla duvarların taşıyıcı eleman olarak dikkate alındığı ve alınmadığı iki farklı model hazırlanmıştır. 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.

## 3. DOĞRUSAL OLMAYAN YERDEĞİŞTİRME TALEPLERİNİN BELİRLENMESİ

3-B olarak modellenen dolgu duvar dayanımının dikkate alındığı ve alınmadığı 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 19 gerçek deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi ile doğrusal olmayan yer değiştirme talepleri hesaplanmıştır (Hachem, Bispec).

SAP 2000 programı yardımıyla doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında 3-B analizler yapılarak binaların deplasman talepleri hesaplanmıştır. TSD sistem ile aynı ivme seti kullanılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Tüm deprem kayıtları PEER (PEER, http://peer.berkeley.edu) web sitesinden alınmıştır.

## 4. ANALİZLERDE KULLANILAN İVME KAYITLARININ ÖZELLİKLERİ

Binalarla ilgili kabullerde Z3 sınıfı zemin sınıfını yansıtması için USGS zemin sınıflamasına göre B ve C grubu zeminler üzerinden toplam 19 alınan ivme kayıtları kullanılarak analizler yapılmıştır. Deprem ivme kayıtları seçilirken, PGA aralığının çeşitliliğine dikkat edilmiştir. Bunun yanında seçilen aralıkta, en büyük ve en küçük değerin çok uç olmamasına özen gösterilmiştir. Deprem ivme kayıtları ve özellikleri, Tablo 2.'de gösterilmiştir.

B ve C grubuna ait deprem ivme kaydının sayısı daha fazla olduğu için çeşitlilik fazladır. DBYBHY-2007 ait spektruma oldukça yakın çıkan spektrum eğrileri olduğu gibi, bir miktar üstünde kalan spektral değerler de mevcuttur. Böylece ortalama spektral eğri DBYBHY-2007' e olabildiğince benzemekle birlikte spektrumdaki periyot aralığının büyük bir bölümünde daha küçük ivme değerlerine sahiptir. Farklılıkları bazı periyotlardaki ani yükselmeler yaratmaktadır. Çalışmada kullanılan B ve C gruplarına ait deprem ivme kayıtlarının %5 sönüm için elastik spektrumları Şekil 3'te verilmiştir.

## 5. DOLGU DUVARLARIN DEPREM DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

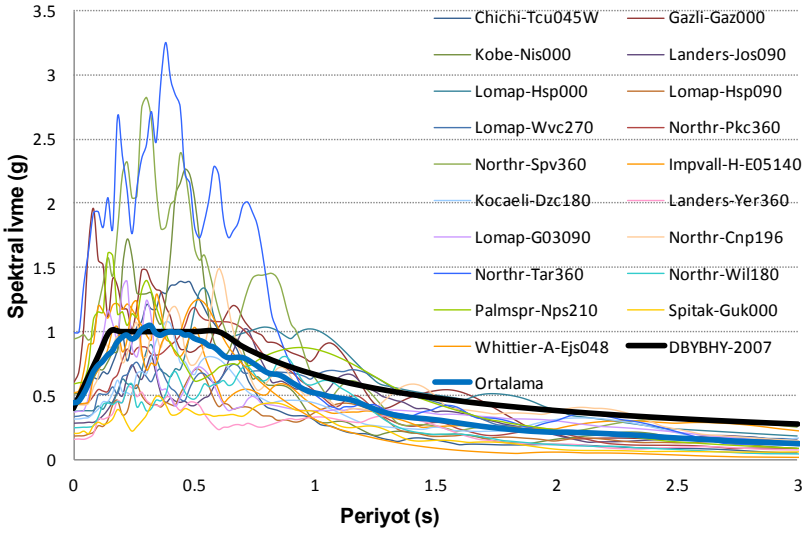
Dolgu duvarların binaların deprem davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için, çalışma kapsamındaki binalarla ilgili her modelde dolgu duvarların sadece yük olarak dikkate alındığı ve dolgu duvarlardan yönetmelikte tanımlanan boşluk ve süreklilik şartlarını sağlayanların basınç çubuğu olarak dikkate alındığı modeller oluşturulmuştur.

