

ZM R BAYRAKLI BÖLGES NDEK ZEM NLER N D NAM K ETK LER ALTINDA DAVRANI LARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEM KULLANILARAK NCELENMES

A. T. Arslan¹ M. Akgün² B. Kahraman³ Constance Bornkamp⁴

¹Ö r. Gör. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisli i Bölümü, zmir

²Profesör, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisli i Bölümü, zmir

³Doçent, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisli i Bölümü, zmir

⁴Dr-Ing, TU Bergakademie Freiberg, Deutschland

Email: ahmet.arslan@deu.edu.tr

ÖZET:

Ana kaya seviyesinde bir kaynaktan açığa çıkan enerjinin oluşturuğu sismik dalgalar yayılımları sırasında, içinden geçtikleri ortamların özelliklerinden etkilenmekte; süre, frekans ve genliklerinde de iimler olabilmektedir. Deprem dalgalarının yüzeye yakın zemin tabakaları içinden geçerken genliklerinde meydana gelen artış, zemin büyütmesi olarak tanımlanmaktadır. Zemin büyütmesi ana kaya derinli i, zemin tabakalarının kalınlığı, türü, dinamik özellikleri, tabakaların yanal süreksizli i ve topografik özellikler gibi yerel ko ullardan etkilenmektedir. Bu çalışmada, yerel ko ulların zemin büyütmesine etkisini incelemek amacıyla zmir Körfezi do usunda yer alan ve Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alandaki alüvyonal zemininde kuzey - güney ve do u – batı do rultulu hazırlanan kesitler üzerinde Ku adası körfezinde gerçekleşen Mw: 4.7 büyüklü ündeki bir depremin Bayraklı, Yamanlar, Ye ilyurt ve Manavkuyu istasyonlarında kaydedilmiş ivme zaman kayıtları kullanılarak iki boyutlu (2D) dinamik analizler yapılmıştır. Analizlerde kullanılan kesitler, jeofizik çalışmaları ve derin zemin sondajlarının ortak de erlendirilmesi sonucunda elde edilen verilere göre oluşturulmuştur. Rocscience Phase² (V 9.009) programı ile yapılan probalistik analizlerde gerilme – makaslama deformasyonları, gerilme – ekil de iirme özellikleri, buna ba lı olarak geli en yatay ve dü ey yöndeki yer de i tirmeler statik ve dinamik ko ullar altında incelenmiştir. Yapılan probabilistik analizlere göre, depremsiz durumda makaslama deformasyonları dı yüklerin etki ettiği zonlarda yükün iddeti ve derinli e ba lı olarak dağılım gösterirken, sismik yüklemelerin de hesaplamalara dahil edilmesiyle makaslama deformasyonlarındaki dağılımlar, yatay dü ey yer de i tirmeler jeolojik yapı ve sismik etkiye ba lı olarak dağılım göstermekte, jeolojik yapı, tabaka kalınlıkları, tabakaların elastik ve dinamik özellikleri de bu yer de iirme ve deformasyonların dağılımında etken rol oynamaktadır.

ANAHTAR KEL MELER: Zemin büyütmesi, dinamik analiz, nümerik analiz, makaslama deformasyonu

1. GİRİŞ

Depremlerde meydana gelen yapısal hasarlara deprem özellikleri, yerel zemin ko ulları ve yapı kalitesi olmak üzere üç faktör etki etmektedir. Deprem özelliklerini bölgenin depremselli i, deprem riski ve oluşabilecek deprem büyüklü ü; yerel zemin ko ullarını zemin büyütme faktörü, zemin sıvılaşma potansiyeli, yapı kalitesini ise depreme dayanıklı mimari ve taşıyıcı sistem tasarımı, kaliteli i çelik ve beton ile yapısal denetim oluşturmaktadır. Depremlerde hasarı etkileyen faktörlerden yerel zemin ko ulları kapsamında, zemin tabakalarının cinsi, kalınlığı, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok de iebilmesi, farklı bölgelerde in a edilmiş aynı tip yapılarda farklı derecelerde hasar oluşmasına neden olmaktadır. Anakaya seviyesinde bir kaynaktan açığa çıkan enerjinin oluşturuğu sismik dalgalar yayılımları sırasında, içinden

