

NAKAMURA HASAR ENDEKS PARAMETRESİNİN ZEMİN DİNAMİK ANALİZLERİNDE ÖN BİLGİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Mustafa Akgün¹, Özkan Cevdet Özda³, Ahmet Turan Arslan¹, Tolga Gönenç¹,
Mehmet Kuruoğlu²

¹ Profesör, Dr., Yrd. Doç. Dr., Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

² Öğretim Görevlisi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

³ Uzman, Rektörlük, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Email: mustafa.akgun@deu.edu.tr

ÖZET:

Deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşacak yanal deformasyon deşimimleri ile yapısal hasarlar arasında doğrudan bir ilişki olduğu günümüzde bilinen bir gerçektir. Enerji, deprem olmadan önce ve arazide yapılabilecek ölçümlerle, deprem sırasında ve zemin yüzeyinde oluşabilecek deformasyon deşimimleri hakkında ön bilgi sağlanabilirse deprem yapısal hasarlarının azaltılma olasılığı artırılmı olur. Bu konuda, Nakamura (1997) çalışmasında tanıttığı Kg hasar endeksi katsayısı kavramı ile bir yaklaşım getirdiğini belirtmiştir. Nakamura, bir deprem sonrasında oluşan yapısal hasar daşımı Kg değerleri arasındaki ilişkiyi incelediğinde Kg katsayısının 20 değerinden büyük veya küçük olması koşuluna göre yapısal hasarların derecesinin deşimini gözlemlemiştir. Bunun nedenini de, Kg değerinin 20 den büyük olduğu alanlarda deprem sırasında zemin yüzeyindeki yanal deformasyonun elastoplastik ve plastik deformasyon seviyelerinde olma olasılığının artması şeklinde açıklamıştır. Uygulamada, Kg değerleri mikrotremor ölçümleri sonucu elde edilen Quasi Transfer Spektrum (QTS) pik genlik frekans değerlerinden hesaplanır. Bu bağlamda önemli olan araziden alınacak mikrotremor verilerindeki kalitenin yüksek olmasıdır. Bu çalışmada çalışılma alanı olarak, İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde ve İzmir Körfezi Doğusunda yer alan Yeni Kent Merkezi seçilmiştir. Önce KB-GD yönlü ortalama 10km. uzunluklu bir profil üzerinde tek nokta mikrotremor kayıtları alınarak QTS elde edilmiştir. Daha sonra jeofizik çalışmalarla elde edilmiş P, S dalga hızları ile kalınlık, derinlik ve yoğunluk parametreleri kullanılarak ana kaya zemin modeli 2D olarak oluşturulmuştur. Bilgisayar ortamında 2D zemin ana kaya modelinin Phase2 Vers. 9.0 Programında farklı deprem büyüklükleri kullanılarak elde edilen zemin yüzeyindeki yanal deformasyon deşimimleri ile Kg değerleri arasındaki ilişki irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Kg değerinin dinamik yük etkisinde zemin yüzeyindeki yanal deformasyon deşimimleri hakkında ön bilgi verebileceği saptanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Hasar endeksi, QTS, zemin dinamik analizi

1.GİRİŞ

Yapı özelliklerinin, ağırlıklarının ve yüksekliklerinin giderek arttığı günümüzde zeminlerin dinamik yük altındaki davranışı ile bu konuda analizlerinin yapılabilecek noktaya uygun zemin ana kaya modelleri kullanılarak yapılmasının önemi daha da artmıştır. Bunun için zemin dinamik analizleri için gerekli derinlik kadar (mühendislik ana kayası $V_s > 760$ m/s. seviyesi referans alınarak) zemin ana kaya modellerinin elde edilerek kullanılması gerekir. Ayrıca, depremin hasar yapıcı etkilerini ön kestirebilmek için deprem zemin yapı ortak davranış spektrumunun, deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşacak dinamik yükün büyüklüğüne, yönüne, etkime süresine ve frekans spektrum ile yapı özelliklerine bağlı olarak tanımlanması gerekir. Deprem gibi zamana ve mekana bağlı olarak deşimim ve dinamik yük olarak tanımlanan bu kuvvet etkisinde zeminin deprem sırasındaki yanal yöndeki hareketi elastik, elastoplastik veya plastik davranış gösterebilir.

Deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşacak kayma ve göçme olayları sonucunda oluşabilecek yapısal hasarlar üzerinde etkili olan parametre deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşacak olan yanal deformasyon deşimimleridir. Bu durumda yapılması gereken dinamik yük altında zemin yüzeyinde oluşabilecek yanal deformasyon deşimini hem yapılabilecek alanlarda çok küçük ölçeklerde hem de en düşük maliyetli ön çalışmalarla tahmin edilmesi olmalıdır.

