

## **Bayraklı-İzmir Yöresindeki Zeminlerin Statik ve Dinamik Koşullar Altında Gerilme-Deformasyon Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi**

*Investigation of Stress-Deformation Behaviour of the Soils in Bayraklı-İzmir Under Static and Dynamic Conditions Using Finite Element Method*

**A.T. Arslan<sup>1,\*</sup>, M. Akgün<sup>1</sup>, M. Y. Koca<sup>2</sup>, C. Atalar<sup>3</sup>, Ö. C. Özdağ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir

<sup>3</sup> Yakın Doğu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa K.K.T.C.

<sup>4</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü, İzmir

(\*ahmet.arslan@deu.edu.tr)

**ÖZ:** Bu çalışmada, İzmir Körfezi doğusunda yer alan ve Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alandaki alüvyonal zemini temsil eden kuzey-güney doğrultulu kesit üzerinde, gerilme-makaslama deformasyonları, gerilme-şekil değiştirme özellikleri, buna bağlı olarak gelişen yatay ve düşey yöndeki yer değiştirmeler bilgisayar destekli sayısal çözümleme yöntemleri kullanılarak statik ve dinamik koşullar altında analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde Rocscience Phase<sup>2</sup> (V 9.006) programı kullanılmıştır. Yapılan analizlerde kullanılan model, jeofizik çalışmalar, sığ ve derin zemin sondajlarının ortak değerlendirilmesi sonucunda elde edilen verilere göre oluşturulmuştur. Depremsiz durumda yapılan analizlerde, makaslama deformasyonları dış yüklerin etki ettiği zonlarda yükün şiddeti ve derinliğe bağlı olarak dağılım gösterirken, sismik yüklemelerin de hesaplamalara dahil edilmesiyle makaslama deformasyonlarındaki dağılımlar jeolojik yapı ve sismik etkiye bağlı olarak dağılım göstermekte, jeolojik yapı, tabaka kalınlıkları, tabakaların elastik ve dinamik özellikleri de deformasyonların dağılımında etkin rol oynamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu Elemanlar Yöntemi, Makaslama Deformasyonu, Yer Değiştirme, Sismik Hız

**ABSTRACT:** In this study, computer-aided analyses under static and dynamic conditions using numerical analyse methods were performed where İzmir Bay and surrounding area which is defined as alluvial soil. Analyse was made by Rocscience Phase2 (V 9.006) software. The model which used in the analysis were obtained geophysical studies and shallow-deep soil boring data using a common. In the analyzes which were made in non-earthquake case, shear deformation of external load impacts have the zones in charge of showing the distribution depending on the severity and depth distributions of shear deformation by the inclusion of the calculations in the seismic loading in the range depending on the geological and seismic effects, geological structure, layer thickness, elastic layers and dynamics properties also play an important role in the distribution of deformation.

**Keywords:** Finite Element Method, Shear Deformation, Displacement, Seismic Velocity

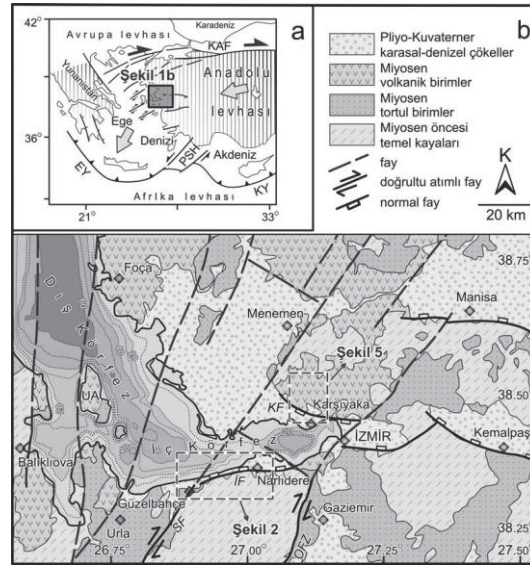
### **1. GİRİŞ**

Zeminlerin statik ve dinamik yüklemeler altında diğer inşaat mühendisliği malzemelerinden oldukça farklı davranış gösteren malzemeler olmaları ve zeminlerin jeoteknik özelliklerinin bölge içinde farklılıklar göstermesi nedeniyle yerleşime açılacak yeni alanların yerleşime uygunluk bakımından değerlendirilmesi veya yerleşim bölgelerinin depremden nasıl etkileneceğinin belirlenmesi için bu bölgelere ait jeolojik tanımlamanın yapılması ve yerel zemin koşullarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi 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 laboratuvarda ve arazide deneysel çalışmalar yapılarak, bu

çalışmalar sırasında arazide geçerli olacak yüklenme 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 vd., 2003).