geçtikleri ortamların özelliklerinden etkilenmekte; süre, frekans ve genliklerinde de değişimler olabilmektedir. Deprem dalgalarının yüzeye yakın zemin tabakaları içinden geçerken genliklerinde meydana gelen artış zemin büyütmesi olarak tanımlanmaktadır. Zemin büyütmesi anakaya derinliği, zemin tabakalarının kalınlığı, cinsi ve dinamik özellikleri, tabakaların yanal süreksizliği ve topografik özellikler gibi yerel koşullardan etkilenmektedir (Yılmaz ve Hacıoğlu, 2011). Deprem gibi tekrarlı yükler altında sıvılaşma, oturma ve çevre stabilitesi gibi olguların ortaya çıkması için özel zemin koşulları gerekirken, zemin büyütmesi hemen her depremde meydana gelebilmekte ve yapısal hasar da bakımında önemli rol oynamaktadır. İlgilenilen saha anakaya üzerinde yer alıyorsa veya sağlam olarak nitelendirilebilecek tabakalar yüzeye yakınsa yerel zemin koşullarının etkisi kaynak etkilerinin yanında çok daha küçüktür. Ancak derin alüvyonlarda deprem dalgaları bu tabakaların özelliklerinden önemli derecede etkilenmekte ve genliklerinde önemli artışlar olabilmektedir (Psarropoulos vd., 1999; Yılmaz ve Hacıoğlu, 2011). Bu çalışmada, Yeni Kent merkezi olarak tanımlanan alanda kuzey – güney doğrultulu hazırlanan kesitte İzmir bölgesinde gerçekleşen $M_w = 4.7$ büyüklüğündeki depremin Bayraklı, Yamanlar, Yeşilyurt ve Manavkuyu istasyonlarında kaydedilmiş ivme zaman kayıtları kullanılarak iki boyutlu (2D) dinamik analizler yapılmış ve sonuçlar karıştırılmıştır.

2. JEOFİZİK ÇALIŞILAR

Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alanının dinamik özelliklerini ortaya koymak amacıyla 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 deşen 1. tabaka; V_{P2} : 778 m/sn; V_{S2} : 450 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 14 – 37 m aralığında deşen 2. tabaka; V_{P3} : 475 m/sn; V_{S3} : 275 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 75 – 370 m aralığında deşen 3. tabaka; V_{P4} : 953 m/sn; V_{S4} : 550 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, tabaka kalınlığı 60 – 90 m aralığında deşen 4. tabaka; V_{P5} : 1558 m/sn; V_{S5} : 900 m/sn ortalama hız değerlerine sahip, 5. 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. tabaka içerisinde tektonik konumlu kireçtaşı içeren kumtaşı ve çiyli aralanmalı filiten oluşan Bornova karma birim olarak değerlendirilmiştir. Sismik hızların ampirik bağıntılarda kullanılması ile bulunan dinamik zemin parametreleri, indeks ve mekanik özellikler toplu olarak Çizelge 1; Çizelge 2’de; Türkiye Deprem Yönetmeliği ve NEHRP’e (National Earthquake Hazard Reduction Programme) göre sınıflandırılması ise Çizelge 3’de sunulmuştur.

NEHRP zemin sınıflama kriterlerine göre, kalınlığı 45 – 150 m aralığında deşen 1. Tabaka **E-D**; kalınlığı 14 – 37 m aralığında deşen 2. Tabaka **C**; kalınlığı 75 – 370 m aralığında deşen 3. Tabaka **D**; kalınlığı 60 – 90 m aralığında deşen 4. Tabaka **C**; kalınlığı ortalama 200 m olarak kabul edilen 5. Tabaka **B** olarak tanımlanmıştır (Çizelge 3). 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 olarak sınıflandırılmıştır.

