

# Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Statik ve Dinamik Koşullar Altında Gerilme ve Deformasyon Davranışlarının İncelenmesi Örnek Çalışma: Bayraklı-İzmir Bölgesi

## Investigations of the Relationships Between Stress and Deformation Under Static and Dynamic Conditions Using the Finite Element Method A Case Study: Bayraklı-İzmir Region

**Ahmet Turan Arslan**

*DEÜ Mühendislik Fakültesi Jeofizik Müh. Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca, İzmir*

**Mustafa Akgün**

*DEÜ Mühendislik Fakültesi Jeofizik Müh. Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca, İzmir*

**Erhan Tekin**

*Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara,*

**Bayram Kahraman**

*DEÜ Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca, İzmir*

**Murat Nurlu**

*T.C. Başbakanlık Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara*

**Zafer Akçığ**

*DEÜ Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi DAUM, Tınaztepe Kampüsü, Buca, İzmir*

**ÖZET:** Bu çalışmada, İzmir ili Bayraklı körfezinde yer alan alüvyonal zeminde, deprem sırasında oluşabilecek gerilme – makaslama deformasyonlarının bilgisayar destekli sayısal çözümleme yöntemleri ile statik ve dinamik koşullarda analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde Midas GTS 2013 (V 2.1) ve Phase2 (V.8.015) programları kullanılmıştır. Phase2 programı ile yapılan analizlerde kullanılan model, jeofizik çalışmalar (kuyu içi sismik, mikrotremor array ve nokta ölçümleri ile MASW, mikrogravite çalışmaları) ve derin amaçlı yapılmış (250 m) zemin sondajlarının ortak değerlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kademeli olarak arttırılan sismik yüklerin etkisi ile toplam yer değiştirme miktarları ve makaslama deformasyonlarında artışlar gözlenmiştir. Toplam yer değiştirmelerde gözlenen artışlar yüzeye yakın kesimlerde en yüksek değerlerine ulaşırken, bu yer değiştirmelerin kesitte derinliğe bağlı olarak azaldığı gözlenmiştir. Düşey yöndeki gerilmeler incelendiğinde, gerilme artışlarının sismik yüklemelere bağlı olarak yükleme basamakları ile doğru orantılı olarak artış gösterdiği saptanmıştır. Makaslama deformasyonlarındaki dağılım incelendiğinde ise, en yüksek makaslama deformasyonlarının, denizel kökenli alüvyon ile volkanitlerden oluşan birimin dokanağında olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu elemanlar, Makaslama deformasyonu, Yer değiştirme, Sismik hız,

### **ABSTRACT:**

In this study, stress-shearing deformations that would occur during earthquakes on an alluvial soil, which is located within the Bayraklı Bay of Izmir, were analysed by computer-aided numerical methods under both static and dynamic conditions. Midas GTS 2013 (V 2.1) and Phase<sup>2</sup> (V.8.015) softwares were utilized in the conducted analyses. The model, which was used in the analyses made by Phase<sup>2</sup>, was obtained as a consequence of corporate evaluation of geophysical studies (downhole seismic, MASW by microtremor array and point measurements, microgravity studies) and depth-oriented soil drillings (250 m). As a result of analyses, the gradual increase in the seismic loads lead to an increase in total displacements and shear

zones. While the increases in total displacements reach peak values in places close to surface, these displacements seem to decrease with the increasing depth as observed in the cross-section. When the vertical stresses are investigated, the stress increases inflate proportional to the loading steps depending on the seismic loads. When the distribution in shear deformations is investigated, the highest shear zones were determined to be located in the contact of the unit which is composed of thalassic-based alluvion and volcanites.

