

ZM R METROPOL ALANINDA MÜHENDİSLİK ANA KAYASININ JEOFİZİK ÇALIŞMALARLA ARAŞTIRILMASI

Mesut Gürler¹, Mustafa Akgün², Özkan Cevdet Özda³

¹Yük. Lis. Öğr., Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

²Profesör, Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

³Uzman, Rektörlük, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Email: mesutgurler@gmail.com

ÖZET:

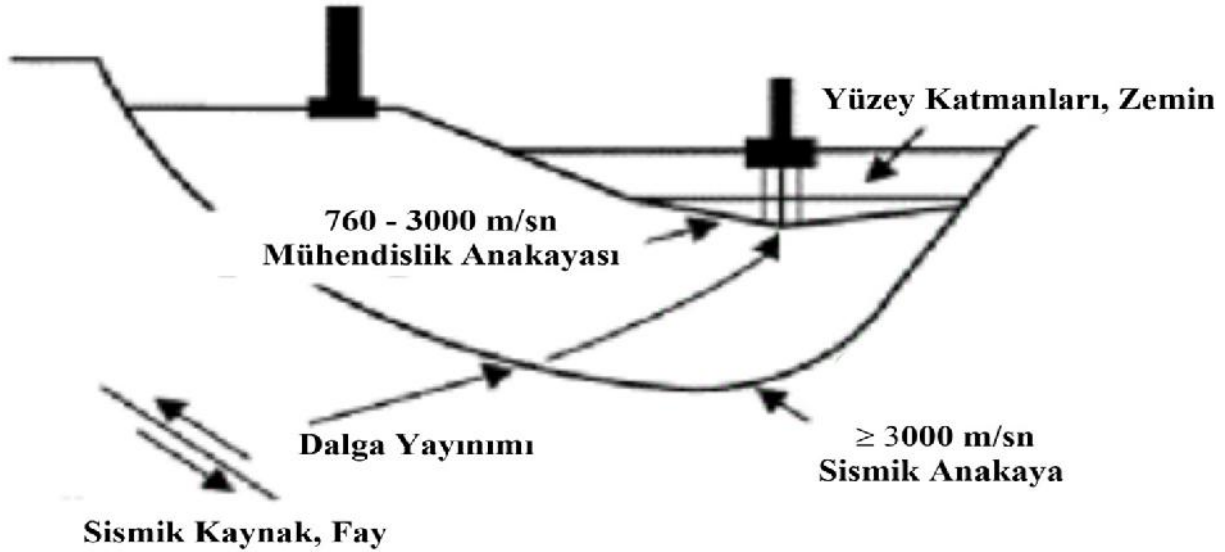
Güvenli yapı tasarımları yapılırken kullanılan zemin transfer fonksiyonunun belirlenmesi için zemin ana kaya ili kisini ve ana kaya derinliğini belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla çalışmaları yapılmıştır. Mikrotremor ölçümlerinin de erlendirilmesi ve yorumlanması sonucu gözlemsel HVSR e rileri elde edilmiştir. SPAC ölçümlerinin de erlendirilmesi için MASW ve Downhole ölçümleri sonucu elde edilen sismik hız modelleri yardımı ile bir ba langıç modeli belirlenerek yinelemeli olarak yapılan de erlendirmeler sonucu zemin ana kaya modeli oluşturulmuştur. Bu modelden kuramsal olarak HVSR e risi hesaplanmıştır. Bu kuramsal HVSR ile gözlemsel HVSR birbiri ile karşılaştırılarak optimize edilmiş ve SPAC de erlendirmesi sonucu elde edilen zemin ana kaya modeli denetlenmiştir. Ayrıca Nakamura hasar endeksi katsayıları hesaplanmıştır. Sonuç olarak çalışmaları alanında denize yaklaşık 300 – 400 m/sn de erlerine kadar dü tölü görülmüştür. MASW sonuçlarından yararlanılarak hazırlanan seviye haritalarında mühendislik ana kaya 40 metreden daha derin olduğu belirlenmiştir. SPAC ölçümleri ile mühendislik ana kayası irdelendiğinde 150 – 300 metre gibi sonuçlar elde edilmiştir. Nakamura hasar endeksi katsayılarının çalışmaları alanında denize yaklaşık 300 ve zemin kalınlığının arttığı bölgelerde yükseldiği gözlenmiştir. Bu durum zeminin bu bölgelerde elastoplastik ve/veya plastik davranış özellikleri gösterebileceğini göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Mühendislik Ana kayası, Zemin Transfer Fonksiyonu, SPAC, Hasar Endeksi