Dolgu duvar davranışının dikkate alındığı ve alınmadığı doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında 3-B analizler ile elde edilen çatı katı seviyesi deplasman taleplerinin kıyaslaması oran olarak yapılmıştır. Şekil 4'te gösterilen her bir nokta, farklı beton dayanımı ve iki asal doğrultu dikkate alındığında 4 adet modele ait ortalama değerlerdir. Düşey eksen dolgu duvar davranışı dikkate alındığı durumda elde edilen deplasman talebinin dolgu duvar etkisi dikkate alınmadığı durumdaki deplasman talebine oranı, yatay eksen ise maksimum yer ivme değerini ifade etmektedir. Ortası boş işaretli noktalar 1975 yönetmeliği binalarını, ortası dolu işaretli noktalar da

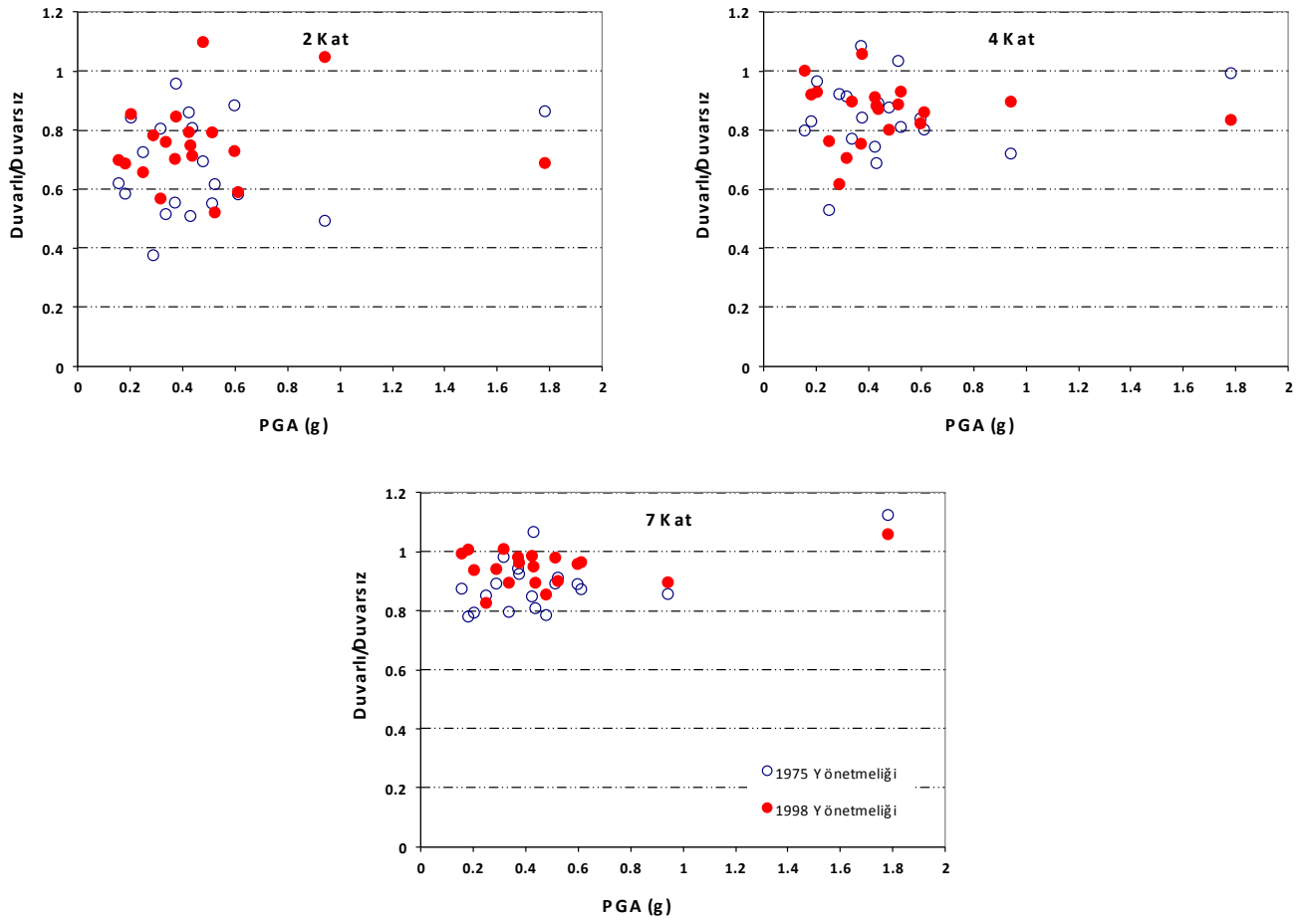
1998 yönetmeliği binalarını temsil etmektedir. 2 katlı binalarda oranın 0.38 ile 1.10 arasında değiştiği ancak 0.60 ile 0.80 arasında yığıldığı açıkça görülmektedir. Bu durum 2 katlı binalarda duvar etkisinin düşünülmesi binalardaki çatı katı seviyesi deplasman taleplerini %20-%40 arasında azalttığını ortaya koymaktadır. 4 katlı binalar için bu oran 0.53 ile 1.09 arasında değişerek 0.70 ile 1.00 arasında yığılmaktadır. 7 katlı binalarda ise 0.78 ile 1.13 arasında değişen oran 0.80 ile 1.00 arasında yığılmaktadır. Üç grup bina modeli esas alındığında duvarların düşük katlı binalarda daha etkin olduğu, kat sayısı arttıkça duvarların etkinliğinin azaldığı açıkça görülmektedir. Şekil 4 aynı zamanda duvar etkisinin maksimum yer ivmesi ile belirli bir eğiliminin söz konusu olmadığını da açıkça göstermektedir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan deprem ivme kayıtları ve özellikleri (www.peer.berkeley.edu)