Nakamura (1997) çalışmasında, deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşabilecek yanal deformasyon deşimlerinin kestirilmesinde, mikrotremor ölçümlerinden elde edilen gözlemsel Quasi Transfer Spektrumlarının (QTS) kullanılabilmesini önermiştir. Bunun için tek istasyon ölçümleri ile elde edilen mikrotremor verilerinden QTS hesaplanır. Daha sonra QTS grafiklerinden elde edilen pik genlik frekans deşimleri kullanılarak zemin yüzeyi için Kg hasar endeksi deşimleri tanımlanır. Nakamura (1997) çalışmasında seçtiği bir bölgede depremden sonra yapısal hasarlarla Kg deşimleri arasındaki ilişkiyi irdelediğinde, Kg deşimlerinin 20 sayısının üzerine çıktığı noktalarda dinamik yük etkisi altında zemin yenilmelerinin oluşabileceği ve yanal deformasyon miktarının zemin elastik davranışını etkileyebileceği saptanmıştır.

Bu çalışmada, İzmir Körfezi doğusunda yer alan ve Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alanda Kg hasar endeksi deşimleri ile zemin yanal deformasyon deşimleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için yapılmış çalışmalar ve sonuçları sunulacaktır. Söz konusu alanda Nakamura tek istasyon ölçüm tekniği ile yapılan mikrotremor ölçümlerinden gözlemsel Quasi Transfer Spektrumları hesaplanmıştır. Daha sonra bu spektrumların pik genlik frekans deşimleri kullanılarak her ölçüm noktası için Kg deşimleri hesaplanarak haritalanmıştır. Quasi Transfer Spektrumları elde edilirken, düşük frekanslardaki genlik deşimlerini saptamak için geniş bant özellikte 30 dk. süreli kayıtlar alınıp ortalama 81 sn. pencere boyu ile deşerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca bu deşimleri sınamak için, mikrogravite, mikrotremor dizin yöntemi sonuçları ile ortalama 200 m derinlikli zemin sondajları birlikte kullanılarak S dalga hızı ve yoğunluk deşimlerine bağlı olarak düzey yönde zemin mühendislik ana kayası modelleri hazırlanmıştır. Bilgisayar ortamında 2D zemin ana kaya modelinin Phase2 Vers. 9.0 Programında farklı deprem büyüklükleri kullanılarak elde edilen zemin yüzeyindeki yanal deformasyon deşimleri ile Kg deşimleri arasındaki ilişki irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Kg deşiminin dinamik yük etkisinde zemin yüzeyindeki yanal deformasyon deşimleri hakkında ön bilgi verebileceği saptanmıştır.

2. ZEMİN YÜZEYİNDE MUKAVEMET KAYIPLARI OLUP TURAN OLAYLAR , SONUÇLARI VE Kg L K S

Yapı yapılacak noktada in-situ çalışmalarla elde edilecek zemin ana kaya modellerinde kullanılacak zemin kalınlığı ve zemin ana kaya arasındaki sismik empedans ($\rho \cdot V_s$) deşimleri, ana kayadan zemine geçen deprem dalgalarının genlik frekans deşimlerinde deşimler yaratır. Elastik dalga enerjisinin (Deprem dalga enerjisi) frekans spektrumlarında oluşan bu genlik deşimleri ve karşılık gelen frekans deşimindeki deşimler zemin yüzeyindeki deprem kuvveti ile ilişkilidir. Deprem sırasında yayılan deprem dalgalarının spektrumlarında oluşacak genlik frekans deşimleri neden önemlidir sorunun yanıtı yapı yüksekliği ile frekans spektrumlarındaki periyot deşimleri arasındaki ilişki ile açıklanır. Yapılardaki her bir kat için 0,1 sn. periyot deşimi kabul edilir. Örneğin beş katlı bir yapının deprem sırasında yapacağı salınım periyodu 0,5 saniye olarak kabul edilir. Bu durumda depreme dayanıklı yapı tasarımının temelinde araştırılması gereken, yapının deprem olmadan önce bu periyot deşimi için hangi genlik deşiminde salınım yapacağı ve bu salınım sırasında zemin davranışının hangi deformasyon seviyesinde olacağını önceden tahmin edilmesidir.