1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımda önce dıştan gelecek ve doğanın kontrolünde olacak olan deprem kuvvetinin yapı yapılacak noktaya özgü olarak tahmin edilmesi gerekir. Daha sonra bu kuvveti karşılayacak olan iç kuvvetler hesaplanır. Dış kuvvet olarak çoğunlukla deprem statik deprem yükü ile (pik yatay ivme de eri PGA) tanımlanır. İç kuvvetler de hem PGA hem de yapı yüksekliğine, malzemesinin sönüm ve rijitlik özelliklerine bağlı olarak hesaplanır. Bu hesaplamalarda önemli olan PGA de erinin yapı yapılacak noktaya özgün olarak elde edilmesidir. Bunun için yapı yapılacak nokta altındaki yer altı yapısının tanımlanması gerekir. Bu tanımlamalar yapılırken de zemin ve ana kaya kavramları kullanılır. Zemin ana kaya tanımları yapılırken S dalga hızı de erleri kullanılır (ekil 1). S dalga hızı 760 m/sn. den küçük olan ortam zemin, 760 m/sn.den yüksek olan ortamlarda ana kaya olarak tanımlanır (Kumar, 2007).

Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalar, aynı özellikteki yapıların, farklı zeminlerde ivme, hız ve yer de i tirme gibi parametrelere karşı farklı davranışlara sahip olduğunu ortaya koymuştur (Tu sal vd., 2007). Bu da olası bir depremlerde hasar ve kayıpların en aza indirgenebilmesi için yapıların in a edilecekleri zeminlerin iyi tanımlanması ve deprem, yapı, zemin ili kisinin iyi bir şekilde kurularak zeminin ve yapının deprem esnasında ve sonrasındaki davranışlarının belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.



ekil 1. Mühendislik ve sismik ana kayanın dinamik gösterimi (Kumar, 2007'den derlenmiştir.)

Deprem dalgalarının ana kayadan zemine nasıl aktarılacağı ve zeminden yüzeye ulaşana kadar genlik frekans değerlerinin nasıl değiştiği konusunda Quasi Transfer Spektrumları (QTS) bize yardımcı olur. QTS hesaplanırken;

- ✓ zeminin dinamik koşullardaki davranışlarını irdelemek için mühendislik ana kayası,
- ✓ deprem hareketini zemin yüzeyindeki etkilerini araştırmak için sismik ana kaya dikkate alınır.

QTS gözlemsel olarak elde edilebileceği gibi kuramsal olarak da elde edilebilir.

- ✓ Mikrotremör çalışmaları kapsamında Nakamura Tek Nokta ölçümlerinden gözlemsel QTS hesaplanmaktadır.
- ✓ MASW, SPAC gibi çalışmaların sonucunda elde edilen V_s , V_p , h , Q_s , Q_p parametrelerine bağlı yer içi hız modelleri, çeşitli algoritmalar yardımı ve Herak (2008) yaklaşımı ile değerlendirilerek kuramsal QTS elde edilir.

Bu çalışmada, zemin – mühendislik ana kayası modeli İzmir Körfezi çevresinde seçilen pilot bir alanda ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda MASW, tek nokta ve Array Mikrotremör (SPAC) ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Mikrotremör ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucunda gözlemsel Quasi Transfer Spektrumları (HVSR) elde edilmiştir. SPAC ve MASW çalışmalarından S dalga hızı derinlik profilleri hesaplanmıştır. S dalga hızı derinlik profillerini optimize etmek için de kuramsal ve gözlemsel hesaplanan Quasi Transfer Spektrumları arasındaki uyum derecesi araştırılmıştır. Ayrıca mühendislik anakayasası ve zemin yüzeyi arasındaki deformasyon değişimleri hakkında bilgi almak için Nakamura hasar endeksi katsayıları hesaplanmıştır.