## 2. İZMİR KÖRFEZİ

Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin batısında yer alan İzmir Körfezi, sıg 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 yükseltileri ile sınırlı olan yaklaşık 90 km uzunluğundaki KB-GD uzanımlı dış körfezden oluşur (Sözbilir vd., 2008) (Şekil 1).



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 vd., 2008)).

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) 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 kısmını Karaburun ters fayı ile sınırlanırken, D-B uzanan iç körfez kısmını güneyde İzmir normal fayı sınırlıdır (Sözbilir vd., 2008).

## 3. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

İzmir Metropol alanı sınırları içerisinde yer alan ve Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan 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 hazırlanmıştır. MASW çalışmalarında Geometrics Geode marka 24 kanallı sismometre cihazı; mikrotremor çalışmalarında ise CMG-6TD hızölçer kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan elde edilen verilere göre;  $V_{P1}$ : 345 m/sn;  $V_{S1}$ : 200 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 45 – 150 m aralığında değişen 1. tabaka;  $V_{P2}$ : 778 m/sn;  $V_{S2}$ : 450 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 14 – 37 m aralığında değişen 2. tabaka;  $V_{P3}$ : 475 m/sn;  $V_{S3}$ : 275 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 75 – 370 m aralığında değişen 3. tabaka;  $V_{P4}$ : 953 m/sn;  $V_{S4}$ : 550 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 60 – 90 m aralığında değişen 4. tabaka;  $V_{P5}$ : 1558 m/sn;  $V_{S5}$ : 900 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, 5. tabaka;  $V_{P6}$ : 2165 m/sn;  $V_{S6}$ : 1250 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, 6. tabaka;  $V_{P7}$ : 6055 m/sn;  $V_{S7}$ : 3500 m/sn ortalama 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 filisten 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 ve mekanik özellikler toplu olarak Çizelge 1 ve 2'de, Türkiye Deprem Yönetmeliği ve NEHRP'e (National Earthquake Hazard Reduction Programme) göre sınıflandırılması ise Çizelge 3'de sunulmuştur. Ayrıca analizler sırasında kullanılacak rayleigh sönüm faktörleri  $Q=0.1V$  olacak şekilde tanımlanmıştır (Yalçınkaya, 2004).

NEHRP zemin sınıflama kriterlerine göre, kalınlığı 45 – 150 m aralığında değişen 1. Tabaka E-D; kalınlığı 14 – 37 m aralığında değişen 2. Tabaka C; kalınlığı 75 – 370 m aralığında değişen 3. Tabaka D; kalınlığı 60 – 90 m aralığında değişen 4. Tabaka; kalınlığı ortalama 200 m olarak kabul edilen 5. Tabaka ve ortalama kalınlığı 600 m olarak kabul edilen 6. Tabaka B ve tabaka kalınlığı tam olarak ölçülemeyen 7. Tabaka ise A 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.