**Keywords:** The Finite Element, shear deformation, displacement, seismic velocity

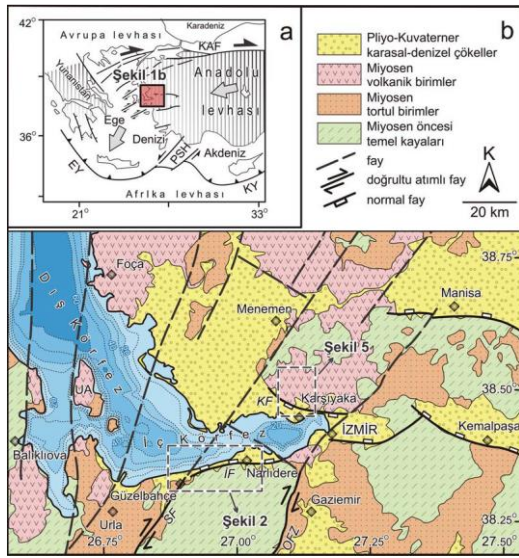
## 1. GİRİŞ

Zeminlerin statik ve dinamik yüklemeler altında diğer inşaat mühendisliği malzemelerinden oldukça farklı davranış gösteren malzemeler olmaları ve zeminlerin geoteknik özelliklerinin bölge içinde farklılıklar göstermesi nedeni ile yerleşime açılacak yeni alanların yerleşime uygunluk bakımından değerlendirilmesi veya yerleşim bölgelerinin depremde nasıl etkileneceğinin tanımlanması ve değerlendirilmesi için, bu bölgelere ait jeolojik tanımlamanın yapılması ve yerel zemin koşullarının ayrıntılı bir şekilde etüd edilmesi gerekmektedir. Yerleşime uygunluk açısından değerlendirilecek bir bölgedeki yerel zemin koşullarının incelenmesindeki amaç, belirli büyüklük, süre ve frekans içeriğine sahip deprem etkilerine karşı yerel zeminin göstereceği dinamik tepkinin belirlenmesidir. Yerel zemin özelliklerinin araştırılmasında her proje sahası için laboratuvar ve araziye dayalı deneysel çalışmalar yapılarak, bu çalışmalar sırasında arazide geçerli olacak yükleme koşullarının dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle depremler sırasında yerel zemin koşullarının oluşan yapısal hasar üzerinde oldukça önemli etkileri olduğu yakın zamanlarda meydana gelmiş şiddetli depremlerde yapılan aletsel ölçümlerle ve gözlenen yapısal hasarlarla belirlenmiştir (Tohumcu v.d., 2003).

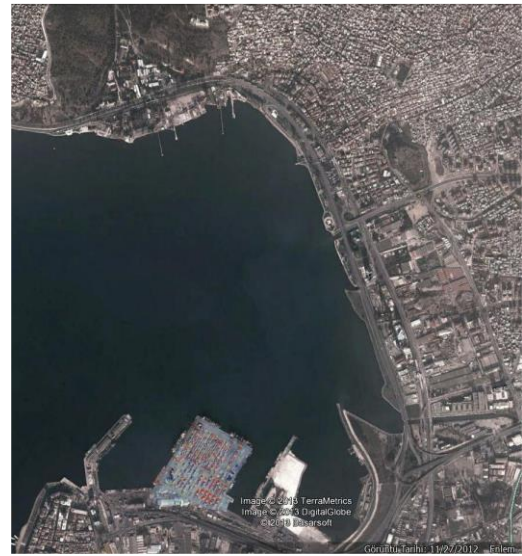
## 2. İZMİR KÖRFEZİ

Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin batısında yer alan İzmir Körfezi sığ sismik kesitlerden elde edilen verilere göre iç ve dış körfez şeklinde iki

morfolojik çukurluk olarak tanımlanır (Aksu vd., 1983, 1987, 1990). Araştırmacılara göre İzmir Körfezi, Yamanlar ve Seferihisar yükseltisi ile sınırlı olan yaklaşık 60 km uzunluğundaki D-B uzanımlı iç körfez ve kuzeydoğuda Foça-Menemen, güneybatıda Karaburun yükseltisi ile sınırlı olan yaklaşık 90 km uzunluğundaki KB-GD uzanımlı dış körfezden oluşur (Sözbilir vd., 2008) (Şekil 1). Bölgedeki güncel morfolojiyi denetleyen ana yapısal hatlar, ilk kez Kaya (1979, 1981, 1982) tarafından K-G /KD GB normal ve oblik faylar ile bu fay blokları arasındaki D-B uzanımlı normal faylar olarak tanımlanmıştır. MTA'nın 2002 yılında hazırladığı 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası incelendiğinde, İzmir Körfezi ve çevresinde birçok doğrultuda yapısal süreksizlikler mevcuttur. Bu süreksizliklerin bir kısmı daha sonra Emre vd. (2005) tarafından yayınlanan MTA raporu ile daha detaylı tanımlanarak aktiviteleri tartışılmıştır Ocakoğlu vd. (2004, 2005 ve 2006). Bu araştırmacılar, İzmir Körfezi ve körfezi çevreleyen deniz alanından saptadıkları 975 m uzunluğundaki tek ve çok kanallı sismik yansıma verilerini bölgenin batimetri, topoğrafya ve sismisite verileri ile ilişkilendirerek bölgedeki su altı faylarını yorumlamışlardır. Araştırmacılar, elde ettikleri sismik profillerde K-G' den KD-GB' ye değişen doğrultularda ters bileşenli doğrultu atımlı faylar ve D-B uzanımlı normal faylar tanımlamıştır. Araştırmacılara göre, körfezin KB-GD gidişli dış körfez kısmı Karaburun ters fayı ile sınırlanırken, D-B uzanan iç körfez kısmını güneyde İzmir normal fayı sınırlıdır (Sözbilir v.d., 2008).



Şekil 1. İzmir Körfezi ve çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Kaya, 1979; MTA, 2002). Körfez içindeki noktalı çizgiler körfezin batimetri değerlerini göstermektedir (Sayın vd., 2006; Sözbilir v.d., 2008).