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)			ν	c (MPa)	w (Ë)	γ (t/m ³)	
	min	max	ort	min	max	ort	min	Max	ort	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	0.25	0.10	35	1.74	1.83
Zemin-4	500	600	550	865	1040	953	1290	1953	1622	520	782	651		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

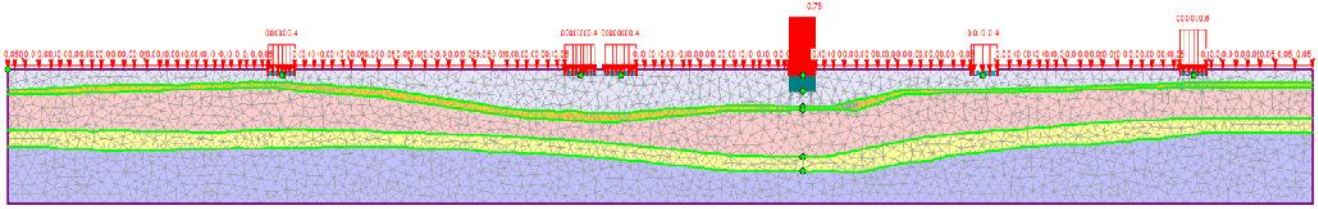
Parametre	Zemin-1			Zemin-2			Zemin-3			Zemin-4			Anakaya		
	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort
Bir. hac. ağırlığı γ_n (MN/m ³)	0.015	0.017	0.016	0.019	0.020	0.020	0.017	0.018	0.018	0.020	0.021	0.021	0.023	0.034	0.027
Elastisite modülü E (MPa)	86	272	180	782	1300	1041	270	412	341	1290	1953	1621	6481	8664	7573
Kayma modülü G (MPa)	35	109	74	315	520	425	109	165	139	520	782	661	2614	3466	3040
Poisson oranı ν								0.25							
Yenilme kriteri								Mohr - Coulomb							
Malzeme tipi								Elastik							
çizimsel sürtünme açısı (ϕ)		30			35			35			35			38	
Kohezyon c (MPa)		0.025			0.15			0.10			0.17			9	

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

NEHRP	Zemin Grubu	Yerel Zemin Sınıfı	Etkin Yer Değiştirme 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

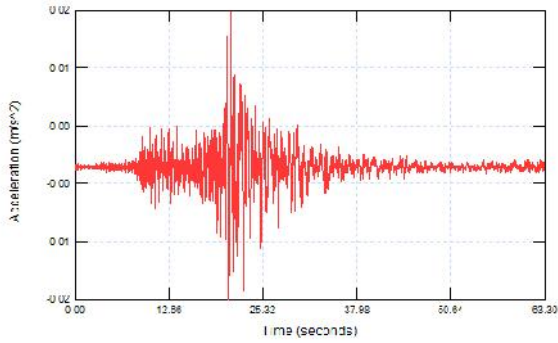
3. SAYISAL MODELLEMELER

Yeni Kent Merkezi olarak isimlendirilen bölgede alınan kesitte, dinamik koullarda gerilme – makaslama deformasyonları, gerilme – ekillerde i tirme özellikleri, buna ba lı olarak geli en yatay ve dü ey yöndeki yer de i tirmeler bilgisayar destekli sayısal çözümleme yöntemleri kullanılarak yapılmı ve sonuçlar yorumlanmı tır. ki boyutlu büyük ölçekli sonlu eleman a sisteminde 4446 adet dü üm noktası kullanılmı tır. Hesaplamalarda kullanılan model, Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alanda yapılan kuyu içi sismik, mikrotremor array, nokta ölçümleri, MASW, mikrogravite çalı maları ve derin amaçlı yapılmı (250 m) zemin sondajlarının ortak de erlendirilmesi sonucunda hazırlanmı tır (ekil 1).

