MAKSİMUM YER İVMESİ VE HIZI İLE YER DEĞİŞTİRME TALEBİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Ş.M. Şenel[1] ve M. Palanci[2]

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
[2] *Doktora Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı*
Email: mehmetpalanci@gmail.com

ÖZET:

Son yıllarda dünyada ve ülkemizde meydana gelen şiddetli depremlerin sebep olduğu yıkım, hem yeni binaların, hem de mevcut binaların değerlendirilmesini ele alan hesap yöntemlerinde önemli gelişmelerin ve iyileşmelerin yaşanmasına sebep olmuştur. Günümüzde kuvvet tabanlı hesap yöntemleri daha ziyade yeni binaların tasarımı için kullanılmaktadır ve deprem tehlikesi altında bulunan pek çok ülkenin yönetmelikleri buna göre düzenlenmiştir. Doğrusal hesap yönteminin kullanıldığı bu yaklaşımda sismik tehlikenin büyüklüğünü binada oluşan kuvvet talebi tarif etmektedir. Tasarımın esas hedefini oluşturan dayanım kapasitesinin hesabı için maksimum yer ivmesi ile ilişkilendirilerek bulunan ivme talepleri kullanılmaktadır. Başka bir ifade ile sismik tehlike ile ilgili hesaplamaların temel aldığı deprem parametresi maksimum yer ivmesidir (MYİ). Mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar ise doğrusal ötesi hesap yöntemlerine dayanmaktadır ve bu yüzden yerdeğiştirme talebinin hesabı gerekmektedir. Hesaplanan yer değiştirme talebi, dayanım kapasitesine ulaşan ve kalıcı deformasyonlara uğrayarak hasar gören binanın yer değiştirme kapasitesi ile karşılaştırılarak mevcut binanın performansına karar verilmektedir. Türk deprem yönetmeliğinde mevcut binaların deprem performansının hesabı için önerilen yöntemde kullanılan ve sismik tehlikeyi tarif eden deprem parametresi yine maksimum yer ivmesi ile ilişkilendirilen spektrumlardır. Özellikle son yıllarda yapılan bazı çalışmalar ise yer değiştirme taleplerinin maksimum yer ivmesinden ziyade maksimum yer hızı (MYH) ile ilişkilendirilmesinin istatistiksel olarak daha doğru olduğunu belirtmektedir. Belirtilen gelişmeler ışığında bir değerlendirme yapabilmek amacıyla bu çalışma kapsamında iyi ve kötü zemin özelliklerini yansıtan 100'den fazla deprem kaydı seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtları kullanılarak mevcut ve yeni binaları temsil eden farklı yatay dayanım oranları (%10 - %35) için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmış ve 0.1 ile 5 saniye periyot aralığındaki yer değiştirme talepleri elde edilmiştir. Elde edilen yer değiştirme talepleri ile MYİ ve MYH parametreleri arasındaki korelasyon değerleri iyi ve kötü zemin sınıfları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar deprem parametrelerinin (MYİ ve MYH) yer değiştirme talebi ile olan ilişkisinin yatay dayanım oranına ve binanın periyoduna bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini, zemin sınıfının da yatay dayanıma bağlı olarak bu ilişki üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, yerdeğiştirme talebi, doğrusal ötesi analiz.

1. GİRİŞ

Binaların tasarımında kullanılan ve kuvvet tabanlı yaklaşımı benimseyen yönetmelikler uzun süreden beri kullanılmakta ancak yaşanan son deprem felaketleri ile yeniden düzenlenerek hayata geçirilmektedir. Yapılan bu düzenlemelerde binaların tasarımında hedefi binadan istenen kuvvet talebi belirlemektedir. Kuvvet talebi ise spektrum tabanlı ivme talepleri ile hesaplanmaktadır. Yeni binalarda durum böyle iken mevcut binalarda durum biraz daha farklıdır ve bu binalarda sismik tehlikenin belirlenmesi için ise doğrusal olmayan yöntemler

kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde elde edilen sismik talep binanın yer değiştirme kapasitesi ile karşılaştırılarak binanın performans düzeyi belirlenmektedir. Bununla birlikte hesap sırasında deprem talebi elastik spektrumlara dayandırılmakta ve maksimum yer ivmesi (MYİ) ile ilişkilendirilerek tarif edilmektedir. Ülkemizde halen yürürlükte olan DBYBHY-2007 (DBYBHY-2007, 2007) yönetmeliğinin de kullanmış olduğu temel yaklaşım bu şekildedir. Ancak son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda yerdeğiştirme taleplerinin maksimum yer ivmesinden ziyade maksimum yer hızı (MYH) ile ilişkilendirilmesinin daha gerçekçi olduğu belirtilmektedir (Akkar ve Özen, 2005; Akkar ve Küçükdoğan, 2008). Bu çalışmalarda, sismik talebin belirlenmesi amacıyla eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemler kullanılmakta ve binaların çeşitli yapısal özellikleri (□, R) ile MYH arasındaki korelasyonları araştırılmaktadır. Bahsi yapılan bu çalışmalar katkı koyabilmek için mevcut ve yeni binaları yansıtan ve yatay dayanım oranları %10 ila %35 arasında değişen binalar ele alınmıştır. Bu binalar, iyi ve kötü zemin sınıfı özelliklerini yansıtan toplam 168 adet ivme kaydı yardımıyla analiz edilmiş ve yerdeğiştirme talepleri hesaplanmıştır. Bulunan yerdeğiştirmelerin MYİ ve MYH ile korelasyanları 0.1-5sn periyot aralığı için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar MYİ ve MYH parametrelerinin yerdeğiştirme talebi ile ilişkisinin yatay dayanım oranı ve bina periyodundan etkilendiğini, zemin sınıfının da yatay dayanıma bağlı olarak bu ilişki üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

2. SEÇİLEN MODELLERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ VE İVME KAYITLARI

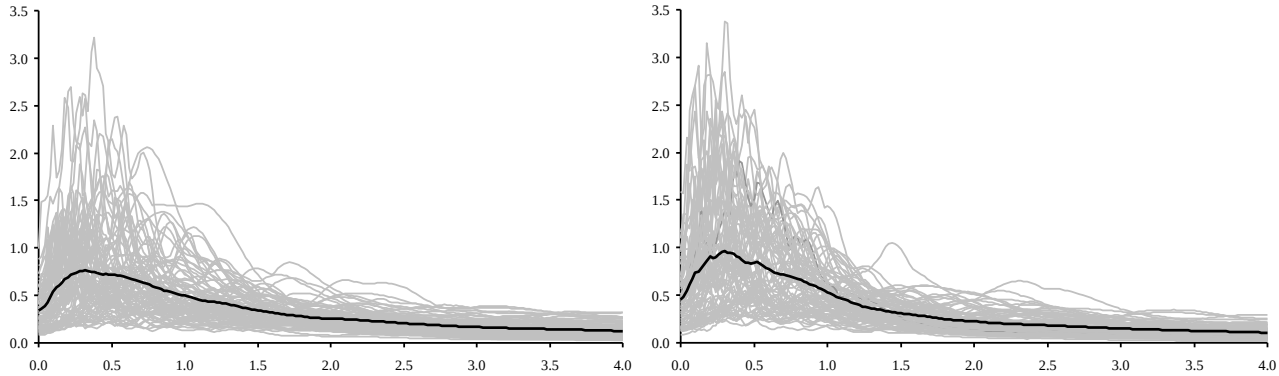
Yerdeğiştirme taleplerinin hesaplanması için 6 farklı yatay dayanım oranı (Vt/W=%10, %15, %20, %25, %30, %35) kullanılmıştır. Böylelikle hem deprem yönetmeliğe göre tasarlanmış, hem de ülkemizde genel yapı stokunu oluşturan mevcut binaların özelliklerini yansıtan modeller dikkate alınmıştır. Tek serbestlik dereceli modellerin seçilen ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal ötesi dinamik analizleri gerçekleştirilmiş ve yerdeğiştirme talepleri 0.1-5sn periyot aralığı için elde edilmiştir.

Bina modelleri oluşturulduktan sonra zaman tanım alanındaki analizler sırasında kullanılacak ivme kayıtları seçilmiştir. Bu işlem sırasında özellikle iyi ve kötü zemin özelliklerini yansıtan kayıtların seçilmesine dikkate edilmiş ve kayıtlar zemin sınıfına göre kayma dalgası hızları (V_s) dikkate alınarak 2 guruba ayrılmıştır. Kayma dalgası hızı 360 m/s'den yüksek olan kayıtların alındığı zeminlerin iyi, 360m/s'den küçük olan kayıtların alındığı zeminlerin ise kötü zemin grubunda yer aldığı kabul edilmiştir. Ayrıca her iki gruptaki toplam kayıt sayılarının olabildiğince yakın sayıda olmasına dikkat edilmiştir. Yukarıdaki seçim kriterleri dikkate alınarak toplamda 168 adet deprem kaydı seçilmiştir. Bu kayıtların 87 tanesi kötü zemin, 81 tanesi ise iyi zemin grubunda yer almaktadır. Seçilen kayıtların deprem büyüklüklerinin 5.7 ile 7.6 arasında değiştiği belirlenmiştir. Seçilen kayıtların tümü PEER (PEER, http://peer.berkeley.edu) veritabanından alınmıştır (Tablo 1). Bu çalışmada kullanılan tüm kayıtların ivme-mukabele spektrumları her iki zemin sınıfına göre çizilmiş ve Şekil 1'de verilmiştir. Kullanılan ivme kayıtlarının özellikleri Palanci ve Şenel, 2012 tarafından yapılan çalışmada bulunabilir. Seçilen kayıtların kayma dalgası hızları arasında kıyaslama yapmak amacıyla çizilen histogramları Şekil 2'de verilmiştir.