Deprem dalgası spektrumundaki genlik deşimleri, deprem sırasında yapılara eylemsizlik kuvveti uygulayan zemin yüzeyinde sismik kuvveti etkiler ve tanımlar. Deprem sırasında sismik kuvvetin yapı ve zeminin dayanıklılık sınırlarını zorladığı ve atlatıldığı durumlarda deprem yapısal hasarları oluşmaya başlar. Dayanım sınırlarını zorlayan bu olay yapı-zemin ortak noktasının deprem sırasında yapacağı yer deşimleme ile ilişkilidir. Zemin ve yapı dayanım sınırı strain ile tanımlanır. Strain deşimindeki deşimlerle zeminin dinamik özellikleri arasındaki tanımsal ilişki Tablo 1 de açıklanmıştır (Nakamura 1997). Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen Quasi Transfer Spektrumlarındaki genlik frekans deşimlerinden zemin ve yapılara ait Kg duyarlılık indisi (zemin-yapı ortak davranışına ait elastik sınır) deşimleri elde edilir.

Deprem sırasında zemin ve yapı ortak hareketi sırasında zeminin lineer ve nonlineer davranışı ile strain deşimleri arasında bir ilişkiyi irdelediğinde $10 \cdot 10^{-6}$ olduğunda zemin non lineer davranmaya başlar. Eğer, $10 \cdot 10^{-6}$ olursa zeminde kayma ve göçme olayları oluşma olasılığı artar.

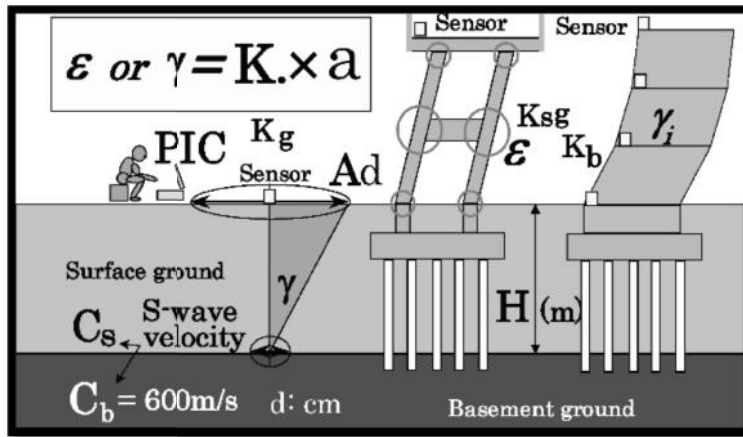
Nakamura (1997) çalışmasına göre, strain de erinin QTS grafiklerinden elde edilmesinde maksimum genlik-frekans de eri kullanılır. Maksimum genlik A_g ile zemin yüzeyinde oluşacak strain arasındaki ilişki

$$\epsilon = A_g (d/H) \quad (1)$$

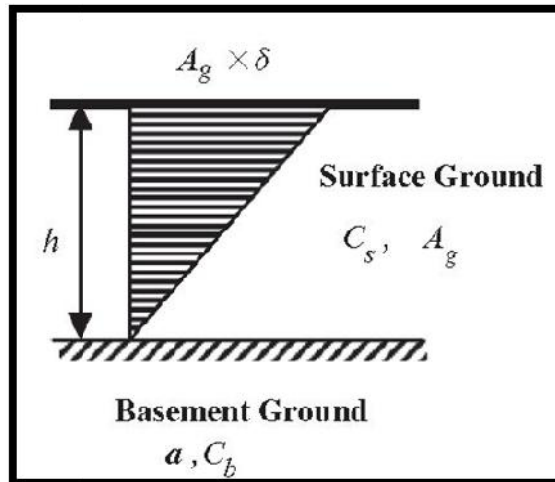
ile hesaplanır ve irdelenir (ekil 1 ve 2). Burada A_g =maksimum genlik, H =zemin kalınlığı ve d =mühendislik ana kayasındaki yatay yer de i tirme olarak tanımlanır.

Tablo 1. Zemin yüzeyinde deprem sırasında oluşabilecek strain de erleri ile elastik özellikler arasındaki ilişki.

