

## **ESNEK İSTİNAT YAPILARININ DEPREMDE DAVRANISI** **BEHAVIOR of FLEXIBLE EARTH RETAINING SYSTEMS under EARTHQUAKES**

**H. Turan DURGUNOĞLU<sup>1</sup>, Taskin TARI<sup>2</sup>, M. Cevat ÇATANA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Prof. Dr. Bogaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Bebek, İstanbul

<sup>2</sup>İns. Y. Müh. Zetas Zemin Teknolojisi A.S., Üsküdar, İstanbul

<sup>3</sup>İns. Y. Müh. Reinforced Earth İnşaat ve Ticaret A.S., Üsküdar, İstanbul

### **ÖZ**

Son on yıl içerisinde dünya üzerinde meydana gelen depremler arasında 1994 Northridge, A.B.D., 1995 Kobe, Japonya ve 1999 Kocaeli, Türkiye depremleri en yıkıcı depremler olarak bilinmektedir. Northridge depremi 57 ölü, 11.000 yaralı ve 20 milyar \$ zarara neden olurken, Kobe depremi 5.000'den fazla insanın ölümüne, 27.000'e yakınının yaralanmasına, 150.000'nin üzerinde yapının zarar görmesine neden olmuş, yeniden yapılanma maliyeti 95 milyar \$'a yaklaşmıştır. Bu afetlerden en trajik olanı 16.000 ölüye, 30.000 insanın yaralanmasına ve 16 milyar \$'lık zarara neden olan Kocaeli depremidir. Yukarıda sözü edilen depremlerde, sismik akvitelerin merkezine yakın bölgelerde pek çok Reinforced Earth®-RE (donatılı zemin) istinat yapısı ve pasif ankrajlı (zemin çivili) iksa sistemleri bulunmaktadır. Söz konusu yapılar, yatay ve düşey yönde etkiyen yüksek zemin ivmeleri nedeniyle oluşan gerilmeleri esnek yapıları sayesinde karşılamışlar ve önemli ölçüde hasar gören daha rijit yapılara oranla, deprem yüklemesi altında çok daha iyi performans göstermişlerdir. Bu yapıların deprem yüklemesi altındaki avantajlı performansları ülkemizdeki uygulamaları da dahil olmak üzere birçok projede yaygın olarak kullanılmaları sonucunu doğurmuştur. Bu çalışma kapsamında esnek istinat yapıları olarak sınıflandırılan RE-donatılı zemin sistemi ve pasif ankrajlı iksa sistemlerinin tasarım prensiplerinden bahsedilmekte ve deprem yüklemesi altındaki davranışları değerlendirilmektedir. Değerlendirmeler kapsamında yapıların bu avantajlı performanslarının teknik açıklamaları, sismik dizayn esasları ve deprem sonrası performans değerlendirmeleri alternatif sistemler ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Esnek istinat yapıları, Deprem yüklemesi, Performans

### **ABSTRACT**

Among the earthquakes that occurred throughout the world during the last decade, 1994 Northridge, U.S.A, 1995 Kobe, Japan, 1999 Kocaeli, Turkey earthquakes are known as the most devastating ones. Northridge earthquake resulted in 57 deaths and 11.000 casualties with a 20 billion dollars economic loss whereas in the Kobe earthquake more than 5.000 people died, 27.000 were injured and more than 150.000 structures were destroyed, rebuilding costs were approximately 95 billion dollars. The most tragic one of these disasters, Kocaeli earthquake, caused 16.000 deaths, 30.000 casualties and approximately 16 billion dollars loss. In the aforementioned earthquakes, many Reinforced Earth® and passive anchored (soil nailed) earth retaining structures, located near the seismically active zones, have been exposed to seismic excitations. These structures have performed better than relatively rigid structures under the act of high horizontal and vertical accelerations because of their flexible nature. The advantageous performance of these structures under seismic loading, resulted in widespread use of these structures all over the world including Turkey. In the extent of that study, design principles of the Reinforced Earth® and Passive anchorage systems classified as flexible retaining structures are briefly discussed and their performance under seismic loading are evaluated. These evaluations incorporate the technical explanation of the advantageous performance, seismic design considerations and post-earthquake performance comparison of that type of structures with alternative systems.