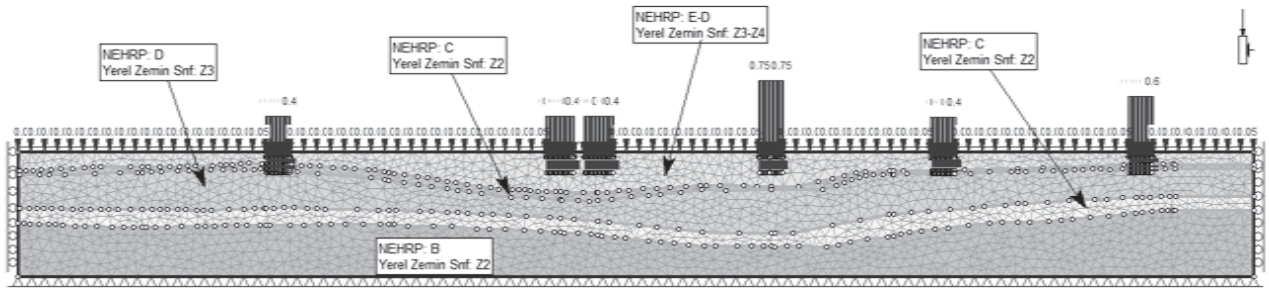
#### 4. SAYISAL MODELLEMELER

Depremler gibi tekrarlı yüklemeler altında kalan zeminlerin davranışlarının incelenmesinde, zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesi önemli bir konudur. Zeminlerin drenajsız durumda tekrarlı yükler altında dayanım 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; dayanım özellikleri olarak da göçmeye veya büyük şekil değiştirmelere neden olan makaslama 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 dayanım 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 makaslama 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.

Phase<sup>2</sup> programında hazırlanan iki boyutlu büyük ölçekli sonlu eleman ağ sisteminde 4446 adet düğüm noktası kullanılmıştır. Sayısal modellemelerde kullanılan zemin ve kaya birimlerine ait indeks, mekanik ve dinamik özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2’ de toplu olarak sunulmuştur. Phase<sup>2</sup> programı kullanılarak yapılan tüm modelleme çalışmaları bir olasılık değerlendirmesidir ve öngörü niteliği taşımaktadır.

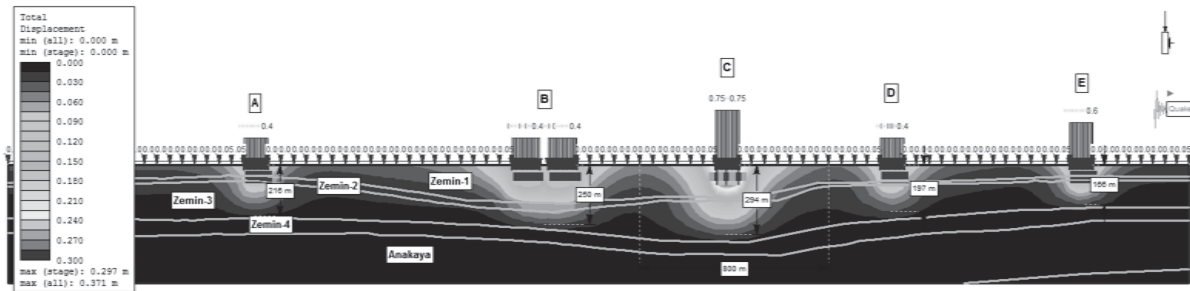
#### 4.1. Sayısal Modellemeler

Phase<sup>2</sup> programı ile statik koşullarda yapılan analizlerde, özellikle gerilme dağılımları, düşey yer değiştirmeler, toplam yer değiştirmeler ve maksimum makaslama deformasyonları üzerinde durulmuştur. Dinamik koşullarda yapılan analizlerde ise girdi parametresi olarak İzmir bölgesinde gerçekleşmiş bir depremin ivme zaman kaydı kullanılarak (Şekil 8) zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Phase<sup>2</sup> programında kullanılan model, Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alanda yapılan kuyu içi sismik, mikrotremor array, nokta ölçümleri, MASW, mikrogravite çalışmaları ve derin amaçlı yapılmış (250 m) zemin sondajlarının ortak değerlendirilmesi sonucunda hazırlanmış ve Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Nümerik analizlerde kullanılmak üzere 500 m derinlik - 5000 m uzunluk için hazırlanmış model (Arslan vd., 2013)