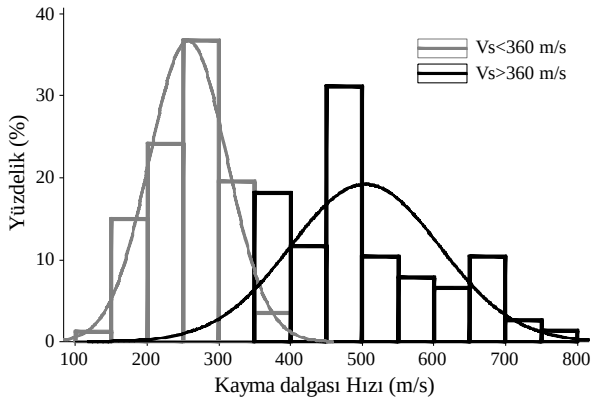
Tablo 1. Seçilen deprem kayıtları ve sayıları

Deprem Adı	Moment Büyüklüğü (Mw)	Kayıt Sayısı (V_s<360)	Kayıt Sayısı (V_s>360)
Cape Mendocino	7.01	2	1
Chi-Chi, Taiwan	7.62	29	46
Coyote Lake	5.74	-	1
Coalinga	6.36	2	-
Gazli, USSR	6.8	-	2
Duzce, Turkey	7.14	3	-

Deprem Adı	Moment Büyüklüğü (Mw)	Kayıt Sayısı (V_s<360)	Kayıt Sayısı (V_s>360)
Erzincan, Turkey	6.69	1	-
Irpinia, Italy	6.9	-	1
Imperial Valley	6.53	17	-
Kobe	6.9	2	-
Kocaeli, Turkey	7.51	5	2
Landers	7.28	2	1
Loma Prieta	6.93	5	10
Morgan Hill	6.19	-	1
Nahanni, Canada	6.76	-	2
N. Palm Springs	6.06	2	-
Northridge	6.69	12	11
Parkfield	6.19	1	-
San Fernando	6.61	-	1
Superstitn Hills(B)	6.54	3	1
Westmorland	5.9	1	-



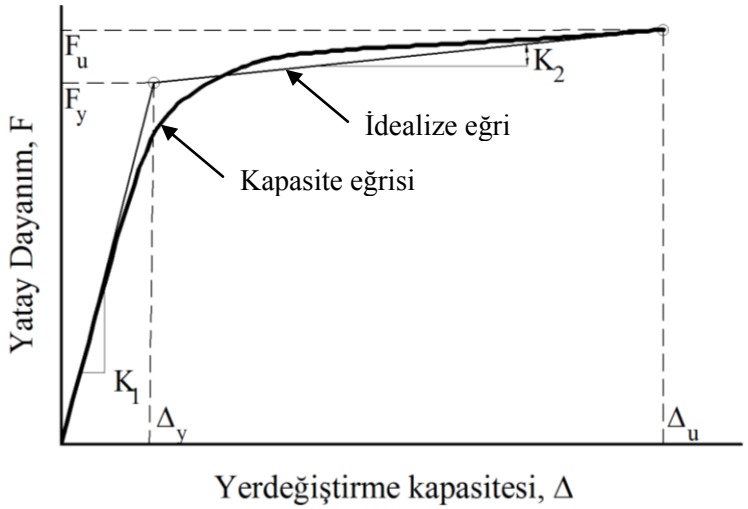
Şekil 1. Seçilen kayıtların ivme mukabele spektrumları (sol; V_s<360 m/s, sağ; V_s>360 m/s)



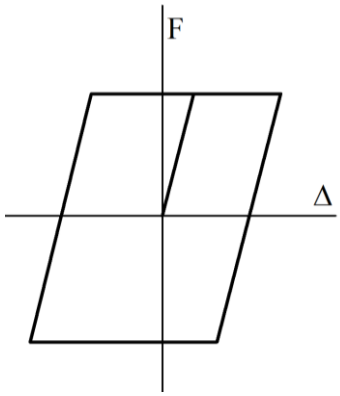
Şekil 2. Seçilen kayıtların kayma dalgası hızına göre historgramları

3. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ VE KORELASYON KATSAYISININ HESABI

Yatay dayanım oranları değişken kabul edilen tek serbestlik dereceli bina modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmış ve yer değiştirme talepleri elde edilmiştir. Şekil 3'de betonarme bir binaya ait yatay dayanım ve yerdeğiştirme ilişkisi (kapasite eğrisi) ile bu eğrinin idealize (iki eğrilikli) edilmiş hali gösterilmiştir. Zaman tanım alanındaki analizler sırasında binaların davranışları modellenirken doğrusal ötesi davranıştan sonra dayanım artışının olmadığı kabul edilmiştir. Diğer bir deyişle akma sonrası rijitliğinin (K_2) akma öncesi rijitliğe (K_1) oranı sıfır alınmıştır. Bu sebeple analizler geçekleştirilirken yaygın olarak kullanılan elastoplastik davranış dikkate alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. Yatay dayanım yerdeğiştirme ilişkisi



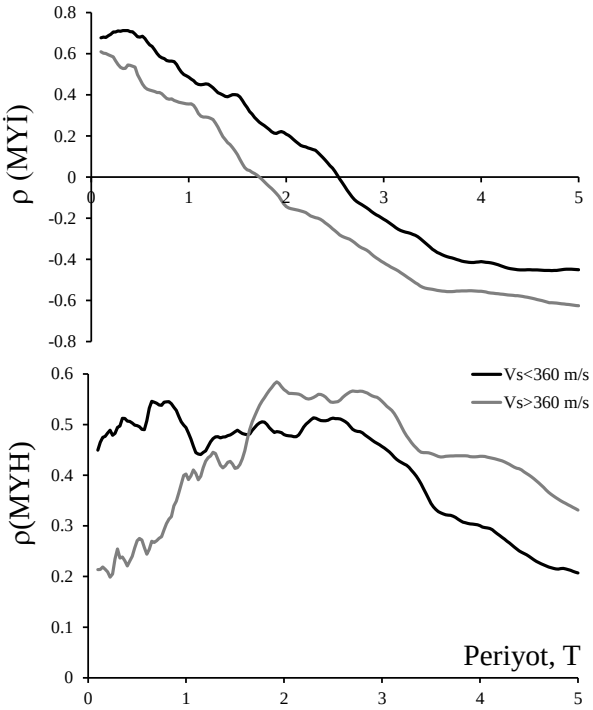
Şekil 4. Elastoplastik davranışın tipik olarak görünümü

Altı farklı yatay dayanım oranı, 186 ivme kaydı ve 0.1-5 saniye aralığındaki 200 adet periyod için yerdeğiştirme talepleri elde edilmiş ve sonuçta toplam 223,200 adet yerdeğiştirme talebi hesaplanmıştır. Elde edilen bu yer değiştirme değerlerinin MYİ ve MYH ile ilişkisinin belirlenmesi için pearson'un çarpım-moment korelasyonu katsayısı kullanılmıştır. Korelasyon katsayının hesabı için kullanılan yaklaşım denklem 1'de verilmiştir. Denklemde yer alan x ve y değişkenleri sırasıyla yerdeğiştirme talepleri ve kullanılan deprem parametrelerini göstermektedir. Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ ele alınan örneklemdeki aritmetik ortalamaları, n ise örneklemin büyüklüğünü sayısal olarak ifade etmektedir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(x_i - \bar{x}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2}} \quad (1)$$