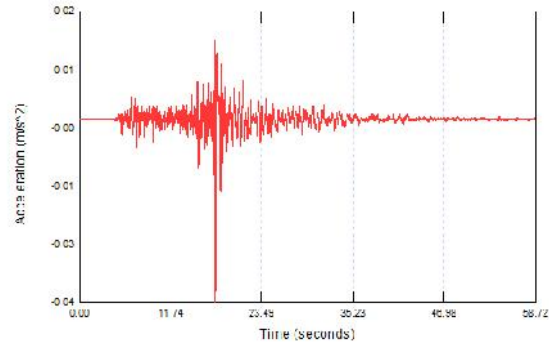


ekil 1. Nümerik analizlerde kullanılmak üzere 500 m derinlik - 5000 m uzunluk için hazırlanmı model (Arslan v.d., 2013)

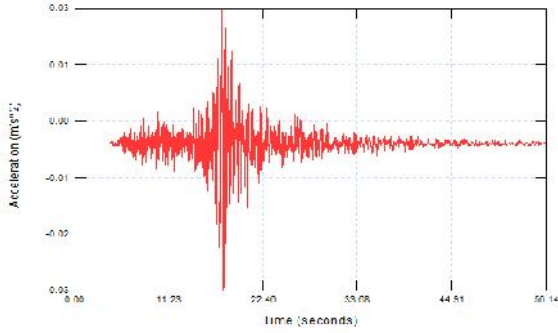
Hesaplamalarda zemin özellikleri, zemin tabakalarının yeraltındaki durumları deprem yükleri altındaki davranı ları incelenmi tir. Sayısal modellemelerde kullanılan zemin ve kaya birimlerine ait indeks, mekanik ve dinamik özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2’ de toplu olarak sunulmu tur. Rocscience Phase² (V 9.009) programı kullanılarak yapılan tüm bu modelleme çalı maları bir olasılık de erlendirmesidir ve öngörü niteli i ta ıtmaktadır. Dinamik koullarda yapılan analizlerde girdi parametresi olarak Ku adası bölgesinde gerçekleş mi Mw= 4.7 büyüklü ündeki depremin Bayraklı, Yamanlar, Ye ilyurt ve Manavkuyu istasyonlarında kaydedilm i ivme zaman kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında iki boyutlu (2D) dinamik analizler yapılmı ve sonuçlar kar ıla tırılmı tır (ekil 2; ekil 3).



