

## YÜZEYSEL TEMELLİ YAPI GRUBUNUN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

**Ayşe Bengü SÜN BÜL** ([absunbul@beun.edu.tr](mailto:absunbul@beun.edu.tr))

*Bülent Ecevit Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*

**Zeki GÜNDÜZ** ([gunduz@sakarya.edu.tr](mailto:gunduz@sakarya.edu.tr))

*Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*

**Hüseyin MÜNGAN** ([hmungan2005@gmail.com](mailto:hmungan2005@gmail.com))

*Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO İnşaat Programı*

### ÖZET

Bu çalışma kapsamında, farklı temel genişliğine sahip yüzeysel temelli bir yapı grubunun dinamik davranışı 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. İlk aşamada deprem ivme kaydı binalara D-B yönlü (x-x yönlü), ikinci aşamada ise K-G yönlü (y-y yönlü) etki ettirilmiştir. Farklı kat yüksekliklerine sahip bu yapı grubu kendi içinde değerlendirildiğinde, K-G yönlü analizlerde, ivme kaydının maksimum olduğu zaman aralığında en büyük yerdeğiştirme 5 katlı binanın tepe noktasında 0.55 m elde edilmiştir. Aynı kat adedine sahip binanın temel genişliği modelde 2 katı kadar artırıldığında, elde edilen yatay yer değiştirme değeri daha düşük elde edilmiştir. Her iki doğrultudaki ivme kaydının binalara etki ettirildiği durumlar karşılaştırıldığında; K-G yönlü durumda elde edilen yer değiştirme değerleri D-B doğrultusunda elde edilen yer değiştirme değerlerine göre %50 oranında azalmıştır. Binaya etkileyen deprem kuvvet yönünün deprem bölgelerinde inşa edilecek yapılar için “depreme dayanıklılık modellemelerinde” önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanı, D-B doğrultulu bir fay sistemi içerisinde yer almaktadır. Dolayısıyla, çalışmadan elde edilen dinamik analizler incelendiğinde, D-B uzantılı binaların diğer yönlerde yer alan aynı özelliklere sahip binalara göre daha az hasar aldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Sonlu elemanlar yöntemi, Yapı-temel-zemin davranışı, 1999 Düzce depremi*

## AN INVESTIGATION OF DYNAMIC BEHAVIOUR OF STRUCTURE-GROUP WITH SHALLOW FOUNDATIONS

**Ayşe Bengü SÜN BÜL** ([absunbul@beun.edu.tr](mailto:absunbul@beun.edu.tr))

*Bülent Ecevit Univesity, Civil Engineering Department*

**Zeki GÜNDÜZ** ([gunduz@sakarya.edu.tr](mailto:gunduz@sakarya.edu.tr))

*Sakarya University, Civil Engineering Department*

**Hüseyin MUNGAN** ([hmungan2005@gmail.com](mailto:hmungan2005@gmail.com))

*Bülent Ecevit Univesity, Zonguldak Vocational School  
Construction Program*

### ABSTRACT

In this study, dynamic behaviours of a structure group with shallow foundations have been investigated using 2D finite element methods. In the first stage, the structures were subjected to an earthquake in E-W direction (x-x); in the second stage, the structures were subjected to the same earthquake in N-S direction (y-y). Considering different number of floors in the structure group, the maximum displacement value in the N-S direction was 0.55 m, obtained at the top of the 5-storey building. In a building with a same floor number, when the foundation width in increased by two times, lower horizontal displacement values are obtained. When the conditions are compared in which the structure group is subjected to earthquake in both directions; the displacement values obtained in the N-S direction are reduced by 50% compared to the displacement values obtained in the E-W direction. The direction of an earthquake is one of an important parameters in structural design in the earthquake vulnerable regions. The study area is located within a fault zone of a E-W slip direction. Therefore, dynamic analysis shows that the buildings with E-W directions were less vulnerable than buildings with the same structural characteristics in N-S directions.

**Keywords:** *Finite element method, Structure-foundation-soil behaviour, 1999 Düzce earthquake*

## 1. GİRİŞ

Türkiye bina deprem yönetmeliği (2007)'de deprem bölgelerinde yapılacak binaların zemin ve yapı karakterlerine göre nasıl tasarlanacağı ve yapıların herhangi bir deprem yükü altında nasıl bir davranışa maruz kalacağı ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır (TBDY, 2007). Bu yönetmelik kapsamında binaların taşıyıcı sistemlerinin hesabı, depremlerin sadece yatay etkisi kullanılarak oluşturulur. Ancak gerçekte depremin yatay etkisi yanında düşey etkisinin de yapılarda hasara neden olduğu yapılan çalışmalarla bilinmektedir (Mitchell vd., 1998). Bir bölgede meydana gelen bir deprem, o bölgede yer alan yapılarda farklı etkiler oluşturabilir. Depremde oluşan kuvvetli yer hareketinin yapı hasarları üzerindeki etkisinin yerel zemin şartlarına bağlı olarak değiştiği, Seed (1969) ve Seed vd. (1971) tarafından rapor edilmiştir.

Günümüz geoteknik modelleme çalışmalarında hem statik hem dinamik durum için zemin ve yapı birlikte analiz edilerek, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda daha doğru hesaplar yapılması sağlanmaktadır. Hem statik hem de dinamik yükler altında zeminlerin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ve deformasyon özellikleri sonlu eleman modellerinde analiz edilebilir (Ishihara, 1996). Laman vd. (2009) yumuşak kil zeminler üzerine inşa edilen yüzeysel temeller altına yerleştirilen farklı kalınlıktaki stabilize granüler dolgu tabakasının taşıma kapasitesine etki eden parametreleri araştırmak için sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal analizler yapmıştır.