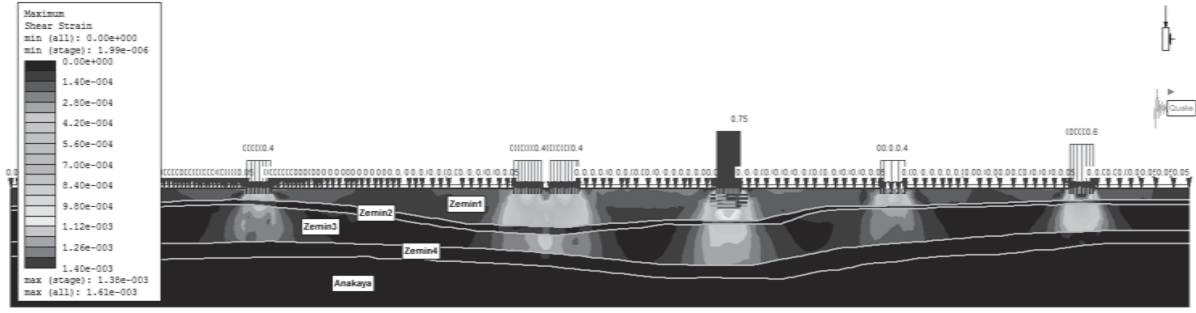
Modelde A-B-C-D-E olarak isimlendirilen kazıklı temele sahip bina temellerindeki toplam yer değiştirme konturlarının dağılımı incelendiğinde, konturların bina temel genişliği ve temele aktarılan yüklere bağlı olarak değişim gösterdiği ve Zemin-4 tabakasına kadar toplam yer değiştirmelerin etkili olduğu görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Model üzerinde toplam yer değiştirme konturlarının dağılımı

Makaslama deformasyonlarının kesit üzerindeki dağılımları incelendiğinde, kesitte mavi tonlarda gösterilen renkler makaslama deformasyonlarının düşük, kırmızı renk tonu ile gösterilen bölgeler ise makaslama deformasyonlarının yüksek olduğu ve yoğunlaştığı bölgeleri göstermektedir. Makaslama deformasyonları Zemin-4 tabakasına kadar dağılım göstermekte olup, daha derinlerde makaslama deformasyonları sıfırlanmaktadır. Ayrıca kesit üzerinde de görüldüğü gibi jeolojik yapı, tabaka kalınlıkları, tabakaların elastik ve dinamik özellikleri de makaslama deformasyonlarının dağılımında etken rol oynamaktadır (Şekil 4).





Şekil 4. Model üzerinde makaslama deformasyonu konturlarının dağılımı

Dinamik koşullarda gerilme ve deformasyon davranışlarını irdelemek amacıyla yapılan analizlerde, girdi parametresi olarak Kuşadası körfezinde gerçekleşmiş Mw: 4.7 büyüklüğündeki bir depremin İzmir'de fliş üzerinde kurulmuş Yeşilyurt istasyonunda kaydedilen ivme zaman kaydı kullanılarak zaman tanım alanında analizler yapılmıştır (Şekil 5 ve 6). Yatay yer değiştirmelerin kesit üzerindeki dağılımları incelendiğinde yatay yer değiştirmelerin Zemin-1, Zemin-2 ve Zemin-3 olarak isimlendirilen zemin tabakalarında yayıldığı, Zemin-4 ve taban kayasında herhangi bir yer değiştirmenin olmayacağı öngörülmüştür (Şekil 7). Kesit üzerindeki makaslama deformasyonlarındaki dağılım incelendiğinde, makaslama deformasyonları Zemin-4 tabakasına kadar dağılım göstermekte olup, daha derinlerde makaslama deformasyonları sıfırlanmaktadır. Dinamik analizlerde de görüldüğü gibi; jeolojik yapı, tabaka kalınlıkları, tabakaların elastik ve dinamik özellikleri hem toplam yer değiştirmelerde hem de makaslama deformasyonlarının dağılımında etken rol oynamaktadır (Şekil 7; Şekil 8).