Şekil 2. İnceleme alanı uydu fotoğrafı

### 3. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

İnceleme alanının dinamik özelliklerini ortaya koymak amacı ile hazırlanan model, jeofizik çalışmalar (kuyu içi sismik, mikrotremor array ve nokta ölçümleri ile MASW ve mikrogravite çalışmaları) ve derin amaçlı yapılmış (250 m) zemin sondajlarının ortak değerlendirilmesi sonucunda hazırlanmış olup, elde edilen verilere göre  $V_{P1}$ : 345 m/sn;  $V_{S1}$ : 200 m/sn hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 45 – 150 m aralığında değişen 1. tabaka;  $V_{P2}$ : 778 m/sn;  $V_{S2}$ : 450 m/sn hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 14 – 37 m aralığında değişen 2. tabaka;  $V_{P3}$ : 475 m/sn;  $V_{S3}$ : 275 m/sn hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 75 – 370 m aralığında değişen 3. tabaka;  $V_{P4}$ : 953 m/sn;  $V_{S4}$ : 550 m/sn hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 60 – 90 m aralığında değişen 4. tabaka;  $V_{P5}$ : 1558 m/sn;  $V_{S5}$ : 900 m/sn hız değerlerine sahip, 5. tabaka;  $V_{P6}$ : 2165 m/sn;  $V_{S6}$ :

1250 m/sn hız değerlerine sahip, 6. tabaka;  $V_{P7}$ : 6055 m/sn;  $V_{S7}$ : 3500 m/sn hız değerlerine sahip, 7. tabaka tespit edilmiştir. Bu hız değerleri ve çalışma alanında daha önceden yapılan jeoteknik amaçlı sondajlar dikkate alınarak 1., 2. ve 3. tabakalar denizel kökenli alüvyonal zemin tabakaları, 4. tabaka volkanitlerden oluşan birim, 5. ve 6. tabakalar içerisinde tektaş konumlu kireçtaşları içeren kumtaşı şeyl ardalanmalı filişten oluşan Bornova karmaşığı, 7. tabaka ise şistler ve kristalize kireçtaşlarından oluşan Menderes masifi olarak değerlendirilmiştir. Sismik hızların ampirik bağıntılarda kullanılması ile bulunan dinamik zemin parametreleri; indeks, mekanik özellikler ve NEHRP'e (National Earthquake Hazard Reduction Programme) göre zemin sınıflama kriterleri toplu olarak Çizelge 1' de; Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre sınıflandırılması ise Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Sismik hızların ampirik bağıntılarda kullanılması ile bulunan dinamik zemin parametreleri indeks ve mekanik özellikler

NEHRP	$V_s$ (m/sn)	$V_p$ (m/sn)	E (MPa)	G (MPa)	$\nu$	C (MPa)	$\phi$ (°)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )
	Ortalama							
E-D	200	345	179	72	0.25	0.025	30	1.64
C	450	778	1041	418		0.15	35	2.03
D	275	475	341	137		0.10	35	1.79
C	550	953	1622	651		0.17	35	2.13
B	900	1558	4945	1984		4	36	2.41
B	1250	2165	10202	4096		8	36	2.62
A	3500	6055	106270	42625		15	40	3.38

NEHRP zemin sınıflama kriterlerine göre, kalınlığı 45 – 150 m aralığında değişen 1. tabaka E-D (kayma dalgası hızı  $V_s < 180$  m/s olan veya

standart penetrasyon değeri  $N < 15$  drenajsız kayma mukavemeti  $S_u < 50$  kPa olan veya 3 m'den kalın yumuşak kil tabakası bulunduran zemin

profilleri, yumuşak kil plastisite indeksi  $PI > 20$ , su muhtevası  $w \geq \%40$  ve drenajsız kayma mukavemeti  $Su < 25$  kPa olan zeminler - kayma dalgası hızı  $180$  m/sn  $< V_s \leq 360$  m/s olan veya standart penetrasyon değeri  $15 < N \leq 50$  olan veya drenajsız kayma mukavemeti  $50$  kPa  $< Su \leq 100$  kPa olan katı zeminler); kalınlığı  $14 - 37$  m aralığında değişen 2. tabaka **C** (Çok sert zeminler ile kayma dalgası hızı  $360$  m/s  $< V_s \leq 760$  m/s olan veya standart penetrasyon değeri  $N > 50$  olan veya drenajsız kayma mukavemeti  $Su > 100$  kPa olan yumuşak kayalar); kalınlığı  $75 - 370$  m aralığında değişen 3. tabaka **D** (Kayma dalgası hızı  $180$  m/sn  $< V_s \leq 360$  m/s olan veya standart penetrasyon değeri  $15 < N \leq 50$  olan veya drenajsız kayma mukavemeti  $50$  kPa  $< Su \leq 100$  kPa olan katı zeminler); kalınlığı  $60 - 90$  m aralığında değişen 4. tabaka **C** (Çok sert zeminler ile kayma dalgası hızı  $360$  m/s  $< V_s \leq 760$  m/s olan