Stewart vd. (1999) deprem anında üst yapı-temel-zemin ortamı arasındaki dinamik etkileşim konusunda detaylı bir literatür çalışması hazırlayarak mevcutta zemin-yapı etkileşimi problemleri ve analiz yöntemlerini belirlemiş ve sismik yapı davranışına etki eden içsel zemin yapı etkileşimi parametrelerini değerlendirmiştir. Knappett vd. (2006) deprem yükleri altında yüzeysel temellerin

göçme mekanizmasını araştırmıştır. 1999  $M_w$  7.4 Marmara depremi, Adapazarı ve çevresinde büyük hasarlara neden olmuştur. Bu depremde hasar tespit çalışmaları; bu bölgede zemin koşullarına bağlı olarak farklı oturmalar, yerinden çıkma veya zemine batma gibi yapısal hasarlar oluştuğunu göstermiştir (Erken, 2001; Komazawa vd., 2002). Bu tip hasarların gözlemlendiği yapılar genellikle temelleri 1-1.5 m. derinlikte ölçülen yüzeysel temelli yapılardır. Deprem anında oluşabilecek bu tür yapısal davranışlar ve davranışlara sebep olan etkenlerin tespiti ve gerçekçi parametreler yardımıyla modellenmesi yapı-temel-zemin davranışının doğru analizini mümkün kılar. Gerçekçi parametrelerle oluşturulan yapı-zemin sayısal modeli gerçek deprem kaydında analiz edilerek binanın dinamik davranışı belirlenir ve yapılarda meydana gelebilecek dinamik hareketler simüle edilebilir.

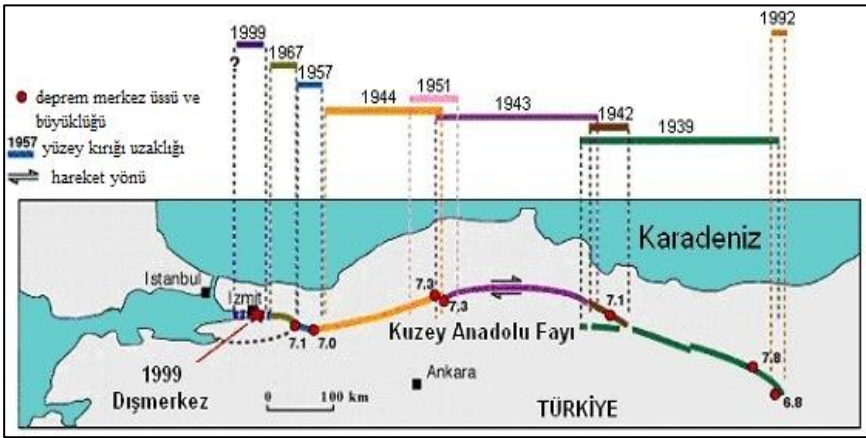
Adapazarı ili 22 mm/yıl hareketi ile Türkiye'nin en aktif fay zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) batı kesiminde yer alır (Reilinger vd., 2006). Bölgenin depremselliği ile ilgili Stein vd. (1997) KAFZ üzerinde  $M>6.7$  olan on adet depremin birbirleri ile etkileşimlerini Coulomb gerilme analizi ile modelleyerek olasılık hesabı yapmıştır. Bu hesaba göre KAFZ üzerinde depremler çok kısa aralıklarla oluşmakta ve birbirlerini tetiklemektedir. Bunun yanında bu zonun batı bölümünde herhangi bir  $M>6.7$  depremin meydana gelme olasılığı 30 yıl için %12 olarak hesap edilmiştir. Bu çalışma yayınlandıktan kısa bir süre sonra Marmara bölgesini etkileyen 1999 depremi meydana gelmiştir. Stein vd. (1992)'de sunulan olasılık hesapları göz önüne alındığında, Adapazarı ve çevresinde bir deprem oluşma ihtimali zaman ile artmaktadır. Günümüzde ise deprem olasılık hesaplamaları Marmara bölgesinin geneli üzerine yoğunlaşmıştır (Murru vd., 2016). Bu bölgede yeni yapılacak yapılar ve depremi orta hasar ile atlatıp, onarım-güçlendirme işlemleri sonrası kullanımına devam edilen mevcut

yapılar için, olası büyüklükteki deprem davranışının modellenmesi önemlidir.

Bu çalışma kapsamında; Adapazarı ve çevresi zemin profilini temsil eden bir mahalle inceleme alanı olarak kabul edilerek, 1999 depremi ardından hasar görmüş yüzeysel temelli bir yapı grubu sonlu elemanlara dayalı programda 2 boyutta modellenmiş ve gerçek deprem sırasındaki davranışı analiz edilmiştir. Gerçek durum ve model simülasyonu sonuçları karşılaştırılarak yapı davranışına etki eden unsurlar tartışılmıştır.

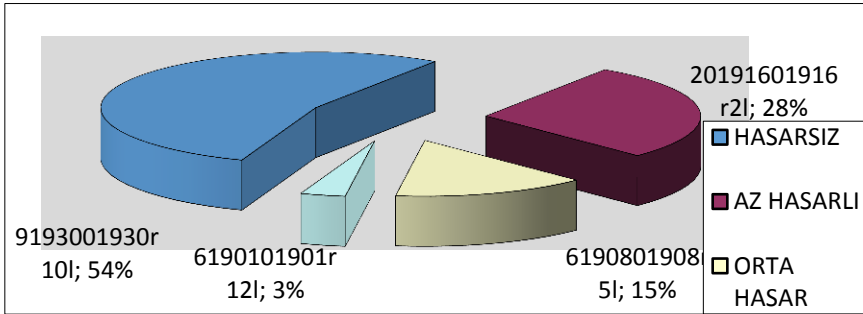
## 2. İNCELEME ALANI DEPREMSELLİK DURUMU

Türkiye deprem bölgeleri haritasında Adapazarı ve çevresi 1. derece deprem kuşağında yer almaktadır (DAD, 2018). Sağ-yanal doğrultu atımlı fay özelliği gösteren KAFZ, doğuda Varto yakınlarından başlayarak batıda Saroz Körfezine kadar uzanmakta olup, inceleme alanı bu zonun KB kısmında yer almaktadır (Reilinger vd., 2011). İlgili segmentler ve bu segmentler üzerinde meydana gelen yıkıcı depremler Şekil 1’de şematik olarak verilmiştir (www.usgs.gov).



Şekil 1. Kuzey Anadolu Fayı Boyunca Meydana Gelen Büyük Depremler (www.usgs.gov).