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

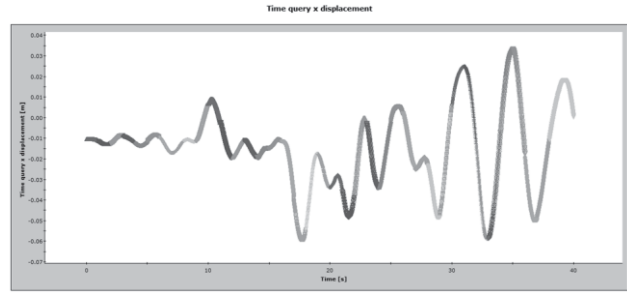
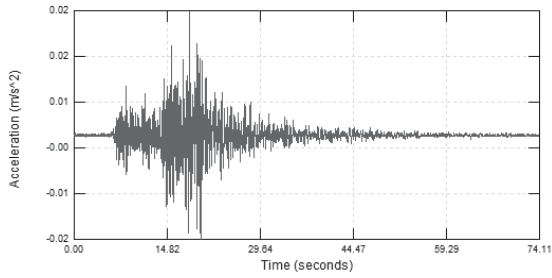
	$V_s$ (m/sn)			$V_p$ (m/sn)			E (MPa)			G (MPa)			$\nu$	C (MPa)	$\phi$ ( $^\circ$ )	$\gamma$ ( $t/m^3$ )	
	min	max	ort	min	max	ort	min	Max	Max	min	max	ort				min	max
Zemin-1	150	250	200	260	430	345	86	272	179	35	109	72		0.025	30	1.54	1.74
Zemin-2	400	500	450	690	865	778	782	1300	1041	315	520	418		0.15	35	1.97	2.08
Zemin-3	250	300	275	430	520	475	270	412	341	109	165	137	0.2	0.10	35	1.74	1.83
Zemin-4	500	600	550	865	1040	953	1290	1953	1622	520	782	651	5	0.17	35	2.08	2.17
Anakaya	1000	1150	1075	1732	1990	1861	6481	8664	7573	2614	3466	3040		9.00	38	2.46	2.55

Çizelge 2. Nümerik analizlerde kullanılan materyallere ait indeks, mekanik ve elastik özellikler

Parametre	Zemin-1			Zemin-2			Zemin-3			Zemin-4			Anakaya		
	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort	min	max	
Bir. hac. agr. $\gamma_n$ (MN/m <sup>3</sup> )	0.015	0.017	0.016	0.019	0.020	0.020	0.017	0.018	0.018	0.020	0.021	0.021	0.023	0.034	0.027
Elastisite modülü, E (MPa)	86	272	180	782	1300	1041	270	412	341	1290	1953	1621	6481	8664	7573
Makaslama modülü, G (MPa)	35	109	74	315	520	425	109	165	139	520	782	661	2614	3466	3040
Poisson oranı, $\nu$				0.25											
Yenilme kriteri															
Malzeme tipi															
İşsel sürtünme açısı ( $\phi$ )	30				35										38
Kohezyon c (MPa)	0.025				0.15										9

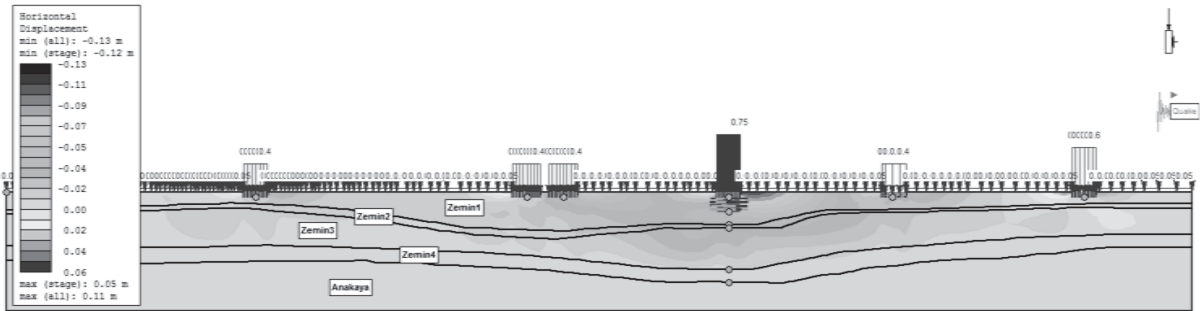
Çizelge 3. İnceleme alanındaki zeminlerin Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre sınıflandırılması