2. UYGULANAN JEOFİZİK YÖNTEMLER VE SEÇİM

Zemin ana kaya modellerinde kullanılan temel parametre S dalga hızıdır. Ana kaya derinliğinin 30 metreden daha az olduğu koşullarda V_{s30} hızı temel alınır. V_{s30} hız değerlerinin elde edilmesinde Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Analizi Yöntemi (MASW) ve kuyu içi sismik yöntemler (down-hole, cross-hole ve PS logging) başarıyla kullanılmaktadır. Derinliğinin 30 metreden daha fazla olduğu koşullarda ise V_{s30} yerine S dalga hızı derinlik profillerinin ana kaya dahil olmak üzere tanımlanması gerekir. Bu koşulda gerekli araştırma derinliği temel alınarak uygun yöntemlerin kullanılması gerekir. Ortalama 50 metre derinlik için MASW ve

kuyu içi sismik çalılar kullanılabılır. Daha derin amaçlı çalılar malarda kuyu içi sismik ve Mikrotremor dizilim yöntemleri (SPAC) kullanılır. Ana kaya modelleriyle quasi transfer spektrumları hesaplanabilir.

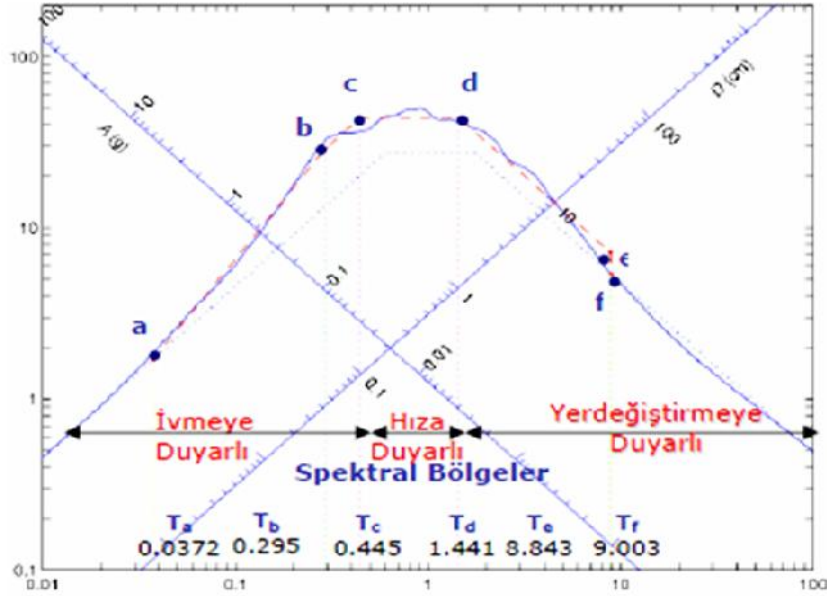
S dalgasının derinliğin fonksiyonu olarak yüksek ayrımlılık ve doğrulukta belirlenmesi, çoğunlukla dispersiyon ve risinin tam olarak elde edilmesine bağlıdır. Çünkü dispersiyon ve risinin elde edilmesi en kritik amadır ve ters çözümleme ile elde edilen V_S hız profilinin doğruluğu büyük oranda frekansa ve faz hızına bağlı olan dispersiyon ve risinin doğruluğuna ve özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle arazi verilerinden dispersiyon ve risinin belirlenmesi çalılarında, çok istasyon verisinin f – k ve f – p dalga alanı dönüşüm yöntemlerine bağlı olarak çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) (Park vd., 1998; 1999) tekniği kullanılmıdır.