4. YATAY DAYANIM ORANI, YER DEĞİŞTİRME VE YER HAREKETİ PARAMETRELERİNİN İLİŞKİSİ

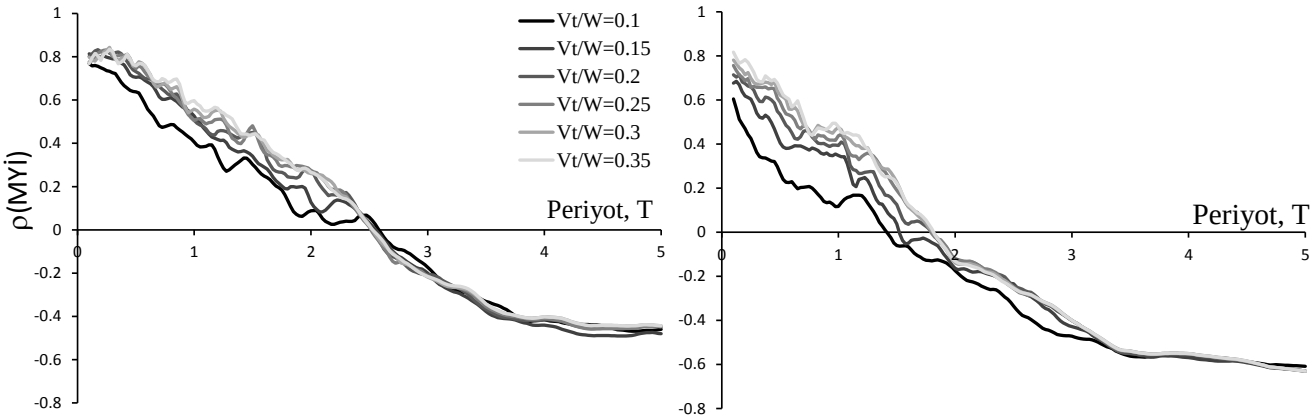
Önceki bölümlerde yapısal özellikleri belirlenen binaların doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yer değiştirmeler ile parametreler arasındaki ilişki denklem 1 ile hesaplanmıştır. Yer değiştirme talepleri belirlendikten sonra ilk olarak tüm yatay dayanım oranları için MYİ ve MYH parametrelerinin yer değiştirme ile ilişkisi araştırılmıştır (Şekil 5). Elde edilen korelasyonların periyoda göre değişimi incelendiğinde MYİ parametresinin düşük periyotlarda daha yüksek korelasyonlara sahip olduğu ancak bina periyodu arttıkça korelasyonların düştüğü, hatta ters ilişkide olduğu (negatif değerler) görülmektedir. Söz konusu durum MYH parametresi için geçerli değildir ancak bu parametrenin de zemin özelliklerinden etkilendiği söylenebilir.



Şekil 5. MYİ ve MYH parametrelerinin yer değiştirme ile ilişkisi

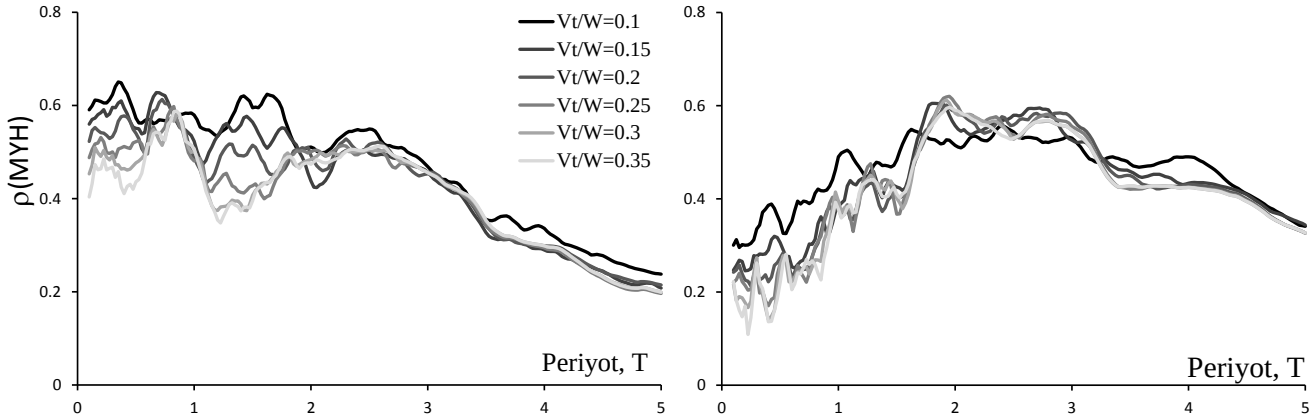
Yer değiştirme ile seçilen parametreler arasındaki korelasyonların yatay dayanım oranına göre değişimi ayrıca incelenmiş ve bulunan sonuçların bina periyoduna göre değişimi Şekil 6'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi düşük periyotlu yapılarda MYİ'nin yer değiştirme talebi ile korelasyonunun yüksek olduğu (~0.8), ancak periyot artışıyla birlikte korelasyonun düştüğü ve hatta 2 saniye civarında negatif değerler aldığı görülmektedir. Bu durum aslında MYİ ile yer değiştirme taleplerinin ters ilişkili olduğuna işaret etmektedir. Yatay dayanım oranına göre korelasyonların değişimi incelendiğinde, yatay dayanım oranı arttıkça korelasyonların arttığı ve

özellikle bu durumun kötü zeminlerde daha belirgin şekilde görüldüğü anlaşılmıştır. Ancak yüksek periyodlarda yatay dayanım oranının etkisi azalmaktadır.