Strain () De erleri	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Dinamik Özellik	Elastik davranı		Elastoplastik davranı		Plastik davranı	



ekil 1. Zemin yüzeyindeki yatay deformasyon ile K_g hasar endeks katsayısı arasındaki ilişki (Nakamura 1997)



ekil 2. Zemin yüzeyindeki yatay deformasyon

Nakamura (1997) çalışmasına göre K_g de yerinin QTS genlik frekans değerlerinden hesaplanmasında kullanılan bağıntı

$$K_g = A_0^2 / F_0 = (\text{Pik genlik})^2 / (\text{pik genlik frekansı}) \quad (2)$$

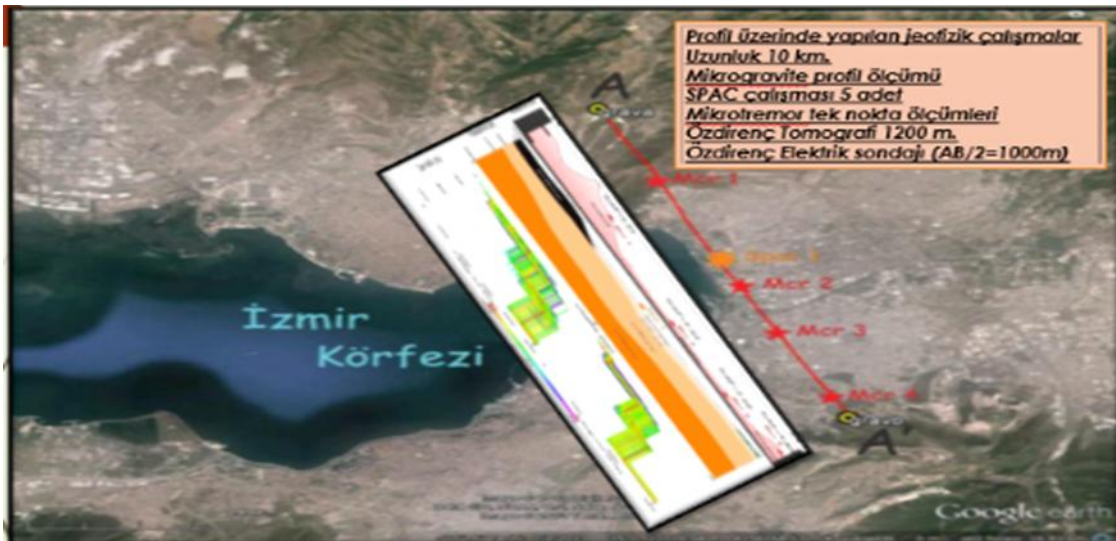
Olarak tanımlanır.

Uygulamada zemin kalınlığı dikkate alınarak ve düşük frekans değerlerindeki genlik değerlerini görmek için geniş band özellikli sismometreler ile en az 30 dk. süreli ve uygun koşullarda ölçümler alınır. Daha sonra verilerden ayıklama amacıyla Fast Fourier Transform (FFT) veri sayısı 2^N temel alınarak 81.92s. zaman ortama pencere uzunlukları kullanılır. FFT uygulaması ile QTS elde edilerek pik genlik ve frekans değerleri tanımlanır. Bu değerlerin (2) bağıntısında kullanılması ile K_g değerleri elde edilir.