| | No | Deprem Adı | Tarih | İstasyon | Bileşen | PGA(g) | PGV(cm/s) | Vs30(m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 1 | Chi-Chi | 1999.09.20 | TCU45 | W | 0.474 | 36.7 | 704.6 |
| | 2 | Gazli | 1976.05.17 | Karakyr | 000 | 0.608 | 65.4 | 659.6 |
| | 3 | Kobe | 1995.01.16 | Nishi-Akashi | 000 | 0.509 | 37.3 | 609 |
| | 4 | Landers | 1992.06.28 | Joshua Tree | 090 | 0.284 | 43.2 | 379.3 |
| | 5 | Loma Pri. | 1989.10.18 | H.S. Pine | 000 | 0.371 | 62.4 | 370.8 |
| | 6 | Loma Pri. | 1989.10.18 | H.S. Pine | 090 | 0.177 | 29.1 | 370.8 |
| | 7 | Loma Pri. | 1989.10.18 | Saratoga WVC | 270 | 0.332 | 61.5 | 370.8 |
| | 8 | Northridge | 1994.01.17 | Pacoima KC | 360 | 0.433 | 51.5 | 508.1 |
| | 9 | Northridge | 1994.01.17 | Sepulveda VA | 360 | 0.939 | 76.6 | 380.1 |
| C | 10 | Imperial V. | 1979.10.15 | El C.Array #5 | 140 | 0.519 | 46.9 | 205.6 |
| | 11 | Kocaeli | 1999.08.17 | Duzce | 180 | 0.312 | 58.8 | 276 |
| | 12 | Landers | 1992.06.28 | Yermo Fire St. | 360 | 0.152 | 29.7 | 353.6 |
| | 13 | Loma Pri. | 1989.10.18 | G.Array #3 | 090 | 0.367 | 44.7 | 349.9 |
| | 14 | Northridge | 1994.01.17 | Canoga Park | 196 | 0.42 | 60.8 | 267.5 |
| | 15 | Northridge | 1994.01.17 | Tarzana | 360 | 1.779 | 113.60 | 257.2 |
| | 16 | Northridge | 1994.01.17 | Hollyw. W.A | 180 | 0.245 | 33.5 | 234.9 |
| | 17 | N. Palm Sp. | 1986.07.08 | N. Palm Sp. | 210 | 0.594 | 73.3 | 345.4 |
| | 18 | Spitak | 1988.12.07 | Gukasian | 000 | 0.199 | 28.6 | 274.5 |
| | 19 | Whittier N. | 1987.10.01 | Santa Fe Spr. | 048 | 0.426 | 38.1 | 308.6 |