Mikrotremor ölçümleri, tek istasyon yöntemiyle 3 bileşenli yapılmı olup alınan mikrotremor hız kayıtları, SESAME kriterleri (en az 10 pencere, pencere boyu 25-100 sn, vb.) esas alınarak, yatay ve dikey bileşenlerin oranlanmasına dayanan spektral oran yöntemiyle değerlendirilmiştir (Nakamura, 1989; SESAME, 2004). Mikrotremor ölçümleri sonucunda elde edilen veriler, SESAME projesi kapsamında geliştirilen Geopsy paket programı ile değerlendirilmiştir. Yüksek periyot (alçak frekans) değerlerindeki genlik değerlerinin dikkate alınmak için pencere uzun tutulmuştur. Ayrıca, Geopsy programında verilere FFT (Fast Fourier Transform) uygulanması sebebiyle, veri sayısını 2^n e tamamlamak için pencere boyunun uygun seçilmesi gerekir. Bu nedenden dolayı veri değerlendirilmelerinde zaman ortamı pencere boyu 81,92 saniye olarak kullanılmıdır. Ölçü alınırken kullanılan cihazın frekans ortamı örnekleme aralığı 100 Hz olduğudünyerse FFT uygulanan 81,92 saniyelik her bir pencerede $8192 (2^{13})$ adet veri kullanılmıdır.

SPAC yönteminin temelini, yerin doğal salınım (titreşim) kayıtlarından Rayleigh dalgalarının elde edilmesi oluşturur ve Aki (1957), yaptığı çalılara göre yöntem titreşimlerin zaman–uzayda stokastik bir olay olduğunvarsayımına dayanmaktadır. Stokastik bir titreşim olan SPAC yönteminin kuramına göre tüm yönlerden gelen izotropik dalgalar olarak adlandırılan titreşimlerden alınan kayıtlarla yakın yüzey yer yapısını belirlemeye çalışılır. SPAC yönteminin temel ilkeleri;

- ✓ Titreşimlerin karmaşık dalga hareketlerinin, zamanda ve uzayda yapılan stokastik bir titreşim olduğunünyülen bir yöntemdir.
- ✓ Dairesel dizilimle belirlenen titreşim verisi için, uzaysal öziliği katsayısı, yüzey dalgaları gibi dispersif olan titreşimlerin oluşturduğudalgalarla tanımlanabilir.
- ✓ Uzaysal öziliği katsayısı, faz hızı ve frekansın bir fonksiyonudur.

Zemin, ivme, hız ve yer deşirmeye parametrelerine farklı seviyelerde duyarlılık gösterebilmektedir. Etil 2' de deprem toplumu için ivme, hız ve yer deşirmeye duyarlı spektral bölgeleri içeren üç parçalı elastik karışıklık spektrumu verilmiştir. Buradan ivmeye ve hıza duyarlı bölgelerin birbirinden $T_c=0,445$ saniyede ayrıldığı görülmektedir. Benzer şekilde, hız ve yer deşirmeye duyarlı bölgeler için $T_d=1,441$ saniye olmaktadır (Tunçsal vd., 2007).



ekil 2. Deprem toplumu için üç parçalı karılıklı spektrumu (Tural vd., 2007)