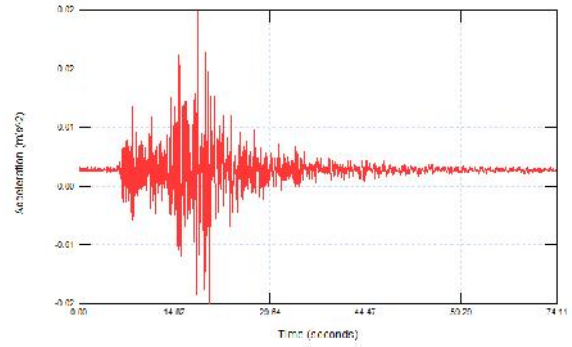
Bayraklı stasyonu



Manavkuyu stasyonu

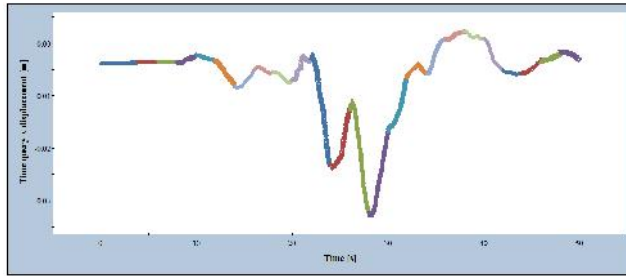


Yamanlar stasyonu

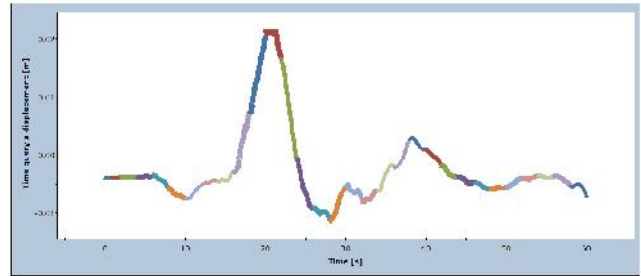


Yeilyurt stasyonu

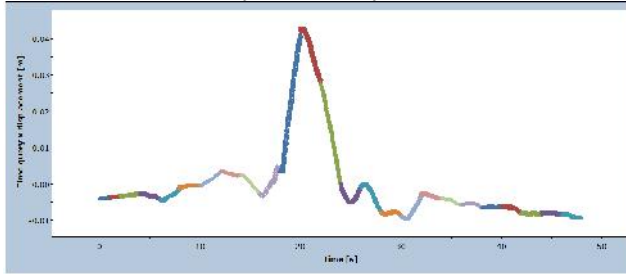
ekil 2. zmir bölgesinde gerçekleşen Mw= 4.7 büyüklüğündeki depremin Bayraklı, Yamanlar, Yeilyurt ve Manavkuyu istasyonlarında kaydedilmiş hesaplamalarda kullanılan ivme zaman kayıtları