Şekil 3. B ve C Gruplarına Ait Deprem İvme Kayıtlarının %5 Sönüm İçin Elastik İvme Spektrumları




Şekil 4. 3-B bina modellerinde dolgu duvar etkisinin çatı katı deplasman talepleri üzerindeki etkileri

## 6. 3-B VE TSD SİSTEM MODELLERİNDEN ELDE EDİLEN DEPLASMAN TALEPLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kolay olması nedeniyle sismik deplasman taleplerinin hesaplanmasında en çok Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistem tercih edilmektedir. Basitleştirilmiş ve tek noktada toplanmış kütle ile TSD sistemin 3-B binanın modelini ne derece temsil ettiğini incelemek için TSD sistem ile 3-B doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analiz ile elde edilen deplasman talepleri kıyaslanmıştır.

TSD sistemi oluşturmak için bina modellerinin 3-B modelleri statik itme analizine tabi tutularak kapasite eğrileri elde edilmiştir. Binalara ait kapasite eğrileri iki doğrulu hale getirilerek, 2007-DBYBHY kullanılarak TSD sisteme çevrilmiştir. TSD sistemin doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında dinamik analizleri 19 ivme kaydı kullanılarak Bispec programı (Hachem, Bispec) ile yapılmıştır. Elde edilen deplasman talepleri modal katkı çarpanı katsayısı kullanılarak çatı seviyesi deplasman talebine dönüştürülmüş ve SAP2000 programı kullanılarak elde edilen 3-B modellerin deplasman talepleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında seçilen 19 adet ivme kaydı için TSD sistem ile elde edilen deplasman talebinin 3-B model ile elde edilen deplasman talebine oranı kullanılarak yapılan değerlendirmede minimum, ortalama ve maksimum değerler Tablo 3'te özetlenmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere 1975 yönetmeliği binalarında saçılım fazla olmakla birlikte ortalama değerler arasında çok fazla farklardan söz etmek mümkün değildir. Yönetmelik düşünülmeden, tüm binalar kat sayılarına göre değerlendirildiğinde 4 katlı binalardaki saçılımın daha fazla olduğu göze çarpmaktadır; 2 katlı binalarda 0.75 ile 1.96, 4 katlı binalarda 0.71 ile 2.71 ve 7 katlı binalarda ise 0.75 ile 1.78 arasında değişen oranlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. TSD sistem deplasman taleplerinin 3-B modellerin deplasman taleplerine oranları – 19 ivme kaydı için minimum, ortalama ve maksimum değerler