KAF üzerinde, 1939 yılından bu yana batıya doğru göç eden 6 adet büyük deprem kaydedilmiştir. Bu göç sonucunda KAF Zonu'nda toplam 900 km'lik bir kısım kırılmış ve bu kırıklar boyunca 7.5 m'ye varan yerdeğiştirmeler/atımlar gözlenmiştir (Hearn vd. 2002). Bu fay hattı üzerinde yer alan Adapazarı ve çevresi ile ilgili deprem kayıtları incelendiğinde bölgenin oldukça yüksek bir sismisiteye sahip olduğu görülmektedir (Komazawa vd. 2002). Bu bölgede son yıllarda yaşanan en büyük ölçekli depremler, 1999 yılında meydana gelen  $M_w$  7.4 Kocaeli ve  $M_w$  7.1 Düzce depremleridir (Hearn vd. 2002). Bu depremlerin kaydedilen ortalama zemin ivme değeri 0.41 g'dir (Anderson vd. 2000; Bray vd. 2001). Özellikle  $M_w$  7.4 Kocaeli depreminin ardından yapılan incelemelerde, şehirde bulunan 4-6 katlı binalarda hasar oranının; daha az katlı binalara oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Sünbül vd. 2007). Elde edilen sonuçlara göre, tek katlı yapıların depremden hasar görme oranı % 42 iken; 6 katlı yapılar için bu oran (depremden farklı oranda hasar görme oranı) %91 olarak hesaplanmıştır. Sünbül vd. (2007) çalışmasında sunulan mahalle bazlı yapısal hasar durumları verileri değerlendirildiğinde; Adapazarı ve çevresinde hasar gören bina oranı %46 olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** 1999 Marmara Depreminden Sonra Elde Edilen Bina Hasar Durumu (Sünbül vd., 2007).

### 3. MODELLEME

#### 3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi günümüzde birçok geoteknik problemin çözümünde kullanılan bir sayısal analiz yöntemidir. Bu yöntem, mühendisliğin çok geniş bir alanında sınır değer problemlerine uygulanabilmektedir (katı cisim mekaniği, termoelastite, termodinamik, akışkanlar mekaniği, magnetizma vb). Karmaşık sınır koşulları ve non-linear malzeme davranışını modellemeye uygun ve homojen olmayan malzemeler gibi zor ve karmaşık problemlerin çözümünde sistematik bir programlama şeklidir. Bu çalışmada da deprem anında oluşan zamana bağlı yerdeğiştirme değerleri, Plaxis 2D programı dinamik modülü yardımıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Dinamik etkiler altındaki bir kütlenin zamana bağlı yer değıştirme değerleri gösteren denklem en basit haliyle:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F\}_{(t)} \quad (1)$$

verilmiştir. Burada; [M] kütle matrisi, [C] sönüm matrisi, [K] rijitlik matrisi, {U} yerdeğiştirme vektörü, { $\dot{U}$ } hız vektörü, { $\ddot{U}$ } ivme vektörü ve {F} dinamik kuvvet vektörü olarak adlandırılır. Sistemde Rayleigh sönümü kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, ([C]) sönüm matrisi kütle matrisi ([M]) ve rijitlik matrisi ([K])'nin lineer ilişkisinden hesap edilir.  $\alpha R_M$  ve  $\beta R_K$  Rayleigh sönüm katsayılarıdır.

$$C = \alpha R_M + \beta R_K \quad (2)$$

Zeminde sönüm; kayma şekil değıştirme davranışı genlik ile orantılı olarak artış göstermekte ancak sayısal hesaplarda göz ardı

edilebileceği belirtilmektedir. Bu çalışmanın ilk aşamasında öngörülen modelde bina tepe noktasına ait yatay yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarına göre analiz edilmiş ve kütle katılım katsayısının ( $\alpha$ ) etkisi ve rijitlik katılım katsayısının ( $\beta$ ) değişiminin sonuçlara etkisi değerlendirilmiştir. Denklem (1) nümerik olarak Newmark integrali ile programda çözümlenirse;

$$[c_0M+c_1C+K]\Delta u= F_{ext}^{t+\Delta t}+M(c_2\ddot{u}+c_3\dot{u})+C(c_4\dot{u}+c_5u)- F_{int}^t \quad (3)$$

Burada  $c_0$  dan  $c_5$ 'e kadar olan birim Newmark katsayılarını göstermektedir, Bunlar Newmark parametreleri ve zaman adımı fonksiyonlarıdır (Galavi vd., 2013).

Deprem bölgelerinde inşa edilmiş ve edilecek olan yapıların deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceğinin tahmin edilebilmesi için ilk olarak yapının temel sisteminin ve sistemin bir parçası olan temel zeminlerinin deprem yükleri altında nasıl davranacağına bilinmesi gerekir. Boulanger ve Idriss (2004) tarafından kaba ve ince daneli zeminlerin dinamik davranışının önceden değerlendirilmesi için yapılan çalışmada; deprem süresince ve sonrasında stabilitenin bozulmasına neden olabilecek aşırı deformasyonlar veya mukavemet kayıplarının oluşabileceği zeminler belirlenmeye çalışılmıştır. Deprem sırasında oluşan deformasyonlar, taşıma gücü kayıpları ve göçme şekillerinin kum ve kil türü zeminlerde farklı özellikte davranış sergiledikleri belirtilmiştir. Bu çalışmaya göre zeminler kum benzeri (sand-like) ve kil benzeri (clay-like) davranışlar şeklinde iki grupta değerlendirilmiştir.

Yapılar kuvvetli yer hareketi etkisinde depremin şiddetine, geliş yönüne, fay hattının atım şekline ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak birçok farklı şekilde oturabilirler. Bu etkenler doğrultusunda yapılarda tekdüze, doğrusal ve düzensiz oturmalar görülebilir.. Yapıların temel oturmasına tepkisi oldukça karmaşık olup, tam bir