veya standart penetrasyon değeri  $N > 50$  olan veya drenajsız kayma mukavemeti  $Su > 100$  kPa olan yumuşak kayalar); kalınlığı ortalama  $200$  m olarak kabul edilen 5. tabaka ve ortalama kalınlığı  $600$  m olarak kabul edilen 6. tabaka **B** (kayma dalgası hızı  $760$  m/s  $< V_s \leq 1500$  m/s olan kayalar) ve tabaka kalınlığı tam olarak ölçülemeyen 7. tabaka ise **A** (Kayma dalgası hızı  $V_s > 1500$  m/s olan sert kayalar) olarak tanımlanmıştır (Çizelge 1). İnceleme alanındaki zeminler, Türkiye Deprem Yönetmeliği zemin grubu, yerel zemin sınıfları, etkin yer ivmesi katsayısı ve spektrum karakteristik periyotlarına göre; 1. tabaka D grubu,  $Z_4$  sınıfı,  $A_0$ : 0.40,  $T_A$ : 0.20 sn,  $T_B$ : 0.90 sn; 2.,3. ve 4. tabaka, C grubu,  $Z_4$  sınıfı,  $A_0$ : 0.40,  $T_A$ : 0.20 sn,  $T_B$ : 0.90 sn; 5. tabaka B grubu,  $Z_2$  sınıfı,  $A_0$ : 0.40,  $T_A$ : 0.15 sn,  $T_B$ : 0.40 sn; 6. ve 7. tabaka, A grubu,  $Z_1$  sınıfı,  $A_0$ : 0.40,  $T_A$ : 0.10 sn,  $T_B$ : 0.30 sn olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2. İnceleme alanındaki zeminlerin Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre sınıflandırılması

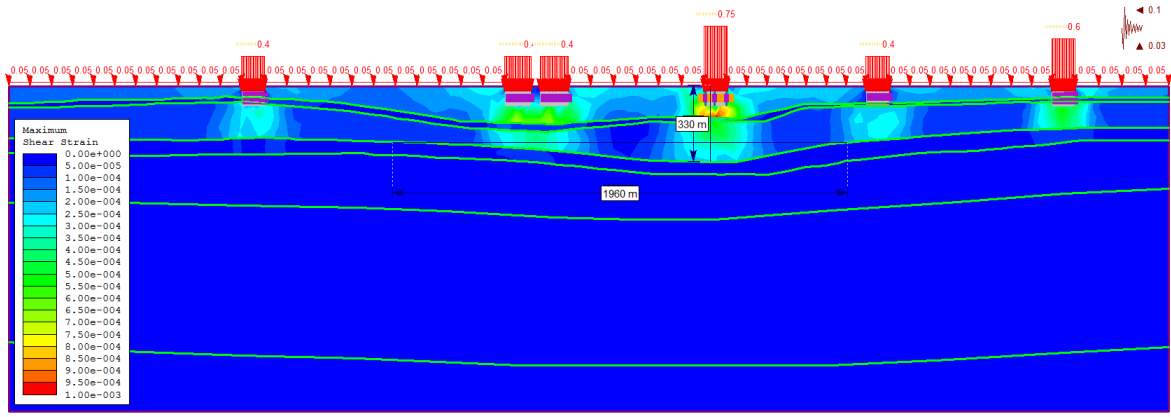
Zemin Grubu	Yerel Zemin Sınıfı	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )	Spektrum Karakteristik Periyotları	
			$T_A$ (sn)	$T_B$ (sn)
D	$Z_4$	0.40	0.20	0.90
C				
C				
C				
B	$Z_2$		0.15	0.40
A	$Z_1$		0.10	0.30
A				