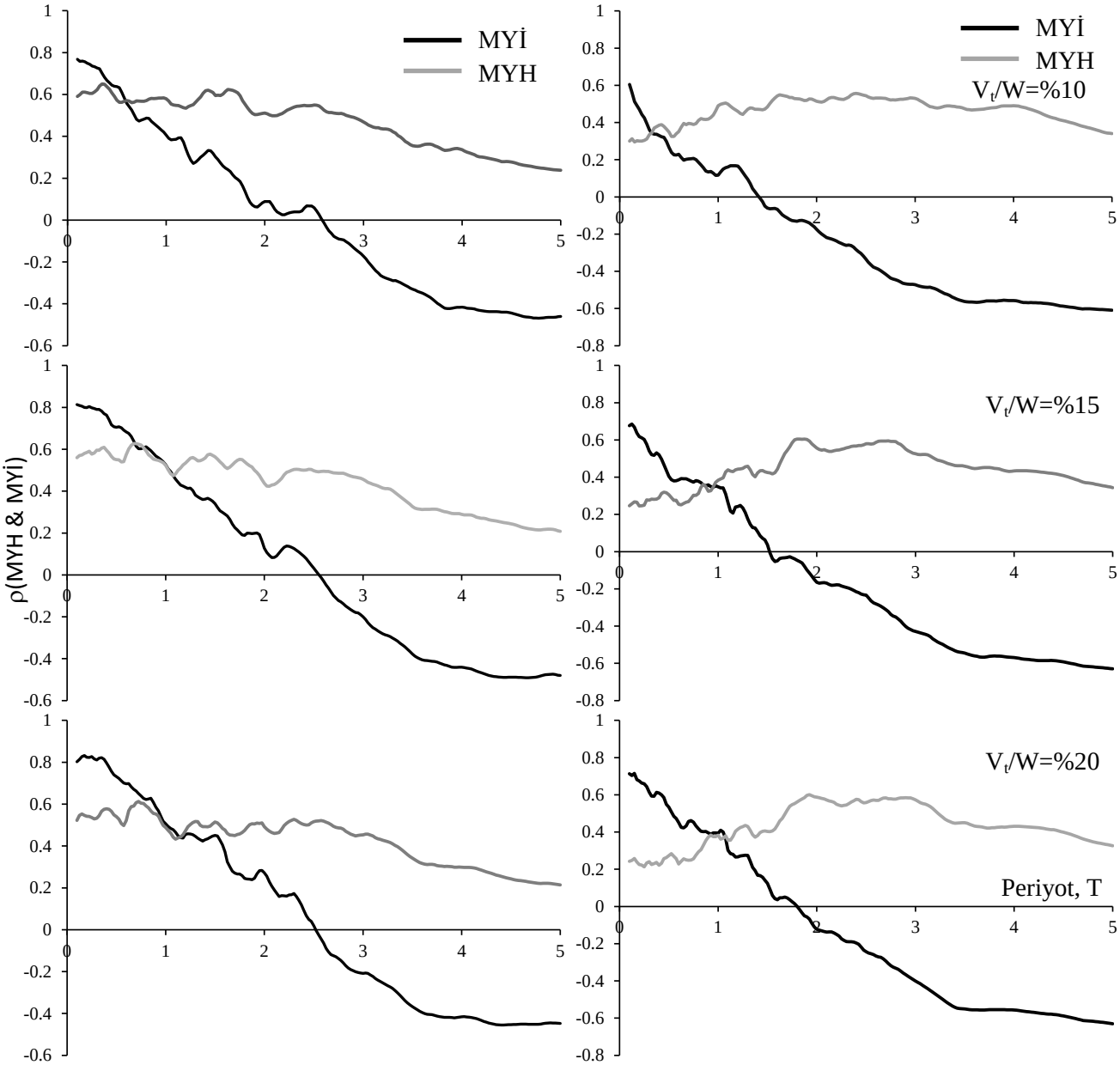
Şekil 6. MYİ ve yer değiştirme talebi arasındaki ilişki (sol; V_s<360 m/s, sağ; V_s>360 m/s)

Şekil 7'de MYH parametresi ile yer değiştirme talepleri arasındaki korelasyon değerlerinin yapı periyoduna göre değişimi verilmiştir. MYİ ve MYH parametreleri kıyaslandığında MYH parametresinin zemin özelliklerinden büyük oranda etkilendiği açık bir şekilde görülmektedir. Korelasyon değerlerinin özellikle kötü zeminlerde daha yüksek olduğu ancak periyod artışı ile birlikte korelasyon değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. İyi zeminlerden alınan kayıtların analizleri sonucunda elde edilen yer değiştirme talepleri ile MYH arasındaki korelasyonların 0.5~1 saniye periyodu aralığında oldukça düşük seyrettiği (r=0.2-0.3), periyod artışı ile birlikte korelasyonların bir miktar artmaya başladığı, fakat 2 s. civarında tekrar düşmeye başladığı görülmektedir. Yatay dayanım oranının, korelasyon katsayıları üzerindeki etkisi incelendiğinde, MYİ parametresinin aksine yatay dayanım oranının artmasıyla birlikte korelasyonların düşme eğiliminde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. MYH ve yer değiştirme talebi arasındaki ilişki (sol; V_s<360 m/s, sağ; V_s>360 m/s)