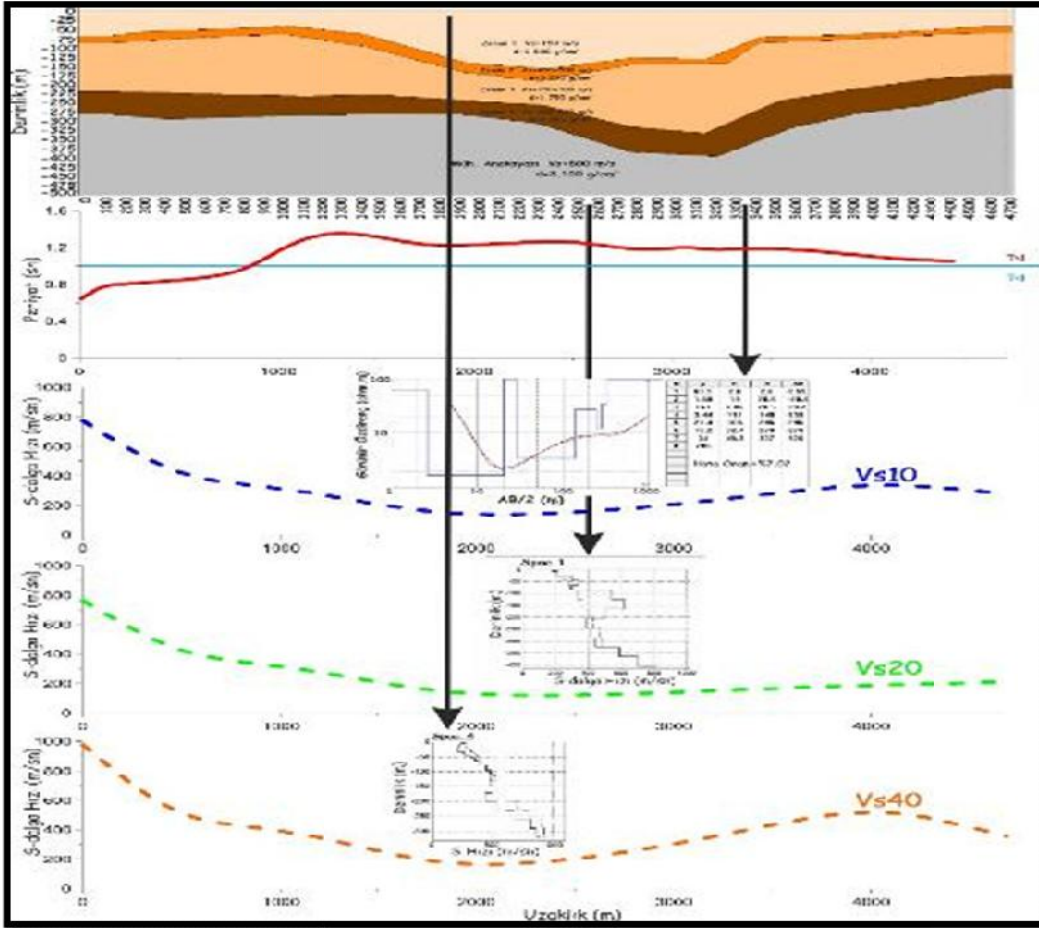
Nakamura (1997) çalışmasında K_g hesaplanırken zemin mühendislik ana kayası modelini temel alınmıştır. Günümüzde deprem sırasında, mühendislik ana kayası içinde oluşacak deformasyonun elastik sınırlar içinde kalacağı varsayımı yapılarak zemin dinamik analizinde mühendislik ana kayası sınırı temel alınır. K_g hesaplanırken bu durumun göz önünde bulundurulması gerekir (ekil 1).

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

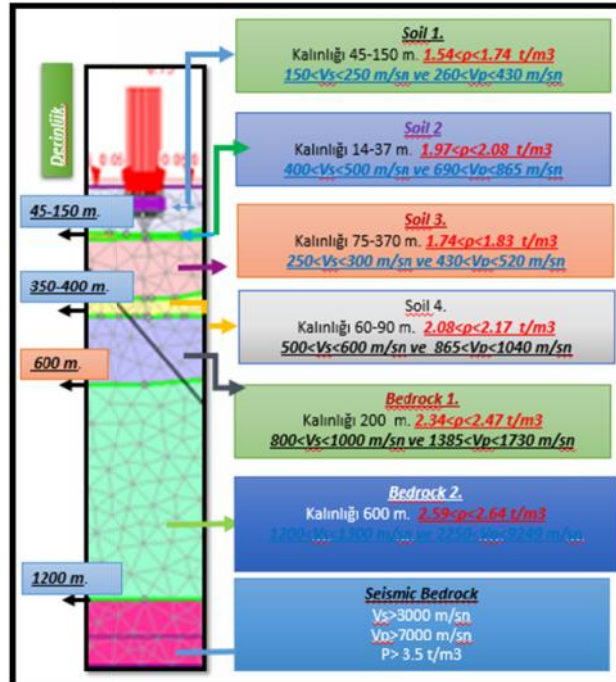
Akgün ve diğeri (2013a. ve b) çalışmasında İzmir Körfezi çevresi zeminleri için bir örnek profil üzerinde zemin ana kayası modeli tanımlanmıştır. Bunun için, İzmir Körfezi Doğuusunda ve Yeni Kent Merkezi sınırları içinde, KB-GD yönlü 10km. uzunluğunda bir profil üzerinde mikrogravite, tek istasyon ve dizin yöntemi ile mikrotremor, çok kanallı yüzey dalgaları analizi (MASW), dikey elektrik sondaj, öz direnç tomografi, down-hole kuyu içi sismik çalışmalar ile 250m. derinlikli zemin sondaj log verileri birlikte kullanılmıştır (ekil 3). Bu modele göre yan ve dikey yönde zemin kalınlığı, mühendislik ana kayası derinliği deşmektedir. Deprem dalgalarının spektrumları üzerinde havza etkisi olacaktır. Ayrıca zemin içinde sismik empedans değeri yaratacak olan çok sayıda sınırlarda gözlenmektedir. Dikey yönde S dalga hızı değerlerinde 40. M. Derinlik seviyesi için gözlenen değerler zemin özelliğindedir ($V_s < 760$ m/sn.) ve bu alan yerinde tasarım spektrum hazırlanması gereken bölge konumundadır (ekil 4 ve 5).