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

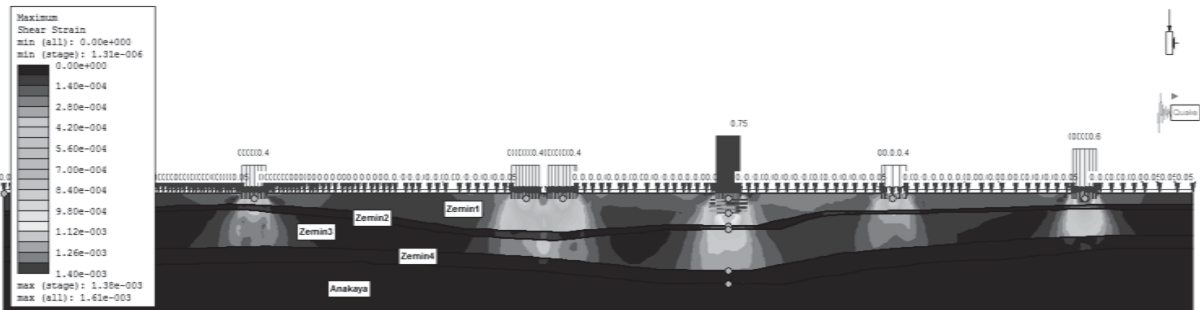


Şekil 5. Kuşadası Körfezi'nde gerçekleşmiş bir depreme ait ve hesaplamalarda kullanılan ivme – zaman grafiği

Şekil 6. Zemin yüzeyinde alınan bir noktanın sismik etki altındaki yanal deformasyonu



Şekil 7. Deprem 18. saniyesinde meydana gelen yatay yer değiştirme konturlarının kesit üzerindeki dağılımları



Şekil 8. Deprem 18. saniyesinde meydana gelen makaslama deformasyonları konturlarının kesit üzerindeki dağılımları

## 5. SONUÇLAR

Statik koşullarda kazıklı temele sahip bina temellerindeki toplam yer değiştirme konturlarının dağılımı incelendiğinde, konturların bina temel genişliği ve temele aktarılan yüklere bağlı olarak değişim gösterdiği, Zemin-4 tabakasına kadar toplam yer değiştirmelerin etkili olduğu görülmüştür. Makaslama deformasyonlarının dağılımları incelendiğinde; makaslama deformasyonları Zemin-4 tabakasına kadar dağılım göstermiş, daha derinlerde makaslama deformasyonları sıfırlanmıştır. Dinamik koşullarda yapılan analizlerde, toplam yer değiştirmelerin Zemin-1, Zemin-2 ve Zemin-3 olarak isimlendirilen zemin tabakalarında yayıldığı, Zemin-4 ve taban kayasında herhangi bir yer değiştirmenin olmadığı; makaslama deformasyonlarının Zemin-4 tabakasına kadar dağılım gösterdiği, daha derinlerde makaslama deformasyonlarının sıfırlandığı gözlenmiştir. Ayrıca S-Dalga hızlarının zemin ve ana kaya arasında sismik empedans değişimleri oluşturması nedeniyle zemin yüzeyinde zeminin deprem büyütme etkileri oluşacaktır. Statik ve dinamik analizlerde jeolojik yapı, tabaka kalınlıkları, tabakaların elastik ve dinamik özellikleri hem toplam yer değiştirmelerde hem de makaslama deformasyonlarının dağılımında etken rol oynamıştır.

## 6. KAYNAKLAR

- Aksu, A.E., 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., 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., 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 modellenmesi: Bayraklı (İzmir)'dan bir örnek. *Türkiye 20. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, 150-154.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F., 2005. İzmir çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. MTA, Rapor No:107, 80 s.
- 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 magmatizmi için olası bir mekanizma. *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., 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., 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., Kuşçu, İ., 2006. İzmir Körfezi ve çevresinin aktif fayları ve depremselliği (Batı Anadolu). *Yerbilimleri Dergisi*, 27(1), 23-40.
- Sayın, E., Pazi, İ., 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*, 203-2188.
- Yalçınkaya, E., 2004. Bir boyutlu modeller için zemin büyütmesine etki eden parametrelerin incelenmesi. *Yerbilimleri Dergisi*, 17(1), 47-56.