#### 4. SAYISAL MODELLEMELER

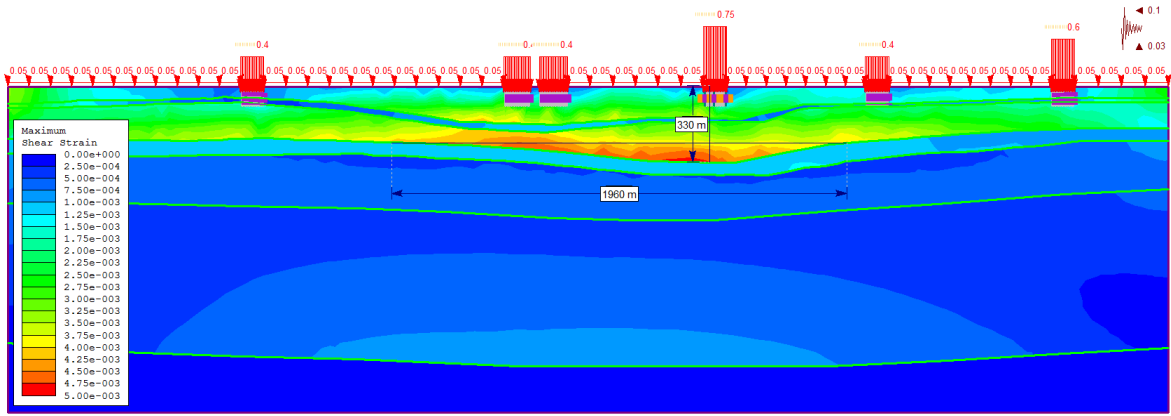
Depremler gibi tekrarlı yüklemeler altında zemin davranışlarının incelenmesinde, zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesi önemli bir konudur. Zeminlerin drenajsız durumda tekrarlı yükler altında mukavemet kaybı, kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşma, kohezyonlu zeminlerde ise aşırı deformasyonlar ve göçme durumlarının incelenmesi gereklidir. Gerilme-şekil değiştirme özellikleri olarak, genellikle dinamik kayma modülü, sönüm oranı değerleri ve bunların birim şekil değiştirmeye bağlı olarak değişimlerinin bulunması; mukavemet özellikleri olarak da göçmeye veya büyük şekil değiştirmelere neden olan kayma gerilmesi genliği ve çevrim sayılarının saptanması gereklidir. Zeminlerin dinamik koşullar altında davranış özellikleri, zeminde oluşan deformasyonların mertebesi ile ilişkilidir. Elastik ve elasto-plastik davranış koşullarındaki şekil değiştirme seviyelerinde, zeminlerin gerilme-şekil değiştirme özellikleri ön plana çıkmaktadır. Daha büyük şekil değiştirme seviyelerinde ise uygulanan yük altında zemindeki mukavemet kayıpları ve plastik şekil değiştirme

özellikleri önem kazanmaktadır. Zeminlerin dinamik davranışının şekil değiştirme aralığına göre farklılık gösterdiği ve dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesinde ve analizinde, olası şekil değiştirme seviyesinin belirleyici bir rol oynadığı bilinmektedir. Şekil değiştirmelerin elastik sınırlar içerisinde kaldığını ifade edebilmek için, teorik olarak yaklaşık  $10^{-5}$ 'den küçük olması gerektiği kabul edilmektedir. Bu şekil değiştirme seviyelerinde ve elastik sınırlar içerisinde, dinamik kayma modülünün maksimum değerinde ve sabit olduğu kabul edilebilir. Şekil değiştirme seviyesinin yaklaşık olarak  $10^{-3}$  civarında olması durumunda, zeminin davranışları elasto-plastik bir hal alır ve dinamik kayma modülü şekil değiştirmeler arttıkça azalır. Kayma şekil değiştirmelerinin  $10^{-2}$  den büyük olması durumunda zemin özellikleri, şekil değiştirmeler arttıkça değişmeye ve kalıcı şekil değiştirmeler oluşmaya başlar. Bu çalışmada, İzmir ili Bayraklı körfezinde yer alan alüvyonal zemininde, deprem sırasında oluşan gerilme - makaslama deformasyonları, gerilme - şekil değiştirme özellikleri, buna bağlı olarak gelişen yatay ve düşey yöndeki yer değiştirmeler bilgisayar





Şekil 4. Makaslama deformasyonlarının non-sismik koşullarda kesit üzerindeki dağılımları

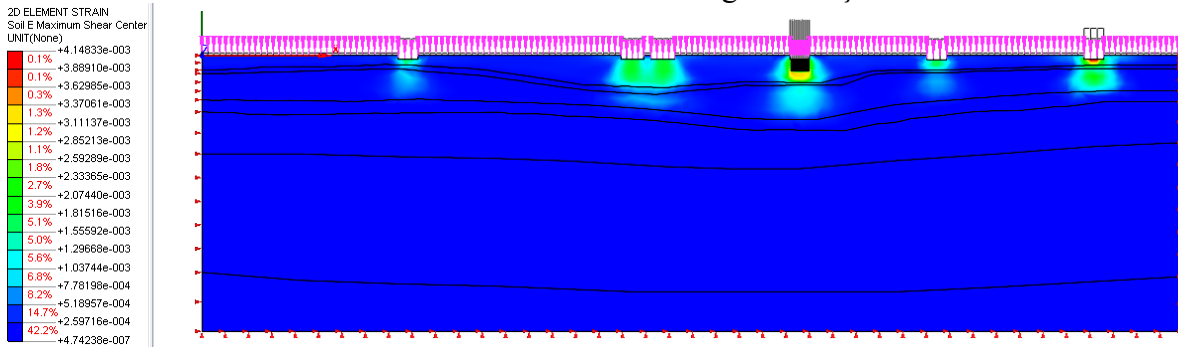


Şekil 5. Makaslama deformasyonlarının sismik koşullarda (0.25 g) kesit üzerindeki dağılımları