ekil 3. İzmir Körfezi doğusunda A-A' profili için tanımlanan zemin ana kayası modeli



ekil 4. A-A' Profiline ait S dalgı hızı seviye profilleri



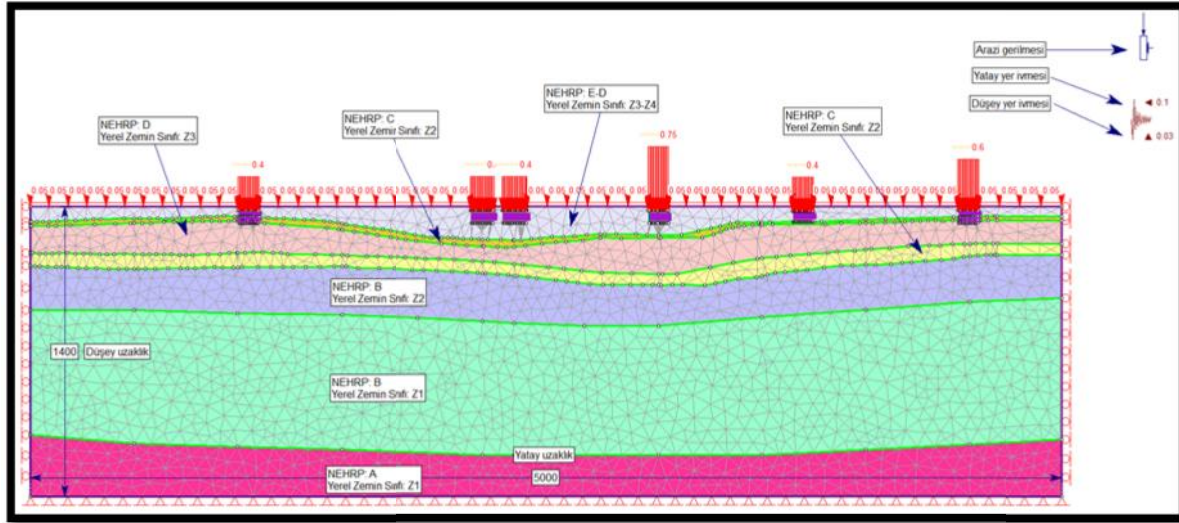
ekil 5. zmir Körfez çevresi zeminleri için genelle tirilmi 1D zemin-ana kaya modeli

A-A' profili için tanımlanan zemin ana kaya P, S dalga hızları ile yoğunluk değerleri, Phase2 Vers. 9.0 programı ile farklı deprem büyüklükleri ile birlikte kullanılarak elde edilen zemin yüzeyindeki yanal deformasyon değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2 ve ekil 6).

Bu çalışmalar bölgesel amaçlı yapılmıştır. Zemin tabakaları içindeki küçük ölçekli deformasyonlar dikkate alınmamıştır. Uygulamada bu çalışmaların yapı yapılacak alanda ve küçük ölçekli çalışmalarla yapılması gerekir.

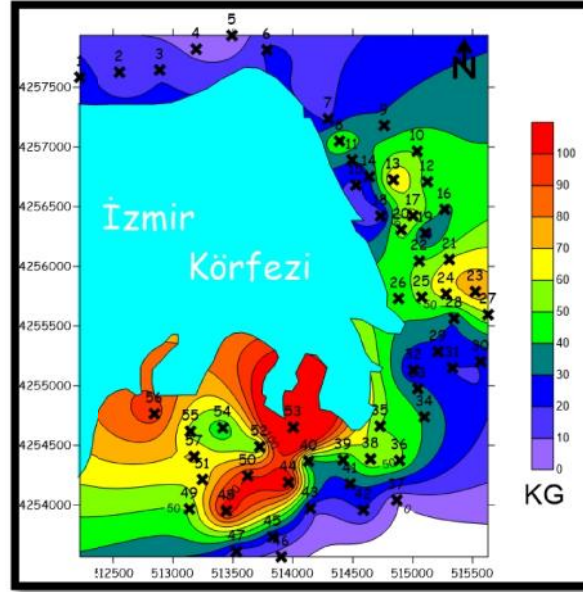
Tablo 2. Phase2 Programında kullanılan zemin ve ana kayaya ait veriler