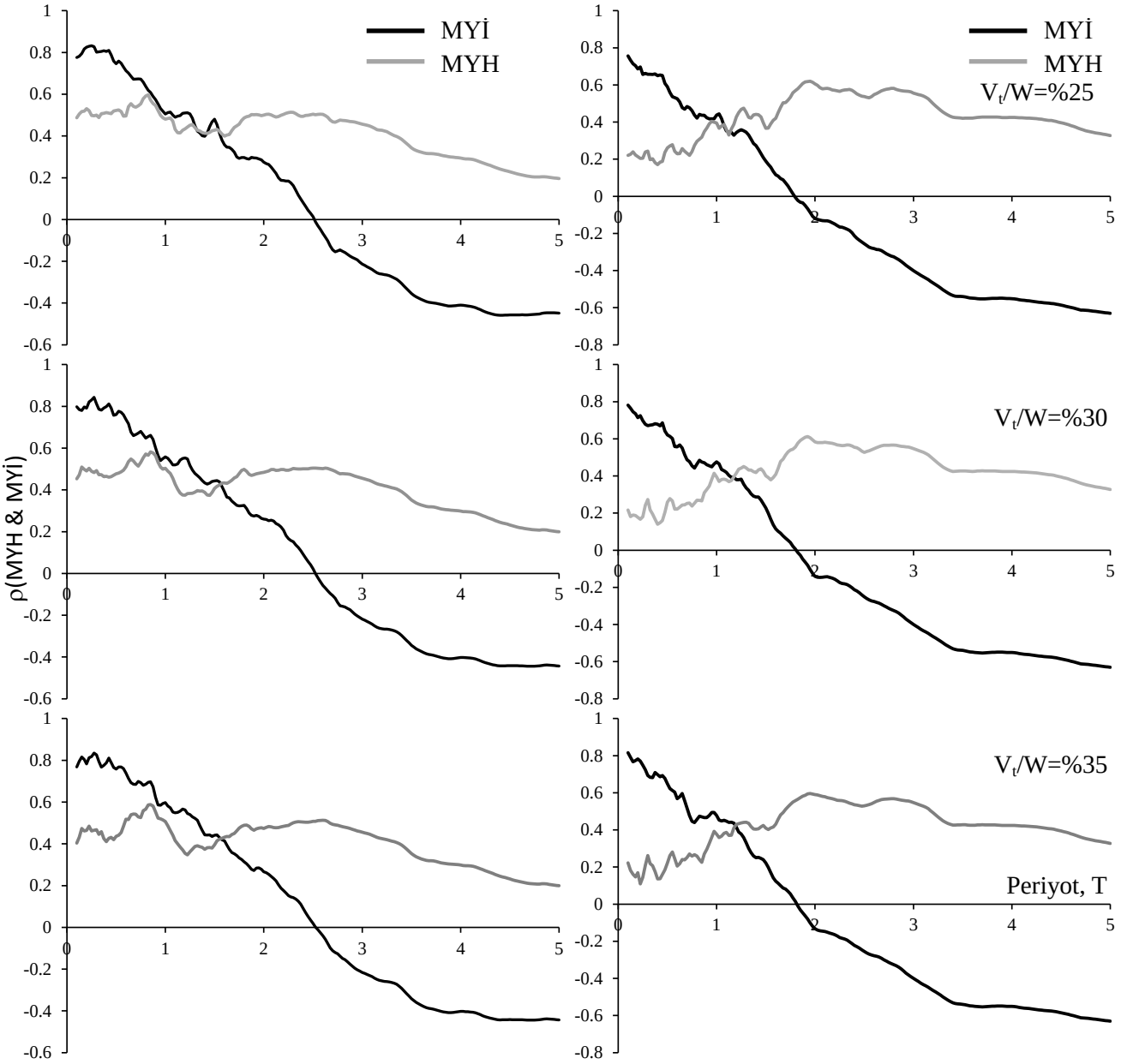
MYİ ve MYH parametrelerini kendi aralarında kıyaslamak amacıyla iyi ve kötü zemin durumları ve farklı yatay dayanım oranları için hesaplanan korelasyon katsayıları Şekil 8'da gösterilmiştir. Yatay dayanım oranı %10-%20 arasında değişen modeller için elde edilen sonuçlar bu şekil üzerinde verilmektedir.