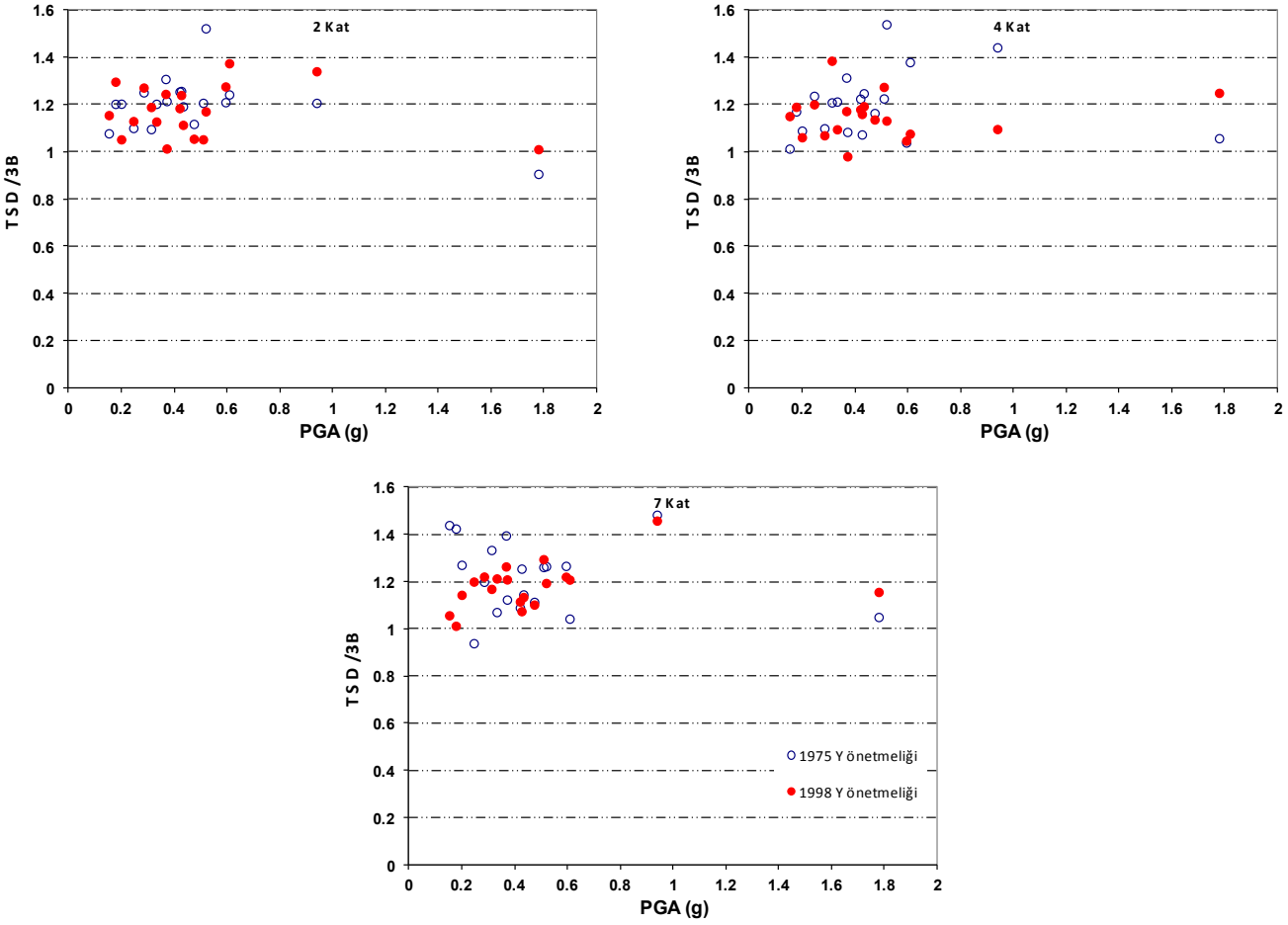
| | 2 Kat | | 4 Kat | | 7 Kat | | 2 kat | 4 Kat | 7 Kat |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1975 | 1998 | 1975 | 1998 | 1975 | 1998 | | | |
| **Minimum** | 0.79 | 0.75 | 0.75 | 0.71 | 0.75 | 0.86 | 0.75 | 0.71 | 0.75 |
| **Ortalama** | 1.20 | 1.17 | 1.20 | 1.15 | 1.22 | 1.18 | 1.19 | 1.18 | 1.20 |
| **Maksimum** | 1.96 | 1.72 | 2.71 | 1.83 | 1.78 | 1.75 | 1.96 | 2.71 | 1.78 |

Duvar etkilerinin dikkate alınması durumunun TSD sistem tahminlerinde etkili olup olmadığı durumu Tablo 4'te özetlenmiştir. Tablodan görüldüğü gibi kat sayısına göre yapılan değerlendirmede duvar etkisi sınırlı olan 7 katlı binalarda iki model arasında dikkate değer bir fark yoktur. 2 katlı binalarda da bir miktar etkilemekle birlikte saçılımı azalttığı görülmektedir. Ancak 4 katlı binalarda duvarlı modellerde TSD sistem tahminlerinin saçılımı arttırdığı belirgindir. Bu durum duvarların dikkate alınmasıyla etkilenen periyot aralığının hassas olan bölgeye geçmesi ve duvar etkisi ile rijitleşen kapasite eğrisinin iki doğrulu hale getirilmesinde oluşan farklılıklar ile açıklanabilir.