**Keywords:** Flexible retaining structures, Earthquake loading, Performance

## 1. GIRIS

Reinforced Earth®-RE (donatili zemin) ve pasif ankrajlı (zemin çivili) iksa sistemleri son on yıl boyunca dünya üzerinde meydana gelen yıkıcı depremler esnasında gösterdikleri yapısal performans ve davranım özellikleri ile birçok projede klasik tipte rijit istinat sistemlerine karşı öncelikli alternatif olmuşlar ve sismik aktivitenin merkezine yakın bölgelerde yoğun olarak kullanım alanı bulmuşlardır. Söz konusu sistemlerin bu ayrıcalıklı performansı yapılarının esnek olması, genel bir göçme yaşanmadan yüksek miktarda deformasyona müsaade etmeleri ve bu esnek yapıları sayesinde sismik aktivite esnasında yapıya aktarılan enerjinin daha iyi söğürülmesi ile açıklanmaktadır.

Yüksek sismik aktiviteye sahip Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Bolu-Istanbul kesiminde söz konusu yapılar kalıcı ve geçici derin kazılarda, köprü yaklaşım dolguları altında, ve otoyol dolguları altında istinat yapıları olarak birçok projede kullanılmışlardır. Büyüklüğü  $M=7.6$  olan Kocaeli depremi (Ağustos 1999) ve  $M=7.2$  olan Düzce depremi (Kasım 1999) esnasında bu yapıların aynı bölgelerdeki rijit istinat yapıları ile karşılaştırıldıklarında göstermiş oldukları üstün performans Reinforced Earth®-RE ve pasif ankrajlı iksa sistemlerin gelecekte daha yüksek oranda kullanım alanı bulacağını göstermektedir. Bu çalışma ile yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda esnek istinat yapıları olarak adlandırılan RE-donatili zemin ve pasif ankrajlı iksa sistemlerinin deprem yüklemesi altındaki davranışları değerlendirilmekte ve bu davranış özellikleri teknik sebepleri ile birlikte açıklanmaktadır.

## 2. DONATILI ZEMİN YAPILARININ PERFORMANSI

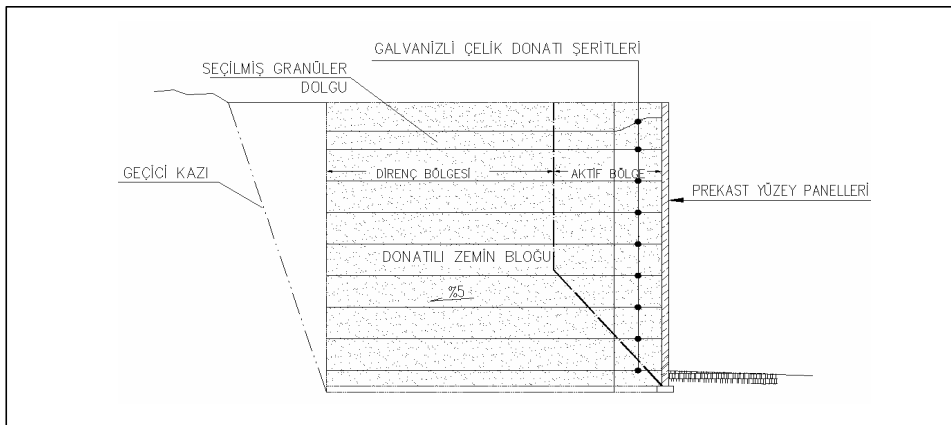
### 2.1. Genel

Bildirinin Reinforced Earth®-RE (donatili zemin) sistemi dünya çapında kısa sürede gördüğü ilgi ve yaygın kullanımı, bu sistemin inşaat mühendisliği alanında son otuz bes yılın en dikkate değer gelişmesinden biri olarak kabul edilmesine neden olmuştur. Sistemin yaygın kullanım alanları içerisinde karayollarındaki dolgu ve yarmalardaki istinat duvarları, köprü kenar ayakları ve yaklaşım duvarları, su yapıları, demiryollarındaki benzer uygulamaları sayılabilir. Düşük maliyeti, sismik bölgelerdeki yüksek performansı, ve estetik görüntüsü konvansiyonel sistemlerin yerine tercih edilmelerinin en önemli nedenleri arasında yer almaktadır.