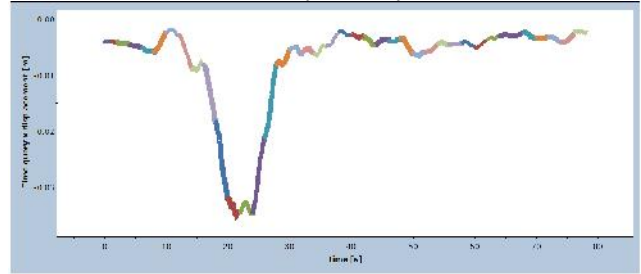
Bayraklı stasyonu



Manavkuyu stasyonu



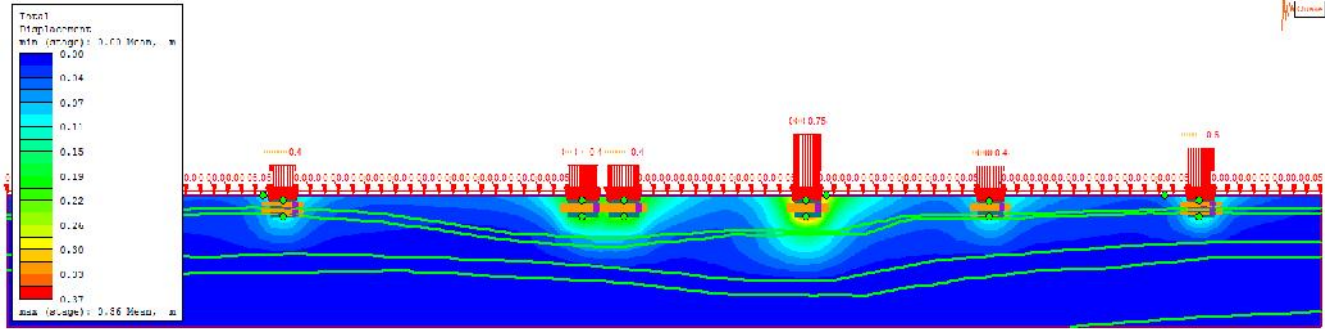
Yamanlar stasyonu



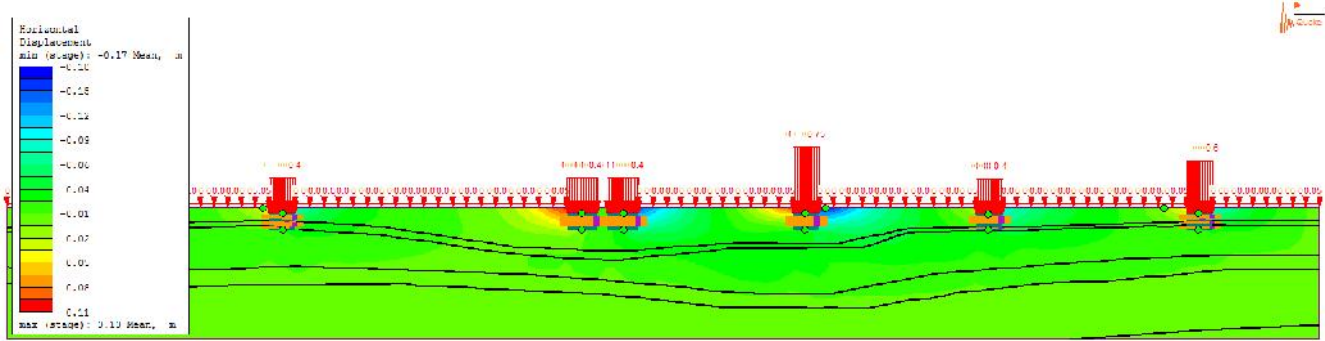
Yeilyurt stasyonu

ekil 3. Zemin yüzeyine yakın bir yapı temelinden zemin tabakalarına iletilen 0.75 MPa gerilmeden dolayı temel orta noktasında alınan bir noktanın sismik etki altındaki yanıl deformasyonu

Modelde kazıklı bina temeli tarafından zemine aktarılan 0.75 MPa gerilmeden dolayı bina temeli orta noktasında alınan bir noktanın sismik etki altında yapılan probabilistik analizleri sonucunda, toplam yer de iirme, yatay yer de iirme ve makaslama deformasyonlarının kesit üzerindeki dağılımları incelendiğinde, toplam yer de iirme, yatay yer de iirme konturlarının bina temel genişliği ve temele aktarılan yüklere bağlı olarak dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir (ekil 4; ekil 5).



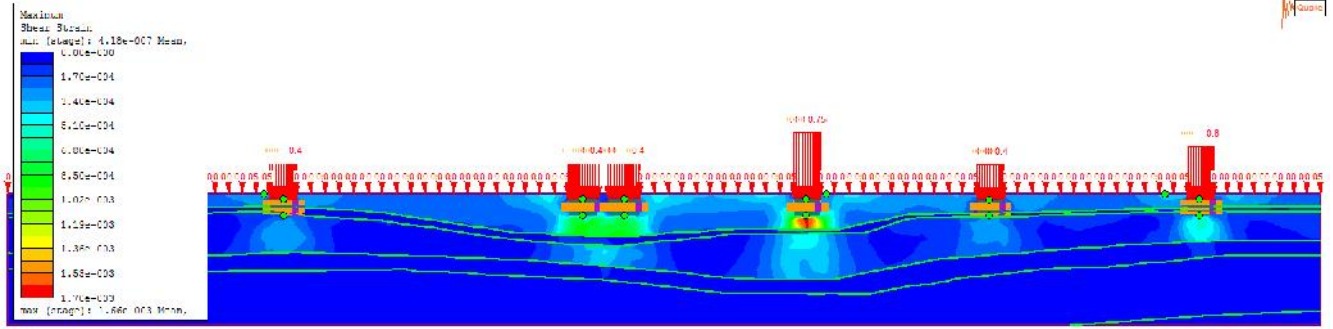
ekil 4. Ye ilyurt istasyonunda kaydedilmiş ivme zaman kaydı kullanılarak yapılan probabilistik analizler sonucunda kesit üzerinde toplam yer de i tirme konturlarının dağılımı



ekil 5. Ye ilyurt istasyonunda kaydedilmiş ivme zaman kaydı kullanılarak yapılan probabilistik analizler sonucunda kesit üzerinde yatay yer de i tirme konturlarının dağılımı

Yapılan probabilistik analizler sonucunda 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 dış yükler tarafından aktarılan gerilmelere bağlı olarak dağılım göstermekte olup, 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 (ekil 6).