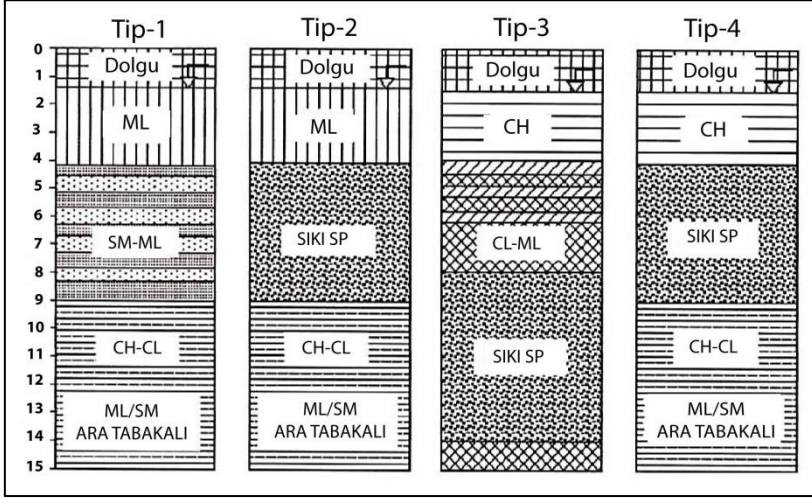


analiz için birçok faktörün göz önünde tutulmasını gerektirir (Coduto, 1998). Bu çalışmada 2B deformasyon analizi ve stabilite analizi için Plaxis 2D programı kullanılmıştır. Bu bağlamda modelleme çalışması yapılırken ortamın zemin yapısı, mevcut yük durumu, sınır şartları ve zemin ortamı 2 boyutlu üçgen elemanlar ile tanımlanmıştır. Kullanılan programda farklı zemin davranışlarını modellemek için çeşitli zemin modelleri mevcuttur. Basit lineer elastik-tam plastik model olarak bilinen Mohr-Coulomb malzeme modeli modelde plastik davranışı modellemek için üç zemin parametresi  $c'$  (kohezyon),  $\phi'$  (içsel sürtünme açısı),  $\psi$  (genleşme açısı) ve elastik davranışı modellemek için ise  $E'$  (elastisite modülü) ve  $\nu'$  (Poisson oranı) kullanılmaktadır. Doğrusal elastik-ideal plastik malzeme modellerinde analizlerde zeminin, gerilme deformasyon davranışını hiperbol olarak tanımlayıp, 3 farklı elastisite modülünü esas aldığından dolayı ve zeminin elastoplastik özelliğini daha iyi ifade etmesinden ötürü pekleşen zemin modeli, (*Hardening Soil*) esas alınarak tüm analizler drenajlı duruma göre yapılmıştır (Brinkgreve, 2005).

### 3.2 Zemin Geoteknik Özellikleri

Adapazarı merkezine bağlı 24 mahallenin zemin etüt sonuçlarından faydalanarak mahalle bazlı karakteristik zemin profili oluşturulmuştur (Sünbül, 2001). Bu çalışmaya göre, zemin tabakalarının hem yatay hem de düşey yönde çok değişken olduğu görülmüştür. Aynı parsel üzerinde yapılan çoklu sondaj loglarında korelasyon olmadığı saptanmıştır. Zemin yüzeyinden derinlere inildikçe, zemin oluşum mekanizmasının farklı şekillerde çökelmeler ile meydana geldiği görülmüştür. Killerin egemen olduğu ve ince tabakalar halinde siltlerin yer yer ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bazı sondaj loglarında taşınmış kum seviyeli ve kahverengi killer yer alırken bazı bölgelerde iri çakıllar ve ince taneli killere geçişler izlenmektedir. Araştırmada yeraltı su seviyesi 1 m ve 1.5 m arasında bulunmuştur.

Sancio vd. (2002) 1999 Marmara depreminde ciddi zemin problemlerinin gözlemlendiği yerlerde yaptıkları arazi deneyleri (SPT ve CPT deneyleri) sonuçlarını, laboratuvar deneyleri ile korelasyon sağlayarak 4 adet karakteristik zemin profili oluşturmuşlardır (Şekil 3). Bu profiller alüvyon dolgu, silt-kil ve sıkı kum özellikleri göstermektedir.



**Şekil 3.** Karakteristik Zemin Profilleri (Sancio vd., 2002).

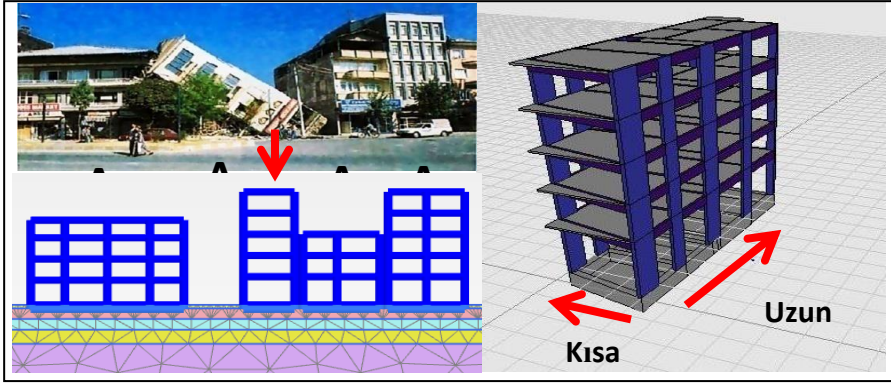
Çalışma alanı için daha önce Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılmış sondaj verilerine göre zeminde ilk 1-1.5 arasında alüvyon dolgu, ardından kumlu siltli, siltli kil ve siltli kum geçişleri (ardalanma halinde) görülmektedir (DSİ, 1998).

Sayısal analizlerde kullanılmak üzere inceleme alanı zemin özellikleri değerlendirildiğinde; 4-6 katlı yapılar derinliği 1.5 m'den başlayan ve 4 m'ye uzanan, sıvılaşılabilen plastik siltler ve kumlu siltlerin üzerinde yer almaktadır. Bu zeminlerin ince dane yüzde içeriği %52 ila %97 arasındadır. Likit limit değerleri %25 ila %35 arasında olup, bu zeminlerde su muhtevası 0.9  $W_L$ 'den büyüktür. Yer altı su seviyesinin (YASS) birçok yapının temel gömme derinliğine eşit, yüzeyden 1-1.5 m derindedir.