Şekil 8. $V_t/W \leq \%20$ için MYİ ve MYH korelasyonlarının karşılaştırılması(Vs<360 m/s, sağ; Vs>360 m/s)

Şekil 8'dan görüldüğü gibi düşük periyotlu yapılardaki MYİ için hesaplanan korelasyon katsayıları MYH için hesaplanan değerlerden daha yüksektir. Ancak yüksek periyotlarda MYH daha yüksek korelasyonlara sahiptir. Bahsi geçen bu durumun bütün yatay dayanım oranlarında benzer olduğu görülmektedir. MYİ parametresinin farklı zeminlerdeki korelasyonlarının değişimi incelendiğinde iyi zeminlerdeki 1-1.5s arasında ters korelasyon durumu oluşmaktadır. Bu durum kötü zeminlerde daha yüksek periyot seviyelerinde oluşmaktadır (~2 s.).

Şekil 9 yatay dayanım oranının yüksek olduğu (Vt/W>%20) modellerde MYİ ve MYH parametrelerinin kıyaslamasını göstermektedir. Korelasyonların periyoda göre dağılımı incelendiğinde Şekil 7'de belirlenen hususların burada geçerli olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 9. V_t/W>%20 için MYİ ve MYH korelasyonlarının karşılaştırılması(sol; Vs<360 m/s, sağ; Vs>360 m/s)

5. ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, yer değiştirme taleplerinin maksimum yer ivmesi ve hızı parametreleri ile ilişkisini irdelemek amacıyla birden fazla yatay dayanım oranı (Vt/W=%10~%35) kullanılmıştır. Böylece hem yeni deprem yönetmeliğine göre tasarlanan yatay dayanım oranı göreceli olarak yüksek binalar ile mevcut bina stoğumuzu yansıtan yatay dayanım oranı düşük binaların temsil edilmesi amaçlanmıştır. Farklı yapıları temsil ettiği düşünülen tek serbestlik dereceli doğrusal olmayan analiz modelleri 168 adet ivme kaydı kullanılarak analiz edilmiştir. Böylelikle hazırlanan bina modellerinde meydana gelen doğrusal ötesi yerdeğiştirme talepleri hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar MYİ ve MYH parametrelerinin yer değiştirme talebi ile olan ilişkisinin yatay dayanım oranına ve bina periyoduna bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini, zemin sınıfının da yatay dayanıma bağlı olarak bu ilişki üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Çalışmada ayrıca elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- MYİ için elde edilen korelasyonlarının, yatay dayanım oranının artışıyla birlikte arttığı, ancak periyot artışıyla birlikte korelasyonların düştüğü ve hatta yüksek periyotlarda yer değiştirme talepleri ile MYİ parametresi arasında ters ilişki olduğu belirlenmiştir.

- Kötü zeminlerde (V_s<360 m/s) MYİ parametresi için elde edilen korelasyonların, iyi zeminlerdeki (V_s>360 m/s) korelasyonlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak MYİ için hesaplanan korelasyon katsayılarının periyoda göre değişiminde zemin özelliklerinin çok belirgin şekilde etkili olmadığı gözlenmiştir.

- MYH için hesaplanan korelasyon katsayılarının yatay dayanım oranının artmasıyla birlikte düşme eğiliminde olduğu ve bina periyoduna göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

- İyi zeminlerdeki (V_s>360 m/s) MYH için hesaplanan korelasyon katsayılarının, kötü zemine göre 0~1.5s periyot aralığında düşük olduğu, ancak yüksek periyotlarda (>1.5 s) bu durumun değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar özellikle MYH için hesaplanan korelasyon katsayılarının zemin özelliklerinden belirgin bir şekilde etkilendiğini göstermiştir.

- MYİ ile MYH için hesaplanan korelasyon katsayıları kıyaslandığında, yüksek rijitliğe sahip binalarda (<0.5 s.), yer değiştirme talebi ile MYİ arasındaki korelasyonların MYH'a göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

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

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

Akkar, S., Küçükdoğan, B., (2008). Direct use of PGV for estimating peak nonlinear oscillator displacements, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, **37:12**, 1411-1433.

PEER, http://peer.berkeley.edu

Palanci, M., Şenel, Ş.M., (2012). Evaluation of Inelastic Displacement Demand Determination Approach of Turkish Earthquake Code 2007, 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, 17-19 Ekim 2012, Ankara, Türkiye.