Sistemin esası, zemin ile donatının birlikte kullanımına dayanmaktadır. Yeterli sayıda özel aderanslı çelik seritlerin, dayanım özellikleri ve gradasyonu standartlara uygun granüler geri dolgu ile birlikte yerleştirilmesi sayesinde, çelik seritlerin esas olarak çekmeye çalıştığı güçlü ve esnek bir kompozit malzeme elde edilmektedir.

Sistemin en büyük avantajı, çelik serit donatılarla teskil edilen istinat yapısının klasik rijit duvarlara göre daha esnek davranışı nedeni ile sistemin çok daha büyük deplasmanları ve yükleri tolere edebilmesidir. Bu nedenle, bu şekilde inşa edilmiş RE-duvarlar dünyada son üç büyük depremde oldukça başarılı performans sergilemişlerdir. RE-Donatili zemin yapıları temel üzerinde gerilme yoğunluğu yaratmadığı gibi, dis stabilite kriterleri olan temelde kayma ve dönmeye karşı yüksek güvenlik faktörlerine sahiptir. Buna ek olarak, esnek yapıları sayesinde toplam ve farklı oturmaları yapısal bütünlüğü bozulmadan karşılayabilmektedir.

RE-donatili zemin yapıları sismik koşullara göre dizayn edilirken genel olarak quasi-statik dizayn yükleri kullanılmaktadır. Bu tasarım prensipleri yapının boyutlandırmasının, bulunduğu sismik bölgedeki yatay deprem ivmesinin iç ve dis stabilite gereklerine uygun güvenlik faktörleri ile artırılarak etkilmesi prensibine dayanmaktadır.



Şekil 1. Tipik RE-Donatili Zemin Kesiti

İçsel stabilite analizleri sırasında Donatili Zemin blogunda bulunan yüksek aderansli ve galvanizli çelik seritler şekil 1’de gösterilen aktif bölgedeki dolgunun ataletiyle oluşan statik ve dinamik kuvvetlere dayanacak şekilde dizayn edilir. Deprem yükleri altında çelik seritlerin çekme mukavemetinin 0.4g’ye varan yer ivmeleri sonucunda yaklaşık %20 oranında azaldığı, yapılan analitik ve deneysel çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu nedenle, seritlerin çekme mukavemeti konservatif olarak statik durumdaki mukavemetin %80’i olarak alınmaktadır. Dis stabilite hesaplarında ise Mononobe-Okabe pseudo-statik metodu kullanılmaktadır. Bu metoda göre statik yükler dinamik zemin basıncının ½’si ve duvarın atalet kuvvetinin %50’si ile birleştirilmektedir. Kaymaya ve dönmeye karşı olan güvenlik faktörleri statik durum için kullanılan faktörlerin %75’ine denk gelecek şekilde azaltılabilmektedir.

## 2.2. 1994 Northridge Depremi

Bu depremden etkilenen bölgede, toplam 23 adet RE-donatili zemin yapısı bulunmaktadır. Bunların %65’ini 5m’den yüksek, %25’ini ise 10 m’den yüksek duvarlardan oluşturmaktadır. RE-donatili zemin yapılarının depremin merkez üssüne olan uzaklıkları 13 km ile 83 km arasında değişmektedir (Ref. 13). Ölçülen zemin ivme değerleri yatayda 0.07g ile 0.91g, düşeyde 0.04g ile 0.62g arasında değişmektedir. Yapılan hasar incelemeleri doğrultusunda, gözlenen deformasyonlar bazı duvarların beton panellerindeki çatlaklar olarak belirlenmiştir. Bu saptama gözönüne alındığında, RE-donatili zemin yapılarına yakın yerlerde bulunan yapıların çok daha fazla hasar görmüş olması ve bazılarının güvensiz olarak belirlenip kullanıma kapatılması vurgulanması gereken bir noktadır (bkz. Şekil 2). Konuyu daha da ilginç hale getiren bir gerçekte, RE-donatili zemin yapılarının %75’inden fazlasının ölçülen zemin ivmelerinden daha düşük ivmelere göre tasarlanmış olup, %50’sinin ise hiçbir yatay yer ivmesi gözönüne alınmadan dizayn edilmiş olmasıdır.