## 4.2 Midas GTS Programı Kullanılarak Yapılan Sayısal Modellemeler

1400 x 5000 m geometrik boyutlarında hazırlanan modelde statik ve dinamik koşullar altında zeminde oluşan toplam yer değiştirmeler, makaslama deformasyonlarının dağılımları ile birlikte 1.20 m çapında 60 m derinliğinde modellenen fore kazıkların statik ve dinamik

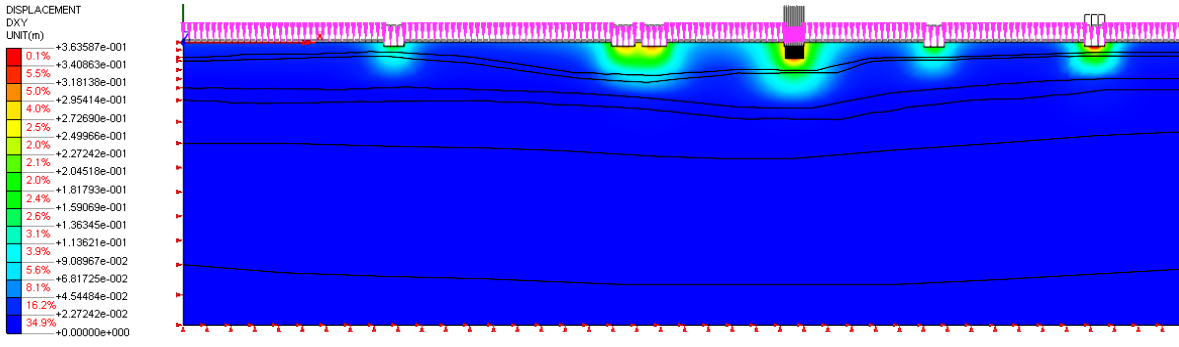
durumdaki davranışları Midas GTS programı ile analiz edilmiştir. Şekil 6’ da görüldüğü gibi, makaslama deformasyonları radye temelin hemen alt kesimlerinde  $2.24 \times 10^{-4}$ ; temel seviyesinden yaklaşık 90 m derinlikte kazık uçlarının alt kesimlerinde bulunan zonda ise  $3.22 \times 10^{-3}$  düzeyinde olacağı ve dolayısı ile bu kesimdeki zeminlerin elasto-plastik davranış göstereceği gözlenmiştir.



Şekil 6. Midas GTS ile yapılan çözümlere göre makaslama deformasyonlarının sismik olmayan koşullarda kesit üzerindeki dağılımları

Midas GTS programı ile yapılan statik analizlerde, kesitte sismik olmayan koşullarda maksimum düşey yer değiştirmelerin kazıkların bulunduğu kesimlerde 36 cm düzeyinde olacağı ve temel

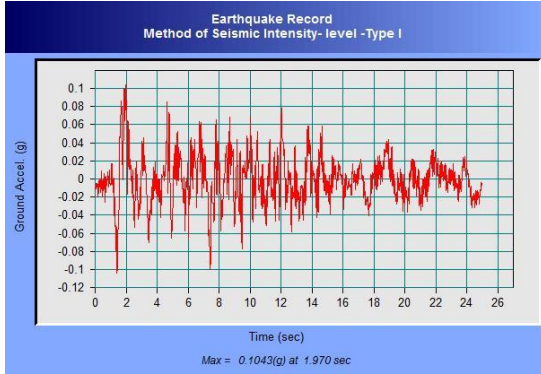
seviyesinden itibaren yaklaşık 300 m lik bir zonda bu yer değiştirmelerin etkili olacağı belirlenmiştir (Şekil 7).



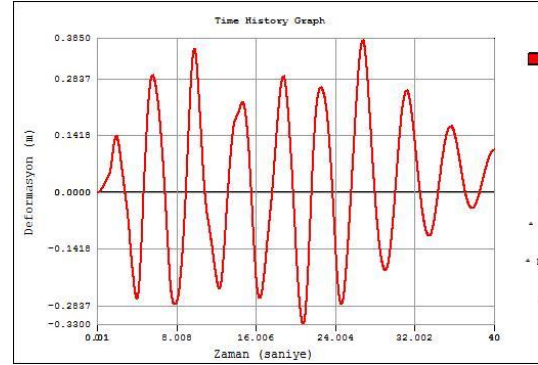
Şekil 7. Midas GTS ile yapılan çözümlere göre makaslama deformasyonlarının sismik olmayan koşullarda kesit üzerindeki dağılımları

Dinamik koşullarda deformasyon davranışını irdelemek amacıyla yapılan analizlerde, girdi parametresi olarak programın veri tabanında bulunan bir depremin ivme zaman kaydı kullanılarak zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Analizlerde depremin maksimum ivmesi 0.1043 g ve süresi 24.96 saniye olarak programa girilmiştir. (Şekil 8). Sonlu elemanlar yönteminde dinamik çözüm yaparken, dinamik dalgaların geri yansıma etkisi yüzünden statik durumdaki sınır koşullar yerine viskoz sınır

koşullar (Lysmer ve Wass, 1972) kullanılmalıdır. Her bir zemin katmanının rijitlik parametreleri değiştiğinden viskoz sınır koşullar, her zemin katmanı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Modellenin frekansını bulmak amacıyla özdeğer analizi yapılmıştır. Özdeğer analizinin sonucunda bulunan frekans değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Dinamik analiz içerisinde ikinci olarak titreşim modlarının etkinliğinin analiz edilmesi için mod kütle katılım oranları hesaplanmıştır (Çizelge 4).