Tablo 4. Duvarlı ve duvarsız modeller için TSD sistem deplasman taleplerinin 3-B modellerin deplasman taleplerine oranları – 19 ivme kaydı için minimum, ortalama ve maksimum değerler

| | 2 Kat | | 4 Kat | | 7 Kat | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Duvarsız | Duvarlı | Duvarsız | Duvarlı | Duvarsız | Duvarlı |
| **Minimum** | 0.78 | 0.75 | 0.86 | 0.71 | 0.79 | 0.75 |
| **Ortalama** | 1.15 | 1.22 | 1.16 | 1.20 | 1.19 | 1.21 |
| **Maksimum** | 1.96 | 1.76 | 1.65 | 2.71 | 1.73 | 1.78 |

TSD sistem ile elde edilen deplasman talebinin 3-B model ile elde edilen deplasman talebine oranı olarak yapılan değerlendirme Şekil 5'te verilmiştir. 1975 ve 1998 Afet Bölgelerinde yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikleri esas alınarak oluşturulan bina modelleri için iki farklı beton dayanımı ve iki doğrultunun ortalama değerleri alınarak yapılan değerlendirme, TSD sistem ile hesaplanan deplasman taleplerinin 3-B modellere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Kat sayısı ve yönetmelik yıllarına göre yapılan kıyaslamada saçılımın oldukça fazla olduğu ve yönetmelik yılı ile kat sayısına bağlı bir eğilimin olmadığını ortaya koymaktadır. Şekil 5 TSD modellerinin çatı seviyesi deplasman taleplerini %20-%40 oranında daha fazla tahmin ederek, deplasman esaslı değerlendirme düşünüldüğünde güvenli tarafta kaldığı düşünülebilir. Şekil 5'ten de açıkça görüldüğü gibi birkaç ivme kaydında elde edilen 1'in biraz altındaki oran dışında TSD sistem ile elde edilen deplasman taleplerinin 3-B model deplasman taleplerine oranı 1.2 etrafında yığılmaktadır.




Şekil 5. Tek Serbestlik Dereceli sistem ve 3-B bina modelleri ile elde edilen çatı seviyesi deplasman taleplerinin karşılaştırılması

## 7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mevcut bina stoğunun büyük bir kısmını oluşturan sekiz kata kadar olan binaların 2, 4 ve 7 kat olarak temsil edilmesiyle oluşturulan 3-B ve bunların "eşdeğer" TSD sistem modelleri ile elde edilen çatı seviyesi deplasman taleplerinin kıyaslandığı ve duvar etkisinin deprem davranışı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Çalışma kapsamında düşük ve orta yükseklikteki yaklaşık 500 mevcut bina üzerinde yapılan envanter çalışması ile elde edilen ortalama bina özelliklerinin yansıtılması ile 1-2 katlı binalar 2 kat, 3, 4 ve 5 katlı binalar 4 kat ve 6, 7 ve 8 katlı binalar 7 kat olarak modellenmiştir.

- Mevcut binaları yansıtmak üzere 1975 ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik olmak üzere iki farklı yönetmelik ve her yönetmelik için iki farklı beton dayanımı dikkate alınarak modeller oluşturulmuştur. Dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına etkisinin dikkate alınmadığı ve alındığı olmak üzere her binanın duvarsız ve duvarlı olarak isimlendirilen 2 modeli oluşturulmuştur.

- Doğrusal elastik olmayan zaman tanım analizlerinde, %5 sönümlü ortalama spektrum eğrisi Z3 sınıfı zemin ve 1.derece deprem bölgesi spektrumuna benzeyen USGS zemin sınıflamasına göre B ve C grubu zeminler üzerinde kaydedilmiş geçmiş depremlere ait 19 adet ivme kaydı kullanılmıştır.