Bu tespit sonucunda, RE-donatili zemin yapılarının tasarımında kullanılan standartların özellikle dis stabilite analizleri söz konusu olduğunda oldukça konservatif sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Lyon Ave’de duvarların en alt sıra panellerinde hasar görünümü ve duvara yakın bir yoldaki yüzey çatlakları

## 2.3. 1995 Kobe Depremi

Kobe depreminin ardından 120 adet RE-donatili zemin yapısı incelenmiştir. İncelenen yapıların %70’ini 5m’den yüksek, %15’ini ise 10 m’den yüksek duvarlar oluşturmaktadır. Bu yapılar, 0.15g ile 0.2g arasında değişen yer ivmesi değerlerine göre tasarlanmıştır. Deprem anında ölçülen yer ivmesi ise 0.27g civarındadır (Ref. 14).



Şekil 3. Miki City’de bulunan duvarın ve yakınındaki yolun deprem sonrası durumu

22 yapinin yakninda veya üstünde yer hareketi gözlenmiş, bunların 10'unda panellerde ufak çatlaklar belirlenirken, 3'ünde önemli ölçüde yatay deplasman olmuştur ( Ref:2). Awaji adasındaki ve Hosiga-oka parkındaki duvarlarda, (Duvarın en üstünden ve orta yüksekliğinden, en alt kotuna göre) 4 mm ile 113 mm arası deformasyon değerleri ölçülmüştür. Tüm RE-donatili zemin yapıları depremin ardından fonksiyonel olarak kalmış ve hemen kullanım performans kriterlerini sağlamıştır (bkz. Sekil 3).

#### 2.4. 1999 Kocaeli Depremi

Bu bölgedeki RE-donatili zemin yapılarının performans analizleri tamamlanmadığı halde, depremin merkezine oldukça yakın bir bölgede bulunan Arifiye köprüsü'ne (bkz. Sekil 4) ait RE-donatili zemin yaklaşım duvarlarında gözlenen performans oldukça çarpıcıdır. 1988 yılında Adapazarında, 40x5 mm kesitli yüksek aderanslı galvanizli seritler kullanılarak inşa edilen yaklaşım duvarları maksimum 10 m yüksekliğe ulaşmaktadır. Depremin ardından köprü'nün kendisi göçmesine rağmen, RE-donatili zemin yaklaşım duvarları az veya hiç hasar görmemiştir. Farklı oturmalardan dolayı, zeminden yukarıya doğru yayılan kesme deformasyonları bazı bölümlerde duvarı 75mm'ye kadar ayırmıştır. Arifiye köprüsüne yaklaşık 250 m uzaklıkta bulunan bir betonarme istinat duvarında ise 1m'lik bir deplasman gözlenmiştir (Ref. 15). Arifiye köprüsü RE-donatili zemin yaklaşım duvarları 0.1g'lik yer ivmesine göre tasarlanmıştır. Bu tasarım statik analize göre belirlenen serit boylarında oldukça düşük bir artışa neden olmuştur. Depremin gerçek yer ivmesinin daha büyük olduğu göz önüne alındığında yapının bu yer ivmesine göre tasarımının yapılması halinde serit miktarının yaklaşık olarak mevcut duruma göre daha fazla olacağı açıktır.

Bu performans analizleri RE-donatili zemin teknolojisinin güvenliği hakkında önemli bir gösterge olurken hem de mevcut tasarım prensiplerinin oldukça konservatif olduğunu açıkça göstermektedir.



Sekil 4. Arifiye Köprüsü Yaklaşım Duvarları, Adapazarı



Sekil 5. Arifiye Köprüsü (1999 Kocaeli depremi sonrası)



### 3. PASIF ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNİN PERFORMANSI

#### 3.1. Genel

Pasif ankrajlı (zemin çivili) ikxa sistemleri çalışma prensipleri ve yapısal elemanları dikkate alınarak esnek yapıli istinad yapıları kategorisinde değerlendirilmektedir. Söz konusu ikxa sistemleri bugün birçok ülkede klasik tipte betonarme istinad yapılarına ve öngermeli ankrajlı+betonarme kirisli rijit ikxa sistemlerine karsi infaat maliyetleri ve zaman açısından tercih edilmekte olup, aynı zamanda yüksek sismik aktiviteye sahip bölgelerde deprem davranımı performans kriterleri dikkate alınarak özellikle tercih edilmektedirler. Pasif ankrajlı ikxa sistemlerinin projelendirilmesinde temel kriter yapım esnasında ve sonrasında ikxa sisteminde gerçekleşecek olan yatay deplasmanlar olup bu deplasmanlar zemin özellikleri, çevre yapılaşma ve genel stabilite kriterleri dikkate alınarak belirli limitler dahilinde kalacak durumda projelendirildiğinde söz konusu sistemler ayrımsız/orta derecede ayrımsız kayaçlarda  $H=28m$  yükselge kadar yatay/düsey:1/10 egim ile palyesiz olarak infaat edilebilmektedirler (bkz. Sekil 6).