Şekil 8. Hesaplamalarda kullanılan 0.1043g maksimum ivmeye sahip deprem kaydı



Şekil 9. Kazıkların sismik etki altında yanal deformasyonları

Çizelge 3. Özdeğer analizi değerleri

MOD	FREKANS (RAD/SN)	FREKANS (DEVİNİM/SN)	PERİYOT (SN)
1	1.311779	0.208776	4.789821
2	1.592294	0.253421	3.945997
3	1.738637	0.276713	3.613856
4	1.91738	0.305161	3.276964
5	2.047401	0.325854	3.068859
6	2.063516	0.328419	3.044893
7	2.136357	0.340012	2.941075
8	2.222362	0.3537	2.827255
9	2.309916	0.367635	2.720093
10	2.365702	0.376513	2.655949
11	2.462234	0.391877	2.551823
12	2.488076	0.39599	2.525319
13	2.505169	0.39871	2.508088

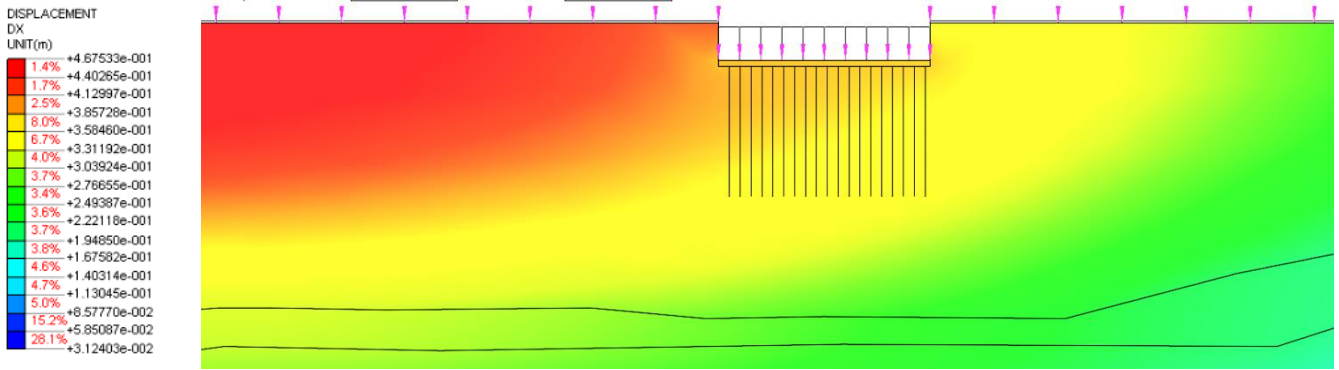
Çizelge 4. Mod kütle katılım oranları

MO D	X YÖNÜNDE		Y YÖNÜNDE	
	Kütle (%)	Toplam (%)	Kütle (%)	Toplam (%)
1	31.11	31.11	0	0
2	3.27	34.39	0.04	0.04
3	11.22	45.61	0.1	0.14
4	1.16	46.77	0	0.15
5	12.74	59.51	1.83	1.98
6	9.83	69.34	2.36	4.34
7	1.68	71.03	3.66	8
8	0.1	71.13	0.08	8.08
9	0.64	71.76	0.83	8.9
10	0.02	71.78	4.34	13.24
11	0.89	72.67	0.27	13.51
12	0.86	73.53	14.8	28.32
13	0.29	73.83	4.73	33.05

14	2.592064	0.41254	2.424008	14	0.59	74.42	0.76	33.81
15	2.650083	0.421774	2.370939	15	0.98	75.4	0.53	34.34
16	2.68986	0.428105	2.335878	16	0.31	75.71	3.44	37.78
17	2.706537	0.430759	2.321486	17	0.02	75.73	1.2	38.98
18	2.777179	0.442002	2.262435	18	0.12	75.86	0.29	39.27
19	2.828094	0.450105	2.221703	19	0.02	75.88	0.06	39.33
20	2.845795	0.452922	2.207884	20	0.01	75.89	0.01	39.34
21	2.920063	0.464742	2.15173	21	0.02	75.91	0	39.34
22	2.966054	0.472062	2.118365	22	0.01	75.92	0.03	39.37
23	2.983491	0.474837	2.105984	23	0.05	75.97	0.03	39.4
24	3.043252	0.484349	2.064629	24	0.02	75.98	0.33	39.72
25	3.081106	0.490373	2.039263	25	0.02	76	0.12	39.84
26	3.130795	0.498282	2.006898	26	0.01	76.01	0	39.84
27	3.161769	0.503211	1.987237	27	0.02	76.03	0.01	39.85
28	3.217964	0.512155	1.952534	28	0.08	76.11	0.04	39.89
29	3.288085	0.523315	1.910895	29	1.25	77.36	0.02	39.9
30	3.3158	0.527726	1.894923	30	1.33	78.69	0.03	39.93