### **3.3. Yapı-Zemin Etkileşim Sisteminin Sonlu Eleman Modeli**

Çalışmada alanı Adapazarı ili Karaağaç Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır ve bölgeye ait zemin profilleri Sünbül (2010)'dan alınmıştır. İnceleme alanında 1999 Marmara depreminde farklı oranlarda hasar görmüş yapı grubundan Şekil 4' te sunulan A2 nolu yapı, deprem sırasında yerinden çıkarak yan yatmış (devrilmiş), A1 nolu yapıda 15-25 cm arasında düşey yerdeğiştirme gözlenmiş, A3 ve A4 nolu yapı ise depremde hasar görmemiştir. Aynı zemin profilinde yer alan farklı temel genişliği ve kat adedine sahip yapılar depremde farklı performans göstermişlerdir. Bu yapı grubunun deprem sırasında gösterdiği performansının değerlendirilmesi amacıyla yapı ve zemin, sonlu elemanlara dayalı program ile nümerik modellenmiş ve yapı grubunun deprem sırasındaki davranışlarına etki eden parametreler belirlenmiştir. Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken model boyutu model genişliğinin 2 katı kadar büyütülerek modele yansıtılmıştır (Brinkgreve 2005).

Sonlu eleman modeli 170 m uzunlukta, 40 m derinlikte ve 6 adet farklı zemin tabakasından oluşmaktadır. YASS hesaba katılmış modellerde derinlik yüzeyden -2.00 m olarak modele yansıtılmıştır. Yapı 15 düğüm noktalı üçgensel elemanlardan oluşturulmuştur. Statik durumda; model sınır koşulları modelin sağ ve sol kenarındakiler düşey yönde serbest, model tabanında ise sabit yani yatay ve düşey yönde hareketi engellenmiş olarak alınmıştır. Dinamik analizlerde; standart deprem sınır şartlarını kabul eden kuvvetli yer hareketi ivme zaman- sınır koşulu olarak model tabanından etki ettirilmiştir. Yapılan tüm analizlerde sonlu elemanlar ağı, iyi sıklıktaki “fine-mesh” ağı seçilerek yapılmıştır.



**Şekil 4.** Yapı Grubunun 1999 Kocaeli Depremi Sonrası Durumu ve Sonlu Eleman Modeli.

Sonlu eleman çözümünde gerilmelerin yüksek olduğu yerlerde elemanların sıkılaştırılması ile sonuçlar daha gerçekçi olarak bulunmakta, ağır kenar ve köşelerine doğru ise elemanların büyütülmesi ile büyük hacimli problemlerde eleman sayısının gereğinden fazla olması önlenmekte ve çözümde zamandan tasarruf sağlanmaktadır (Potts ve Zdravkovic, 2001).

Programda CL-ML, SM gibi zeminlerin davranışını modelleyen ve düzlem deformasyon şartlarının geçerli olduğunu kabul eden hardening soil model (pekleşen zemin modeli) kullanılmıştır. Bu malzeme modeli, sonlu elemanlar modelinde elastisite modülleri ( $E_{50}^{ref}$ ,  $E_{oed}^{ref}$  ve  $E_{ur}^{ref}$ ), Poisson oranı ( $\nu$ ), zeminin içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), kohezyon ( $c$ ) ve genişleme açısına ( $\psi$ ) ihtiyaç duyar, bu parametreler bölgeye ait zemin etüt raporlarından elde edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Analizlerde Model Oluşturulurken Kullanılan Zemin Parametreleri.

Derinlik (m)	Malzeme Türü	Kohezyon $c'$ kN/m <sup>2</sup>	İçsel Sürtünme Açısı $\phi^\circ$	$E_{50}^{ref}$ kN/m <sup>2</sup>	$E_{oed}^{ref}$ kN/m <sup>2</sup>	$E_{ur}^{ref}$ kN/m <sup>2</sup>	$\rho_{doğun}$ kN/m <sup>3</sup>	Poisson Oranı $\nu$
0-0.5	Dolgu	1	26	8000	8000	24000	16	0.3
0.5-2.0	CL	40	15	20000	20000	60000	18	0.33
2.0-3.5	ML	20	30	8000	8000	24000	18	0.35
3.5-5.5	SW-SM	1	33	12000	12000	36000	18	0.3
5.5-15.0	SM	1	35	14000	14000	42000	18	0.3
15.0-40.0	Derin Kum	1	40	62000	62000	186000	20	0.3

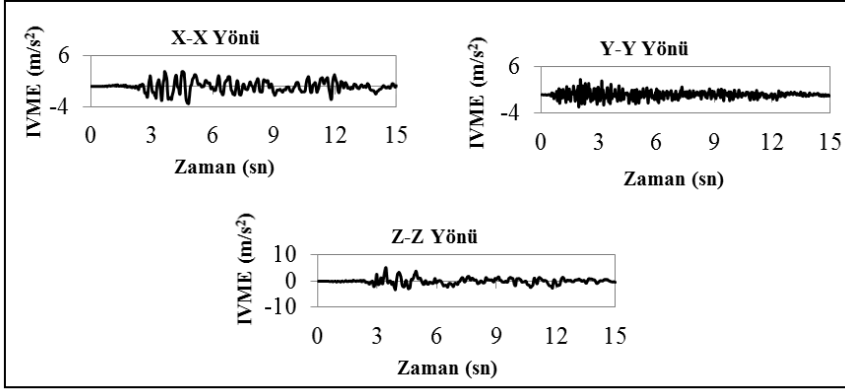
Analizlerde, yapı oluşturulurken yapı zemin ve kaya içerisinde bulunan büyük beton yapıların modellenmesinde kullanılan Lineer Elastik malzeme modeli kullanılmıştır. Bu işlem için ihtiyaç duyulan iki temel rijitlik parametreleri; elastisite modülü (E) ve Poisson oranı ( $\nu$ ) elde edilmiştir (Sünbül, 2010) (Tablo 2).

**Tablo 2.** Çalışmada Yapılan Analizde Model Oluşturulurken Kullanılan Yapı Parametreleri.

<b>Malzeme modeli (Plate eleman)</b>	Lineer Elastik
<b>EA (kN/m)</b>	$5 \cdot 10^6$
<b>EI (kNm<sup>2</sup>/m)</b>	9000
<b>Ağırlık (kN/m/m)</b>	5
<b>Sönüm Oranı (Rayleigh <math>\alpha</math>; <math>\beta</math>)</b>	0.2320; 0.008
<b>Malzeme modeli (Basement eleman)</b>	Lineer Elastik
<b>EA (kN/m)</b>	$10 \cdot 10^6$
<b>EI (kNm<sup>2</sup>/m)</b>	150000
<b>Ağırlık (kN/m/m)</b>	10
<b>Sönüm Oranı (Rayleigh <math>\alpha</math>; <math>\beta</math>)</b>	0.2320; 0.008

### 3.4. Sismik Analizler

Sismik analizlerde Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) kuvvetli yer hareketi veri bankasında bulunan 1999  $M_w$  7.1 Düzce deprem kaydı kullanılmıştır (Şekil 5). Belirli bir bölgedeki tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek kuvvetli yer hareketi kaydının seçilebilmesi için kullanılan kriterler jeolojik ve sismolojik şartları içermelidir. Bunlar; depremin büyüklüğü, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan mesafesi, yırtılma yönü, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği olarak sayılabilir (Kramer, 1996). Dinamik analizlerde bu kaydın maksimum ivme zaman aralığı dikkate alınarak deprem için 10 saniyelik ivme zaman aralığı hesaplara dahil edilmiştir.