Sekil 6 : Tekfen Tower  $H_{maks} = 24.0m$  ve Eczacıbaşı Atrium  $H_{maks} = 28.0m$  Projeleri  
Pasif Ankrajlı İksa Sistemleri (İstanbul/Levent) (Yılmaz ve diğerleri, 2000)

#### 3.2. Deprem Yüklemesi Altında Davranım

Dünya genelinde, laboratuvar ortamında ölçekli modeller ve araştırma sahalarında gerçek boyutlu modeller üzerinde son otuz yılda yapılan araştırmalar sonucunda pasif ankrajlı sistemlerinin özellikle sismik yükler altında alternatif ikxa sistemleri ile karşılaştırıldıklarında daha iyi performans gösterdikleri kanıtlanmıştır. Pasif ankrajlı ikxa sistemlerinin aşağıda özetlenen kendilerine özgü avantajları dikkate alındığında söz konusu sistemlerin bu yüksek performansı zaten beklenen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Pasif ankrajlı sistemlerin avantajlarından bahsedilirken ayrıca rijit istinad yapıları olarak adlandırılan betonarme kiris ve/veya kolonlarla desteklenen öngermeli ankrajlı sistemler ile de bir anlamda karşılaştırılması yapılmıştır.

Pasif ankrajlı ikxa sistemleri, ön germeli ankrajlı ve/veya betonarme kazıklı/kirisli, tipte konvansiyonel rijit ikxa sistemlerine oranla daha esnek yapılardır. Söz konusu sistemler zeminle bir bütün teşkil ederek sismik ve statik yükleme altında tüm doğrultularda daha büyük miktarlarda toplam ve farklı oturmalara müsaade edebilirler. Deprem esnasında oluşan yüksek taban kaya ivmelerine karşı daha dayanımlı olmakla beraber esnek bir yapıya ve dolayısı ile daha yüksek bir yapısal sönümleme katsayısına sahip olmaları sebebi ile sismik yükler ile verilen enerjiyi ve gerçekleşmesi muhtemel deplasmanları aktif (öngermeli) ankrajlı sistemlere göre kendi bünyesinde daha hızlı ve iyi sögürabilmektedirler. Pasif ankrajlı ikxa sistemlerinin yüksek deprem ivmelerine karşı olan bu dayanımı proje bazında sahada yerinde ve dünyanın en güvenilir test merkezlerinde laboratuvar ortamında yapılan araştırmalar ile ortaya konulmuştur.

Pasif ankrajlı sistemlerinde ankrajlar öngermeli sistemlere oranla daha sık aralıklarla yerleştirilmekte ve dolayısı ile herhangi bir ankrajın görevini yapamamaya duruma gelmesi durumunda sistemin genel stabilitesi tehlikeye atılmamaktadır. Bu durumda görevini yapamayacak olan ankrajın yükü çevre ankrajlar arasında paylaşılmakta ve sögürmektedir. Özellikle sismik yükleme altında sistemin genel stabilitesinin sağlanması ve yüksek deplasmanlara maruz kalınsa dahi toptan göçmenin gerçekleşmemesi söz konusu sistemlere bu özelliği ile eşsiz bir avantaj sağlamaktadır. Bununla beraber aktif ankrajlı sistemlerde elemanların tasdikları yüklerin mertebeleri pasif ankrajlı

sistemlere oranla çok daha yüksek olduğundan tekil elemanların görevini yapamaması durumunda tüm sistemin göçme riski artmaktadır.