NEHRP	V_s (m/sn)	V_p (m/sn)	E (MPa)	G (MPa)	ν	C (MPa)	ϕ (°)	γ (t/m ³)
E-D	200	345	179	72		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	0.25	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

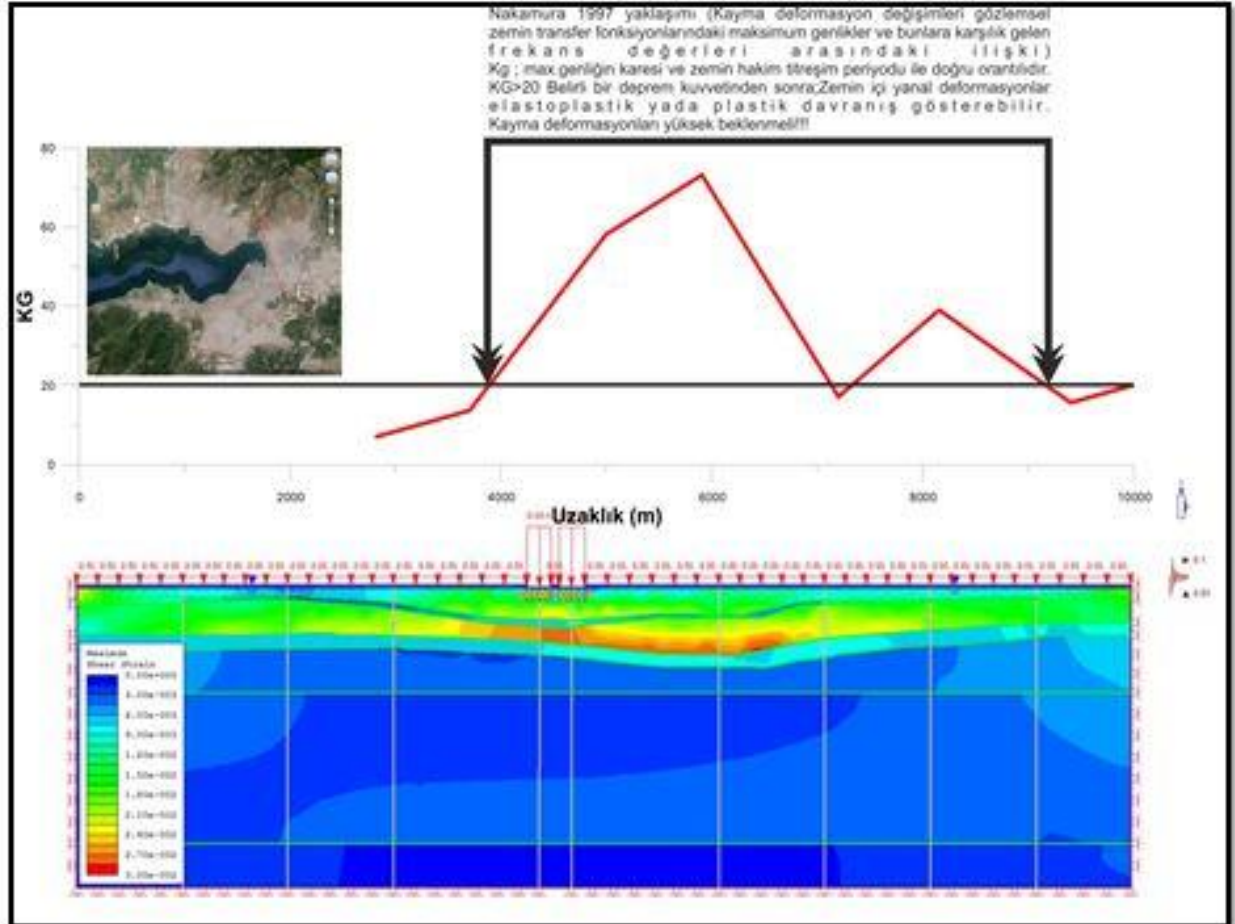


ekil 6. Nümerik analizlerde kullanılmak üzere 1400 m derinlik - 5000 m uzunluk için hazırlanmış model (Arslan v.d., 2013)