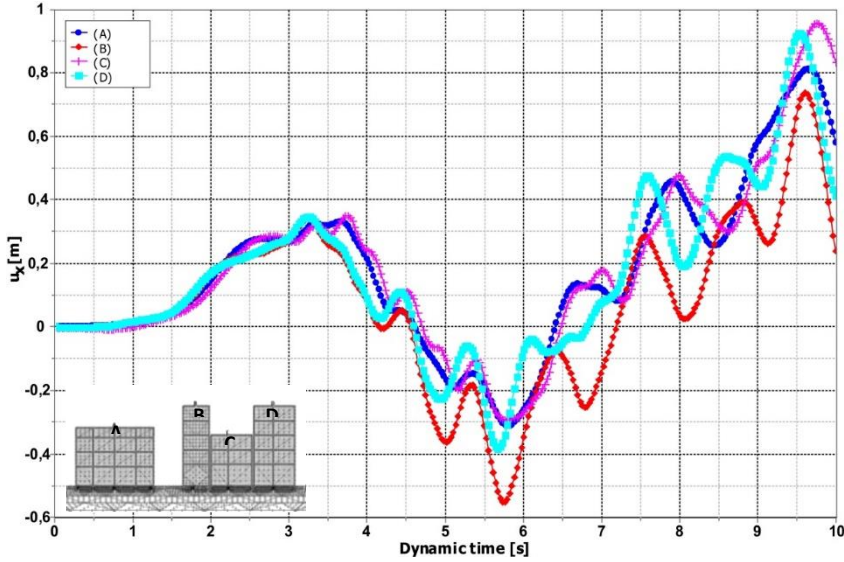
Şekil 5. 1999  $M_w$  7.1 Düzce Depremi İvme Zaman Grafiği.

### 3. BULGULAR

Çalışma kapsamında yapılan sayısal model analizler için; yapı grubu, temel gömme derinliği 60 cm alınarak analiz edilmiştir. Yapı üst noktalarında referans noktalar seçilerek (A, B, C ve D) bu noktalarda yatay yerdeğiştirme değişimi incelenmiştir. Kuvvetli yer hareketi sismik dalgalar şeklinde belirli genlik değerlerinde bina temelinde ulaştığında bir kısmı yansıma şeklinde zemine girerken, bir kısmı da binanın alt noktalarından binanın tepe noktalarına iletilir (Sünbül, 2010).

Analizler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada deprem ivme kaydı binalara D-B yönlü ( $x-x$  yönlü) uygulanmıştır. Farklı kat yüksekliklerine sahip yapı grubu kendi içinde değerlendirilmiştir. Deprem kaydı üzerinde maksimum ivmenin gerçekleştiği zaman aralığında elde edilen yerdeğiştirme değeri kat yüksekliğinden bağımsız olduğu gözlenmiştir (Şekil 6). Kaydın 5. sn sonra en büyük yerdeğiştirme B noktasında 0.55 m elde edilmiştir. Farklı temel genişliğine sahip benzer kat adetli binalar karşılaştırıldığında (B ve D noktaları) D noktasında elde edilen yatay yer değıştirme değeri, B noktasında elde edilen yatay yer değıştirme değeriinden daha düşüktür. Bu farklılık D noktasına

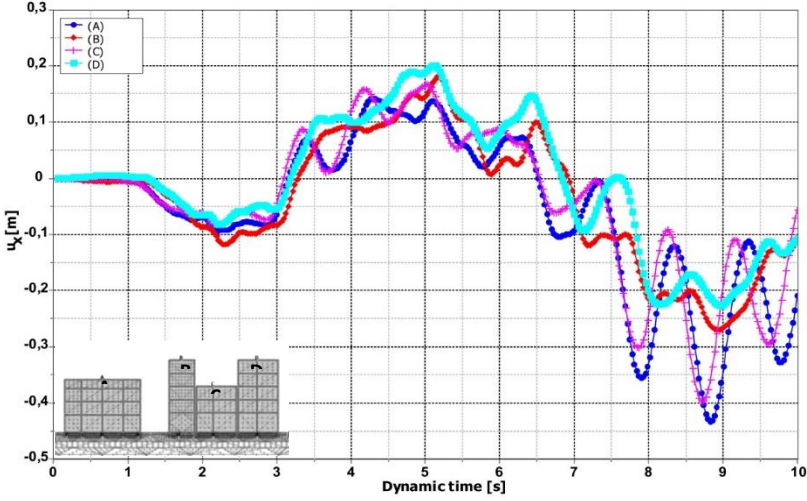
sahip binanın temel genişliğinin B noktasına ait binaya göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda A ve C noktalarında birbirine yakın yerdeğiştirme elde edilmiştir.



**Şekil 6.** Doğu-Batı (D-B) Doğrultulu Dinamik Analizlerde Elde Edilen Yerdeğiştirme Zaman Grafiği.

İkinci aşamada deprem ivme kaydı binalara K-G yönlü (y-y yönlü) uygulanmıştır. Farklı kat yüksekliklerine sahip yapı grubu kendi içinde değerlendirilmiştir. Deprem kaydı üzerinde maksimum ivmenin gerçekleştiği zaman aralığında elde edilen yerdeğiştirme değeri kat yüksekliğinden bağımsız olduğu gözlenmiştir (Şekil 7). Kaydın 5. sn sonra en büyük yerdeğiştirme D noktasında 0.21 m elde edilmiştir. Her iki doğrultudaki ivme kaydının binalara etki ettirildiği durumlar karşılaştırıldığında; K-G yönlü durumda elde edilen yer değiştirme değerleri D-B doğrultusunda elde edilen yer değiştirme değerlerine göre %50 oranında azalmıştır.