Proje bazında inşaat sahalarında yapılan aletsel gözlemler çok küçük deplasmanların oluşması durumunda dahi pasif ankraj elemanları ve zemin arasındaki sürtünme kuvvetlerinin hemen oluşmakta olduğunu ve ankrajın yük tasımaya başladığını göstermektedir. Dolayısıyla daha fazla deplasmanların oluşması engellenmektedir. Öngermeli ankrajlı sistemlerde uzun vadede oluşabilecek gerilme boşalması ve sünme etkileri dikkate alındığında tüm sistemi riske edebilecek şekilde ankrajların dizayn (servis) yüklerini taşıyamama durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu durum, pasif ankrajlı sistemlerin yüksek sismisite özellikleri gösteren ve tekrar periyodu uzun dönemler olan büyük depremlerin gerçekleştiği bölgelerde kalıcı sistemler olarak projelendirilmesinin daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Pasif ankrajlı sistemlerde kullanılan elemanlar genel itibarıyla çekme, kayma ve eğilme zorlamalarını karşılayabilen yüksek mukavemetli inşaat çeligidir. Bu elemanlar üzerine öngörme uygulanmayıp, yerindeki zeminle arasında anisotropik belirgin bir kohezyon oluşacak şekilde sık aralıklarla teskil edilmektedirler. Bu sebeple, sismik yüklemeye altında içsel stabilite analizlerinin yapılması aşamasında ankrajların yatay zemin itkilerinin belirlenmesine ankrajlı duvar arkasında iyileştirilen zemin için daha yüksek zemin parametreleri ve fiktif kohezyon değerleri kullanılabilir.

Pasif ankrajlı sistemlerin uygulama metodu dikkate alındığında farklı tipte zemin tabakalaşmasına ve mevcut zeminin topografyasına iyi bir şekilde uyum sağlamak olduğu görülmektedir ve uygulama esnasında ve sonrasında gerekebilecek dizayn modifikasyonları, optimizasyonlar ve sismik aktivite sonrası olabilecek rehabilitasyonlar kolaylıkla yerinde gerçekleştirilebilmektedir. Betonarme kiriş ve kolonlarla destekli öngermeli ankrajlı sistemlerde ise sistem üzerinde yapılması gerekli küçük mertebeli modifikasyonlar dahi ilave kolon kiriş elemanlarının imal edilmesi gerekliliğine yol açmakta, dizayn ve inşaat açısından büyük zorluklara yol açmakta ve bazen de uygulanamamaktadır.

Aletsel büyüklüğü  $M=7.6$  olan Kocaeli depremi (Ağustos 1999) ve  $M=7.2$  olan Düzce depremi (Kasım 1999) söz konusu bölgede Anadolu Otoyolu, Bolu-Gerede kesimi inşaat işleri kapsamında kırılmanın gerçekleştiği faya yakın bölgede inşa edilmiş olan dik ve dike yakın eğimli pasif ankrajlı iksa sistemlerinde yapılan gözlemler bu sistemlerin deprem yüklemesi altında oldukça iyi bir performans gösterdiklerini ortaya koymuştur. Aynı şekilde D100 karayolunda mevcut olan kalıcı nitelikteki pasif ankrajlı sistemler de yapısal bir problem yaşamadan deprem yüklerini karşılamışlardır. Bu sistemler, özellikle Kaynaslı depreminde aktif faya çok daha yakın bir konumdadırlar ve  $a=0.54g$  yatay zemin ivmesinin ölçülmüş olduğu bölgededirler. Söz konusu ivme değeri yüksek bir değer olup pasif ankrajlı sistemlerin özellikle geri sev eğimlerinin yüksek olduğu bu kesimlerde ne derece başarılı bir performans gösterdiklerini ortaya koymaktadır.

Aynı depremler sonrasında İstanbul/Levent’de inşa edilmiş/edilmekte olan pasif ankrajlı duvarlar (bkz. Şekil 7) üzerinde yapılan gözlemler ile de söz konusu geçici nitelikteki iksa sistemlerinin deprem yüklemesi altında (konu bölgede ölçülen yatay zemin ivmesi  $a=0.10g$  mertebesinde) başarılı bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