Dinamik koşullarda gerilme ve deformasyon davranışlarını irdelemek amacıyla yapılan probabilistik analizlerde, girdi parametresi olarak Ku adası körfezinde gerçekleştirilen Mw: 4.7 büyüklüğündeki bir depremin İzmir'de kaya formasyonları üzerinde kurulmuş Bayraklı, Yamanlar, Manavkuyu ve Ye ilyurt istasyonlarında kaydedilen ivme zaman kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Kazıklı bina temeli tarafından zemine aktarılan 0.75 MPa gerilmeden dolayı bina temeli orta noktasında alınan bir noktanın sismik etki altındaki toplam yer de i tirmesi, yatay yer de i tirmesi ve makaslama deformasyonlarının dağılımları toplu olarak Çizelge 4'de sunulmuştur.



ekil 6. Ye ilyurt istasyonunda kaydedilmiş ivme zaman kaydı kullanılarak yapılan probabilistik analizler sonucunda kesit üzerinde makaslama deformasyonu konturlarının dağılımı

Çizelge 4. Farklı istasyonlarda kaydedilmiş ivme zaman kayıtları kullanılarak bina temeli orta noktasında alınan bir noktanın sismik etki altında toplam yer deşimi, yatay yer deşimi ve makaslama deformasyonu

stasyon	Toplam Yer Deşimi			Yatay Yer Deşimi			Makaslama Deformasyonu		
	~ (m)	† (m)	Cu	~ (m)	† (m)	Cu	~ (x10 ⁻⁴)	† (x10 ⁻⁴)	Cu
Bayraklı	0.37	0.12	0.328	0.04	0.00	0.00	9.35	4.28	0.449
Yamanlar	0.37	0.12	0.320	0.04	0.01	0.00	9.35	4.28	0.468
Manavkuyu	0.35	0.12	0.332	0.02	0.01	0.00	9.35	4.28	0.332
Ye ilyurt	0.37	0.12	0.320	0.05	0.01	0.00	6.80	3.33	0.448

~: Tüm kombinasyonların ortalaması; †: Tüm kombinasyonlara ait standart sapma; Cu: Tüm kombinasyonlar için varyasyon katsayısı

4. SONUÇLAR

Dinamik koşullarda gerilme ve deformasyon davranışlarını irdelemek amacıyla yapılan probabilistik analizlerde, kazıklı temele sahip bina temelindeki toplam ve yatay yer deşimi konturlarının dağılımı incelendiğinde, konturların bina temel genişliği ve temele aktarılan yüklere bağlı olarak değişim gösterdiği görülmüştür. Makaslama deformasyonlarının dağılımları incelendiğinde, makaslama deformasyonları Zemin-4 tabakasına kadar dağılım göstermiş, daha derinlerde makaslama deformasyonları sıfırlanmıştır. Dinamik koşullarda yapılan analizlerde, toplam yer deşimlerinin Zemin-1, Zemin-2 ve Zemin-3 olarak isimlendirilen zemin tabakalarında yayıldığı, Zemin-4 ve Taban kayasında herhangi bir yer deşiminin olmadığı; makaslama deformasyonlarının Zemin-4 tabakasına kadar dağılım gösterdiği, daha derinlerde makaslama deformasyonlarının sıfırlandığı gözlemlenmiştir. Dinamik analizlerde jeolojik yapı, tabaka kalınlıkları, tabakaların elastik ve dinamik özellikleri toplam yer deşimlerinde, yatay yer deşimlerinde ve makaslama deformasyonlarının dağılımında etken rol oynamıştır.

5. KAYNAKLAR

Arslan, A.T., Akgün, M., Göneç, T., (2013). Derin Alüvyonal Zeminlerin Dinamik Ko ullar Altındaki Davranı larının Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Modellenmesi: Bayraklı (zmir)’ dan Bir Örnek. Türkiye 20. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, 150-154.

yisan, R., Ha al, M.E., (2011). Zemin büyütmesi ve yerel ko ulların spektral ivmeye etkisi, TÜ Dergisi/d Mühendislik, 10, 4, 47-56.

Psarropoulos, P. N., Gazetas, G. and Tazoh, T. (1999). Seismic response analysis of alluvial valley at bridge Site, Proceedings of the Second International Conferance on Earthquake Geotechnical Engineering, 1, 41-47.

Rocscience (2015). Phase² 9.0, 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around underground excavations, User’s Guide, Toronto.