**Şekil 7.** Kuzey-Güney (K-G) Doğrultulu Dinamik Analizlerde Elde Edilen Yerdeğiştirme Zaman Grafiği.

Deprem sonrası yerinde yapılan incelemeler sonucunda meydana gelen hasarın başlıca nedenlerinden biri olarak zeminin problemliliği gösterilmiştir (Bray vd., 2001). Adapazarı ili ve çevresi zemin koşulları elverişsiz ve yer altı su seviyesi (YASS) yüzeye çok yakın olan bir bölgede yer almaktadır. Bölgede bulunan yüksek katlı yapıların temel derinliklerinin yeterince derin tutulmadan inşa edilmiş olması; deprem sırası ve sonrasında farklı oturmaların gelişmesine, binaların devrilmesi ya da yatmasına hatta zemin katların zemine batarak bodrum kat oluşturmasına yol açmıştır. Deprem sonrası gözlenen diğer yapısal hasarlar ise şu şekilde özetlenebilir; Zemine dayalı hasar gözlenmeyen ancak yıkılan ve ağır hasara uğrayan yapılar, taşıyıcı sistemi zayıf ve düzensiz olan yapılardır. Giriş katları işyeri olarak kullanılan yapılarda yumuşak kat ortaya çıkması ve farklı yükseklikte bitişik bulunan yapıların domino etkisi ile birbirlerine zarar vermeleri, Yine evsel atıkların

kanalizasyon ile değil de fosseptik kuyuları ile giderildiği binalarda atık suların zemin yapısını bozarak binalara zarar verdiği gözlenmiştir (Sünbül,2004).

İnceleme alanı depremsellik yönünden aktif olan Kuzey Anadolu Fay (KAF) Hattı üzerinde yer almaktadır. Deprem bölgelerinde inşa edilecek yapılar için göz önüne alınması gereken bir parametre de, meydana gelebilecek bir depremin inşa edilecek yapıya hangi yönde etki edeceğidir. İnceleme alanının da içinde yer aldığı KAF sağ-yanal doğrultu atımlı özelliktedir. Adapazarı ve çevresinde yapılan hasar tespit çalışmalarında doğu-batı uzantılı binaların diğer yönlerde yer alan aynı özelliklere sahip binalara göre daha az hasar aldığı belirlenmiştir (Sünbül, 2010). İncelenen yapı grubunda binanın dinamik yükler altında maruz kaldığı yön de dikkate alındığında ortaya çıkacak etkinin belirlenmesi amacıyla binaya deprem farklı iki doğrultudan (KG ve DB yönlü) etki ettirilmiştir.

1999  $M_w$  7.4 Marmara depreminden sonra Sakarya ilinde yerel yönetim tarafından yeni yapılacak binalar için kat sınırlandırılması getirilmiş ve bunun sonucunda hali hazırdaki yapıların onarım güçlendirilmesi sırasında bu sınırlama uygulanmıştır (ABB, 2000). Binanın kat yükseklikleri göz önünde alındığında; sabit temel derinliğinde bina tepe noktasında oluşan yatay yerdeğiştirme değeri yapının daha az katlı olması durumunda azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen deformasyonlar ve yapıda meydana gelen yer değiştirmeler kullanılan modele bağımlıdır. Analizler yapının bulunduğu arazi koşulları ve yapıya etki eden deprem büyüklüğüne göre değişkenlik gösterebilir.

## **5. DEĞERLENDİRME**

Bu çalışmada  $M_w$ :7.1 büyüklüğünde bir depremde yerel zemin koşullarına bağlı ağır hasar görmüş yüzeysel temelli bir yapı grubu sonlu elemanlar yöntemi ile 2 boyutlu modellenerek dinamik

davranışı farklı senaryolar ışığında değerlendirilmiştir. Analizler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada deprem ivme kaydı binalara D-B yönlü ( $x-x$  yönlü), ikinci aşamada ise deprem ivme kaydı binalara K-G yönlü ( $y-y$  yönlü) uygulanmıştır. Farklı kat yüksekliklerine sahip yapı grubu kendi içinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre K-G yönlü analizlerde, ivme kaydının 5. sn sonra en büyük yerdeğiştirme B noktasında 0.55 m elde edilmiştir. Farklı temel genişliğine sahip benzer kat adetli binalar karşılaştırıldığında (B ve D noktaları) D noktasında elde edilen yatay yer değiştirme değeri, B noktasında elde edilen yatay yer değiştirme değerinden daha düşüktür. Depremin K-G yönlü etkimesi değerlendirildiğinde, kaydın 5. sn sonra en büyük yerdeğiştirme D noktasında 0.21 m elde edilmiştir. Her iki doğrultudaki ivme kaydının binalara etki ettirildiği durumlar karşılaştırıldığında; K-G yönlü durumda elde edilen yer değiştirme değerleri D-B doğrultusunda elde edilen yer değiştirme değerlerine göre %50 oranında azalmıştır. Deprem bölgelerinde inşa edilecek yapılar için, bina güvenliğinde önemli bir parametre de binaya etkileyen deprem yönüdür. İnceleme alanı doğu batı doğrultulu bir fay sistemi içerisinde yer almaktadır. Analiz sonuçları incelendiğinde, doğu-batı uzantılı binaların diğer yönlerde yer alan aynı özelliklere sahip binalara göre daha az hasar aldığı gözlenmiştir.

## **6. REFERANSLAR**

Adapazarı Büyükşehir Belediyesi., (2000). Adapazarı Büyükşehir Belediyesine Ait Yıllık Proje Yatırım Ve Faaliyet Raporları 1994-1999 Yılları Arası, *Teknik İşler Daire Başkanlığı, Ar-Ge Birimi, Adapazarı.*

Anderson, J. G., H. Sucuoglu, A., Erberik, T., Yılmaz, E., Inan, E., Durukal, M., Erdik, R., Anooshehpour, J. N.i Brune, and S. D. Ni.