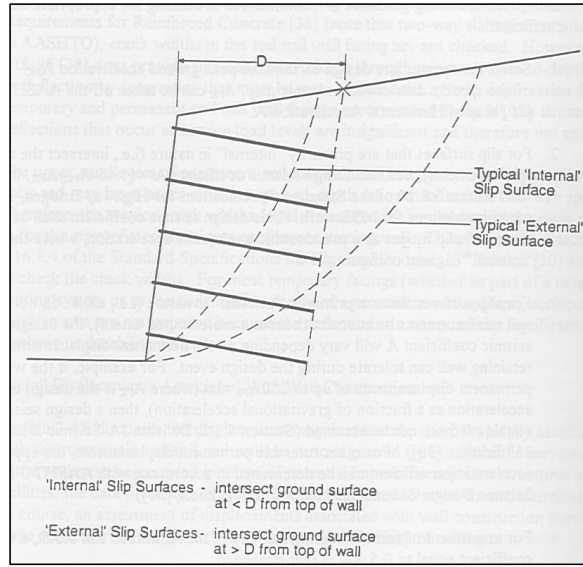


Şekil 7 : Tekfen Tower ve Setat 2002 Projeleri  
Pasif Ankrajlı İksa Sistemleri (İstanbul/Levent)

### 3.3. Sismik Analiz Prensipleri

Pasif ankrajlı iksa sistemlerinin sismik yükleme durumu analizi ve projelendirmesi MSE (donatili zemin - mechanically stabilized walls) duvarların analizleri ile benzer esaslara dayanmaktadır. Analizlerde, strong motion cihazları ile sismik aktivite esnasında ölçülerek veya sahaya özgü deprem risk analizi çalışması ile belirlenen maksimum yatay yer ivmesi değeri, amaks kullanılmaktadır. Pasif ankrajlı sistemlerde “içsel” (yaklaşık olarak duvar arkasında tüm ankrajları kesen) kayma dairesi/yüzeyi için seçilen dizayn sismik ivme katsayısının  $A_m=(1.45-\text{amaks}) \times \text{amaks}$  olarak alınması önerilmektedir. Bu dizayn sismik katsayısı “içsel” kayma yüzeylerinde kayan kütle üzerinde pseudostatik deprem ivmesi olarak uygulanmaktadır.

Aynı sistem için “genel” bir kayma yüzeyi/dairesi analizi için seçilecek dizayn sismik ivme katsayısı, projelendirilen iksa sisteminin deprem yüklemesi esnasında tolere edebileceği kalıcı deformasyonların mertebesine bağlı olarak seçilmektedir. Bir başka deyişle, eğer duvar 250 x amaks (mm) mertebesindeki bir deformasyonu tolere edebiliyorsa (pasif ankrajlı duvarın, duvar yüksekliğinin %0.1 ila %0.4 kati bir deformasyonu tolere edebildiği bilinmektedir), dizayn sismik katsayısı 0.5 x amax alınabilecektir. Söz konusu içsel ve genel kayma yüzeyleri yukarıda tariflendiği şekilde Şekil 8’de aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 8 : Pasif Ankrajlı Iksa Sistemleri için İçsel ve Genel Kayma Yüzeyleri

Hesaplanan sismik ivme katsayısı değerleri sistemin içsel ve genel stabilitesinin belirlenmesi amacı ile kullanılmakta olan Snailz, Bishop ve Talren gibi analiz yazılımlarına girdi olarak verilmekte ve sonuç olarak göçmeye karşı güvenlik faktörleri hesaplanmaktadır.

### 4. SONUÇ

Yapılan incelemeler ışığında, sismik aktivitelerin yoğun olduğu bölgelerde, RE-donatili zemin sisteminin güvenle uygulanabileceği geçmiş depremler altındaki müsbet performansları baz alınarak gösterilmiştir. Sisteme bu avantajları sağlayan kilit özellikler sistemin esnekliği ve mukavemetidir.

RE-donatili zemin yapılarında gözlenen deformasyonlar değişkenlik gösterebilir, yapıların işlevselliğini bozacak düzeye çıkamamış ve duvar yüksekliğinin %3'lük bölümünde yoğunlaşmıştır. Deformasyonlarda gözlenen değişkenlikler sistem üzerindeki büyük etkisi bulunan temel ve dolguda zamanla oluşan durum değişiklikleri nedeniyle meydana gelmiştir. Deformasyona neden olan hareketin kendisi, RE-donatili zemin sisteminin üzerine gelen kuvvete dayanıp daha fazla yük çekmek yerine, esnekliğini ve enerji soğurma kapasitesini kullanarak yükleri dinamik karakteri içinde karşıladığını göstermektedir.