Çalışmanın bu bölümünde dinamik yük etkisinde kazık başlarındaki maksimum deformasyonu bulmak hedeflenmiştir. Kazık başlarının zamana bağlı olarak yaptıkları yanal deformasyonlarının ortalaması Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 9 ‘dan

görülebileceği üzere maksimum yanal deformasyon 26.77 saniyede oluşmaktadır. Kazıkların 26.77 saniyedeki yanal deformasyonları ise Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. 26.77 saniyede kazıkların yanal deformasyonları

## SONUÇLAR

Yapılan analizler sonucunda kademeli olarak arttırılan sismik yüklerin etkisi ile toplam yer değiştirme miktarları ve makaslama deformasyonlarında artışlar gözlenmiştir. Toplam yer değiştirmelerde gözlenen artışlar yüzeye yakın kesimlerde en yüksek değerlerine ulaşırken, bu yer değiştirmelerin kesitte derinliğe bağlı olarak

azaldığı gözlenmiştir. Düşey yöndeki gerilmeler incelendiğinde, gerilme artışlarının sismik yüklemelere bağlı olarak yükleme basamakları ile doğru orantılı olarak artış gösterdiği saptanmıştır. Makaslama deformasyonlarındaki dağılım incelendiğinde ise, en yüksek makaslama deformasyonlarının, denizel kökenli alüvyon ile volkanitlerden oluşan birimin dokanağında olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

Aksu, A.E. ve Piper, D.J.W., 1983, Progradation of the Late Quaternary Gediz Delta, Turkey. Marine Geology, 54, 1-25.



- Aksu, A.E., Konuk, T., Ulu, A., Duman, M. ve Piper, D.J.W., 1990, Quaternary tectonic and sedimentary history of eastern Aegean Sea shelf area. *Jeofizik*, 4, 3-36.
- Aksu, A.E., Piper, D.J.W. ve Konuk, T., 1987, Quaternary growth patterns of Büyük Menderes and Küçük Menderes deltas, western Turkey. *Sedimentary Geology*, 52, 227-250.
- Arslan, A.T., Akgün, M., Gönenç, T., 2013, Derin Alüvyonal Zeminlerin Dinamik Koşullar Altındaki Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Modellemesi: Bayraklı (İzmir)' dan Bir Örnek. *Türkiye 20. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, 150-154.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F., 2005, İzmir çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. *MTA Rapor No:107*, 80 s (yayınlanmamış).
- Kaya, O., 1979, Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tektoniği, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27 (1), 1-7.
- Kaya, O., 1981, Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia. *Newsletters on Stratigraphy*, 10, 164-191.
- Kaya, O., 1982, Tersiyer sırt yitmesi: Doğu Ege bölgelerinin yapısı ve magmatizması için olası bir mekanizma; Erol, O. ve Oygür, V. (ed.), *Batı Anadolu'nun genç tektoniği ve volkanizması paneli. Türkiye Jeoloji Kongresi*, 59-72.
- Lysmer, J., & Waas, G. (1972). Shear waves in plane infinite structures. *Journal of Engineering Mechanics*.
- Ocakoğlu, N., Demirbaş E. ve Kuşçu İ., 2004, Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province. *Tectonophysics*, 391, 67-83.
- Ocakoğlu, N., Demirbaş, E. ve Kuşçu, İ., 2005, Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Marine Geology*, 219, 155-171.
- Ocakoğlu, N., Demirbaş, E. ve Kuşçu, İ., 2006. İzmir Körfezi ve çevresinin aktif fayları ve depremselliği (Batı Anadolu). *Yerbilimleri Dergisi*, 27 (1), 23-40.
- Sayın, E., Pazı, İ. ve Eronat, C., 2006. Investigation of Water Masses in İzmir Bay, Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15, 343-372.
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, E.Y., Koçer, T., Demirtaş, R., Özkaymak, Ç., 2008, D-B Uzanımlı İzmir Fayı ile KD-uzanımlı Seferihisar Fayı'nın birlikte çalıştığına dair veriler: İzmir Körfezi'ni oluşturan aktif faylarda kinematik ve paleosismolojik çalışmalar, *Batı Anadolu, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 51 (2), 91-114.
- Tezcan, S. S., Keçeli, A., Özdemir, Z., 2006, Allowable Bearing Capacity of Shallow Foundations Based on Shear Wave Velocity, *Geotechnical and Geological Engineering*, p:203-2188.