(2000). Implications for Seismic Hazard Analysis, *Earthquake Spectra: December 2000, Vol. 16, No. S1, pp. 113-137.*

Brinkgreve R. B. J., .A.Yamamuro, V.N., Kaliakin. (2005). Selection of Soil Models and Parameters For Geotechnical Engineering Application, *Soil Constitutive Models: Evaluation, Selection, And Calibration. J. American Society Of Civil Engineers,. Vol. 128. Pp. 69–98.*

Bray, J.D, Sancio, R. B., Durgunoğlu, T., Önalp, A., Seed R. B., Stewart, R.B., Youd, T., Baturay, L.B., Çetin, K.Ö., Christensen, C., Karadayılar, T., Emrem, C. (2001). Ground Failure In Adapazarı, *In 15TH ICSMGEG, TC4 Satellite Conference on Lessons Learned From Recent Strong Earthquakes*, Istanbul, Turkey, August 2001, 19-28.

Coduto, D. P. (1998), *Geotechnical Engineering Principles and Practice*, Prentice Hall,

DSİ, İTÜ İnşaat Fakültesi Öğretim Üyeleri. (1998). *İller Bankası I.Bölge Müd. Adapazarı Kanalizasyonu İnşaatı Hakkında Geoteknik Rapor*, İstanbul, Şubat 1991No.4.

Deprem Araştırma Dairesi Web Sitesi (DAD), [www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr), erişim tarihi: 17.12.2016.

Erken, A. (2001). The Role of Geotechnical Factors on Observed Damage in Adapazarı, *Proceedings of The XV ICSMGEG Satellite, Conference on Lessons Learned From Recent Strong Earthquakes*, Istanbul, Turkey, 29-32.

Galavi, V., Petalas, A., Brinkgreve, R.B.J. (2013). Finite Element Modelling Of Seismic Liquefaction In Soils, *Geotechnical Engineering* 44, 2013, 55-64.

Hearn, E.H., R.Bürgmann, & R.E., Reilinger. (2002.) Dynamics of İzmit Earthquake Postseismic Deformation and Loading of The Düzce Earthquake Hypocenter, *Bulletin of The Seismological Society of America* 92, pp.172–193.

Ishihara, K. (1996). *Soil Behaviour In Earthquake Geotechnics, 1<sup>st</sup> Ed.*, Oxford, Claredon Press.

Knappett, J. A., Haigh, S. K., Madabhushi, S. P. G. (2006). Mechanisms of Failure For Shallow Foundations Under Earthquake

Loading, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* Volume 26, Issues 2–4, P. 91-102.

Komazawaa, M., Morikawa, H., Nakamura, K., Akamatsu, J., Nishimura, K., Sawada, S., Erken, A., Önalp., A. (2002). Bedrock Structure in Adapazarı, Turkey-a Possible Cause of Severe Damage by the 1999 Kocaeli Earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 22, Issues 9–12, P, 829-836.

Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering Book*, ISBN-13:978-0133749434.

Laman, M.. (2009). Geogrid Reinforcement On Soft Clay Deposit, *TÜBİTAK Scientific Research Project (no. 106M496)*, Ankara, Turkey, 528 pp.

Mitchell, J. K., Cooke, H. G., and Schaeffer, J. A. (1998). Design Considerations in Ground Improvement For Seismic Risk Mitigation, *Proc., Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III*, Vol. I, *Geotech. Special Pub. No. 75.*, ASCE, Reston, VA, 580- 613.

Murru, M, Akinci, A, Falcone, G, Pucci, S., Console, R., and Parsons, T. (2016). M>7 earthquake rupture forecast and time-dependent probability for the sea of Marmara region, Turkey, *Journal of Geophysical Research*, 121, P:2679-2707.

Potts, D. M. & Zdravkovic, L. (2001). *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Application*, 430 Pages, Thomas Telford, London, UK.

Reilinger, R., et al. (2006). GPS Constraints On Continental Deformation In The Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone And Implications For The Dynamics of Plate Interactions, *J. Geophys. Res.*, 111, B05411, doi: 10.1029/ 2005JB004051.

Sancio, R.B., Bray, J.D, Stewart, R.B., Youd, T.L., Durgunoğlu, T., Önalp, A., Seed, R.B., Christensen, C., Baturay, L.B., Karadayılar, T. (2002). Correlation Between Ground Failure And Soil Conditions in Adapazarı, *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 22,pp. 1093-1102.

Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1971). Simplified Procedure For Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division*, 97(Sm9), pp.1249-1273.

Seed, H. B., (1969). Design Problems in Soil Liquefaction, *Journal of Geotechnical Eng.* 113 (8), 827-845.

Stewart, J. P., Seed, R. B., and Fenves, G. L. (1999). Seismic soil-structure interaction in Buildings. II: Empirical findings, *J. Geotech. & Geoenv. Eng.*, ASCE, 125 (1), pp.38-48.

Stein, R.S., Barka, A.A., and Dieterich, J. H. (1997). Progressive Failure On The North Anatolian Fault Since 1939 By Earthquake Stress Triggering, *Geophysical Journal International*, Volume 128, Issue 3 Pp. 594–604., <http://www.geneseo.edu>, North Anatolian Fault Line Map.

Sünbül, A. B., Dağdeviren, U., Gündüz, Z., Arman, H. (2007). 1999 Marmara Depremi Sonrası Adapazarı Şehir Merkezi Hasar Durumlarının Analizi ve Depremın Ekonomik Boyutu, *Afet Sempozyumu*, Ankara.

Sünbül, A. B. (2001). Adapazarı Zeminlerinde Karakteristik Zemin Profillerinin Çıkarılması, *Lisans Bitirme Ödevi*, Mühendislik Fak. İnşaat Müh. Bölümü, SAÜ, Sakarya.

Sünbül, A. B., Gündüz, Z., Arman, H., (2004) Determination of the liquefaction components and alternative solutions to prevent Liquefaction., in Adapazarı city, Turkey, Int. Science App. Civil2004 Rostov State Uni. of Civil Eng. Rostov. Don. Russia.

Sünbül, A.B. (2010). Yüzeysel Temelli 4-6 Katlı Binaların Deprem Sırasındaki Davranışlarının Parametrik İncelenmesi, *Doktora Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü*, SAÜ, Sakarya.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (2016). *Yayın Tarihi: 00.00.2016*, Resmi Gazete No.:00000.

USGS, United States Geological Survey, [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov), Erişim tarihi: 01/02/2018.