Söz konusu RE-Donatili Zemin yapılarının pek çoğunun maruz kaldıkları yüksek deprem ivmelerinden çok daha az ivmelere göre tasarlanmış olup buna rağmen gerek deformasyon gerekse mukavemet bakımından üstün performans göstermeleri, bu yapıların tasarımında kullanılan standartların konservatifliği ve geliştirilmesi gerekliliğini önemle vurgulamaktadır.

Pasif ankrajlı duvarlar da deprem yüklemeleri altında RE-donatılı zemin yapıları ile benzer davranım özellikleri göstermişlerdir. RE-donatılı zemin yapılarından farklı olarak pasif ankrajlı sistemler duvar arkasında sahada mevcut zemini kullanmaktadırlar. Bu sebeple söz konusu sistemin projelendirilmesi esnasında sahada karışılan zemin özelliklerinin duvara etkiyen sismik yatay itki yüklerinin belirlenmesinde ve içsel/genel stabilite analizlerinde önemli derecede etkisi vardır.

## KAYNAKLAR

1. Frankenberger, P.C., Bloomfield, R.A. & Anderson, P.L. 1997. Reinforced earth walls withstand Northridge Earthquake. Earth Reinforcement, Technical papers prepared by Groupe TAI for The International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka, Kyushu, Japan, 12 – 14 November 1996. 47 – 52. Rotterdam: A.A. Balkema.
2. Performance of Geogrid-Reinforced Soil Retaining Walls During the Great Hanshin-Awaji Earthquake, January 17, 1995. Proceedings, 1st International Symposium on Earthquake Geotechnical Engineering. 55 – 62.
3. 1999 Kocaeli, Turkey Reconnaissance Report Earthquake Spectra, Aralık, 2000.
4. Ground Anchors and Anchored Systems – FHWA, June 1999.
5. Manual for Design & Construction, Monitoring of Passive Anchorage Walls – FHWA-SA-96-069.
6. Standart Specifications for Highway Bridges – AASHTO, 1992.
7. Passive Anchorage Design and Application, A Collection of Papers – Deep Foundations Institute.
8. Ground Anchors and Passive Nails in Retaining Structures – Foundation Engineering Handbook – 1988.
9. Geotechnical Earthquake Engineering – NHI Course No. 13239 – Module 9.
10. Durgunoglu, H.T., Kulaç, H.F., Arkun, B., “A Deep Retaining System Construction With Soil Nailing In Soft Rocks In Istanbul, Turkey”, Soil and Rock America 2003.
11. Yılmaz, S. Kulaç, F ve Durgunoglu, H. T. (in Turkish), “Zemin Çivili Duvarların Farklı Zemin Kosullarında Davranışları”, ZMTM 8. Ulusal Kongresi, 26-27.10.2000 İstanbul.
12. Martin, J. R., Mitchell, J.K., Olgun, C.G., Durgunoglu, H.T., Emrem, C., “Preliminary Findings From An Investigation of Improved Ground Performance During the 1999 Turkey Earthquakes”, NSF-TUBITAK Turkey-Taiwan Earthquakes Grantee Workshop, 24-26 March, 2002, Antalya, Turkey.
13. “Northridge Earthquake”, Engineering News Record, January 31, 1994.
14. “The performance of Reinforced Earth Structures in the vicinity of Kobe during the Great Hanshin Earthquake, Japan”, Internal Report, Terre Armée International, January 17, 1994.
15. “Arifiye Bridge Reinforced Earth Walls”, Performance of Improved Ground and Earth Structures, Earthquake Spectra, Supplement A to Volume 16, December 2000.
16. Soakey, J. E. and P. Segrestin, “Evaluation of Seismic Performance in Mechanically Stabilized Earth Structures”, Landworks in Earth Reinforcement, Ochiai *et. al.* (eds), Swets & Zeitlinger, pp. 449-452, 2001.
17. Martin, J. R., *et. al.*, “Performance of Improved Ground during the 1999 Turkey Earthquake”, Geotechnical Special Publication No.113, Foundation and Ground Improvement, ASCE – Geo Institute, pp. 565-579, 1999.
18. “Backfilled Structures with Inextensible and Flexible Reinforcing Strips or Sheets”, French Standard NF P 94-220, July 1992.
19. “Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Slopes Design and Construction Guidelines”, US. Department of Transportation, Federal Highway Administration, FHWA-SA-96-071, June 1999.
20. “Strengthened/ reinforced soils and other fills”, BS 8006:1995, June 1999.