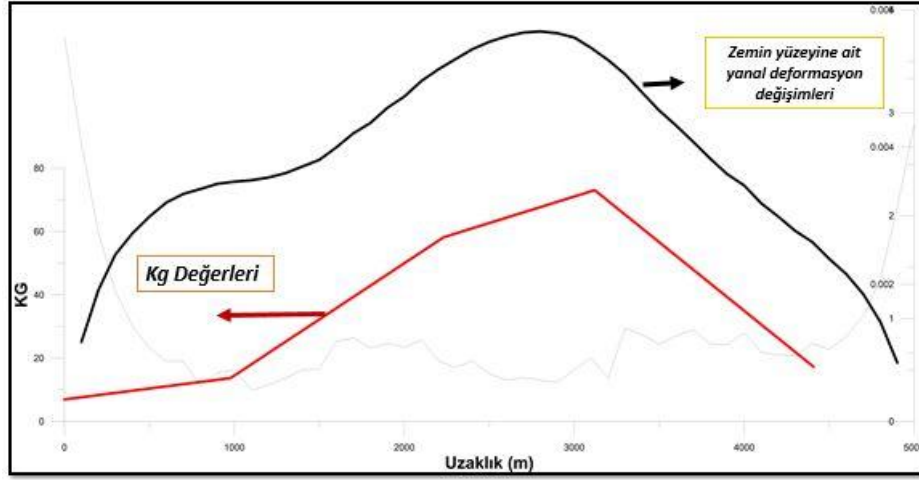
Yeni Kent Merkezi temel alınarak hazırlanan K_g hasar endeksi dağılım haritasına göre K_g değerleri genel olarak 20 değerinden çok fazladır (ekil 7). Özellikle denize yakın kesimlerde K_g değerleri çok yüksektir. Bunun anlamı zemin yüzeyinde deprem sırasında mukavemet kayıpları olabilir. Daha sonra A-A' profili temel alınarak bu profil üzerine gelen mikrotremör ölçüm noktalarında K_g değerleri ile zemin dinamik analizi sonucu elde edilen yanal deformasyon değerleri arasındaki ilişki araştırılmıştır (ekil 8 ve 9).



ekil 7. Yeni Kent Merkezi ve çevresi Nakamura (1997) yaklaşımı ile elde edilen Kg hasar endeksi dağılım haritası



ekil 8. A-A' Profili Kg Değerleri ile yanıl deformasyon arasındaki ilişki



ekil 9. A-A' Profili Kg Değerleri ile zemin yüzeyindeki yanal deformasyon arasındaki ilişki

4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Nakamura (1997) çalışmasında önerilen ve deprem sırasında zemin yüzeyinde olabilecek elastik davranış hakkında ön bilgi sağlayacak olan Kg hasar endeksi katsayısının kullanılabilirliği hakkında çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanı olarak İzmir Büyükşehir Belediye sınırları içinde kalan ve Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alan seçilmiştir. Önce alanda tek nokta mikrotremör ölçümleri alınarak gözlemsel QTS grafikleri hesaplanmıştır. Bu grafiklerden elde edilen pik genlik periyot değerleri kullanılarak Kg hasar endeksi değerleri elde edilerek haritalanmıştır. Kg değerleri genel olarak 20 değerinin üzerinde olduğu için bu alanlarda deprem sırasında zemin yüzeyinde mukavemet kayıplarına bağlı olarak kayma ve göçme olayları olabilir. Ayrıca, seçilen bir profil üzerinde tanımlanan zemin mühendislik ana kayası modeli kullanılarak Phase2 programı ile zemin yüzeyine ait yanal deformasyon değerleri hesaplanmıştır. Aynı profil üzerinde elde edilen Kg değerleri ile dinamik yük etkisinde zemin yüzeyine ait yanal deformasyon değerlerinin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre elimizde çalışma alanı ile ilgili olarak zemin mühendislik ana kayası modeli hakkında bilgi varsa bu modele uygun olarak QTS grafiklerinden elde edilecek Kg hasar endeksi değerleri ile deprem sırasında zemin yüzeyine ait yanal deformasyon değerleri hakkında ön bilgi sağlanabilir.

5. KAYNAKLAR

Akgün, M., Gönenç, T., Pamukçu, Özyalın, Özdal, Ö.C., (2013a). Mühendislik Ana Kayasının Belirlenmesine Yönelik Jeofizik Yöntemlerin Bütüncül Yorumu: İzmir Yeni Kent Merkezi Uygulamaları, Jeofizik Dergisi, 1304-12.

Akgün, M., Gönenç, T., Pamukçu, O. ve Özyalın, Ö. (2013b). Investigation of the relationship between ground and engineering bedrock at northern part of the Gulf of İzmir by borehole data supported geophysical Works, Journal of Earth System Science, 123, 545-564.

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.

Nakamura, Y. (1997). Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor, World Congress on Railway Research in Florence, Italy.