- 3 farklı bina, 2 farklı yönetmelik, 2 farklı beton dayanımı ve duvarlı/duvarsız modeller olmak üzere 24 adet bina modeli doğrusal elastik olmayan analiz için oluşturulmuştur.

- 3-B bina modelleri ile statik itme analizi yapılarak elde edilen kapasite eğrisi iki doğrulu hale getirilmiş ve 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik kullanılarak eşdeğer TSD sistem modelleri oluşturulmuştur.

- 19 ivme kaydı ve 24 adet modelin iki asal yönü düşünüldüğünde toplam 912 adet 3-B ve 912 adet de eşdeğer TSD sistem için doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analiz yapılmıştır.

- 3-B doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analiz ile elde edilen çatı seviyesi deplasman talepleri üzerinde yapılan değerlendirme ile duvar etkisinin modellenmesinin özellikle 2 katlı ve 4 katlı binalarda önemli olduğu, 7 katlı binalar üzerinde etkisinin oldukça sınırlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

- TSD sistem ile elde edilen deplasman talebinin 3-B model ile elde edilen deplasman talebine oranı kullanılarak yapılan değerlendirmede, 1975 yönetmeliği binalarında saçılım fazla olmakla birlikte ortalama değerler arasında çok fazla farklardan söz etmek mümkün değildir. Yönetmelik düşünülmeden, tüm binalar kat sayılarına göre değerlendirildiğinde 4 katlı binalardaki saçılımın daha fazla olduğu göze çarpmaktadır; 2 katlı binalarda 0.75 ile 1.96, 4 katlı binalarda 0.71 ile 2.71 ve 7 katlı binalarda ise 0.75 ile 1.78 arasında değişen oranlar gözlenmiştir.

- Duvar etkilerinin dikkate alınması durumunun TSD sistem tahminlerinde etkili olup olmadığı durumu incelendiğinde kat sayısına göre yapılan değerlendirmede duvar etkisi sınırlı olan 7 katlı binalarda iki model arasında dikkate değer bir fark yoktur. Duvarların modellenmesi durumunun 4 katlı binalarda TSD sistem tahminlerinin saçılımını arttırdığı açıkça görülmüştür. Bu durum duvarların dikkate alınmasıyla etkilenen periyot aralığının hassas olan bölgeye geçmesi ve duvar etkisi ile rijitleşen kapasite eğrisinin iki doğrulu hale getirilmesinde oluşan farklılıklar ile açıklanabilir.

- TSD sistem ile hesaplanan deplasman taleplerinin 3-B modellere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Kat sayısı ve yönetmelik yıllarına göre yapılan kıyaslamada saçılımın oldukça fazla olduğu ve yönetmelik yılı ile kat sayısına bağlı bir eğilimin olmadığını ortaya koymaktadır. Genel olarak TSD modellerinin çatı seviyesi deplasman taleplerini %20-%40 oranında daha fazla tahmin ederek, deplasman esaslı değerlendirme düşünüldüğünde güvenli tarafta kaldığı düşünülebilir. Birkaç ivme kaydında elde edilen 1'in biraz altındaki oran dışında TSD sistem ile elde edilen deplasman taleplerinin 3-B model deplasman taleplerine oranı 1.2 etrafında yığılmaktadır.

## KAYNAKLAR

ABYYHY-1975, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 1975.

ABYYHY-1998, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 1998.

DBYBHY-2007, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.

FEMA-356 (2000). Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Hachem M.M., BiSpec, http://eqsols.com/default.aspx.

Inel M., Ozmen H.B., Şenel Ş.M. ve Kayhan A.H. (2009). Mevcut Betonarme Binaların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi, *Uluslararası Sakarya Sempozyumu*, 1-2 Ekim 2009, Sakarya, Türkiye.

PEER, http://peer.berkeley.edu.

SAP2000, CSI. Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual; Berkeley (CA, USA); Computers and Structures Inc.

SEMAp (2008), Sargı etkisi modelleme analiz programı; Tubitak proje no: 105M024.

TS-500, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.