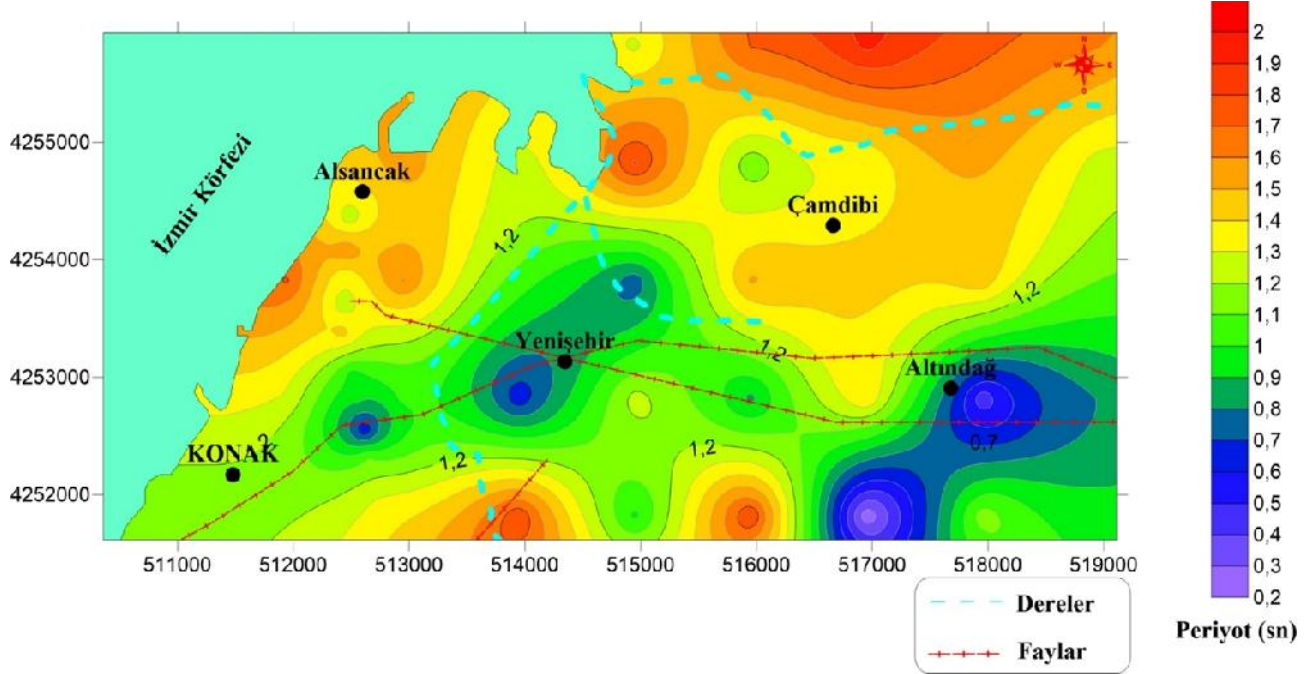
3. ÇALIŞMA ALANI VE UYGULAMALAR

Bu çalışmada kapsamında, zemin-mühendislik ana kayası modelinin belirlenmesi için İzmir Metropolü sınırları içerisinde belirlenen bir çalışma alanı (ekil 3) belirlenmiştir. 46 noktada elde edilen Mikrotremör ve 36 noktada elde edilen MASW verileri değerlendirilmiştir. Çalışma alanında 3 nokta da SPAC ölçümü yapılmış ve değerlendirilmiştir. Bunlara ek olarak 2 tanesi SPAC noktalarının da olmak üzere 4 tane down-hole ölçümü verileri elde edilmiştir.



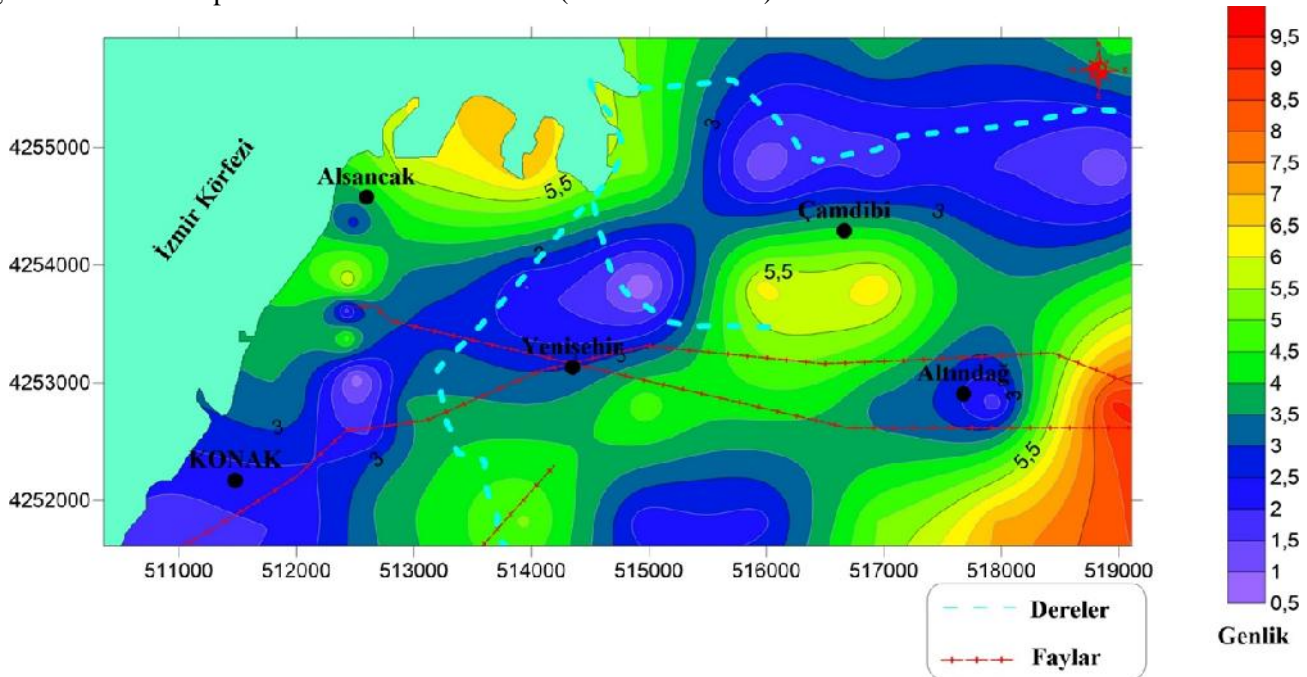
ekil 3. Çalışma alanı jeofizik ölçü lokasyonları

Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinden sonra, pik genliklere karşılık gelen frekans değerlerinden hesaplanan, zemin hakim titreşim periyodu değerlerinden elde edilen pik periyot dağılım haritası (ekil 4) hazırlanmıştır.

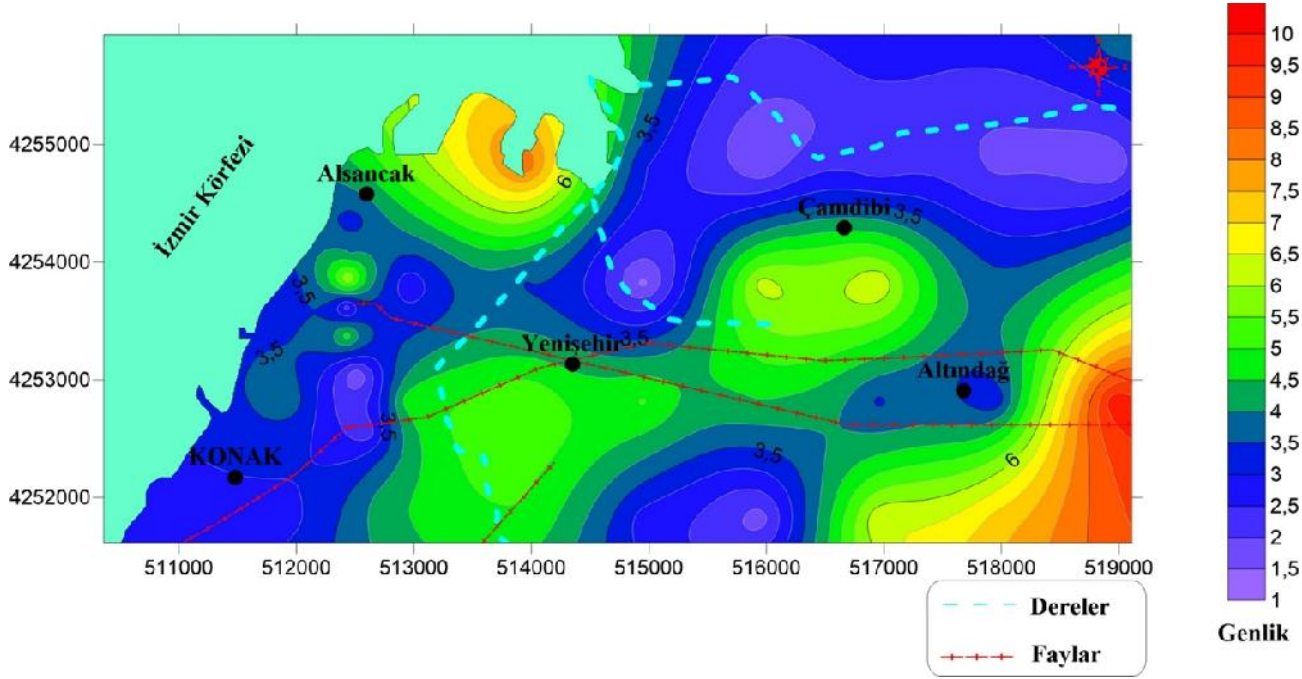


ekil 4. Zemin hakim titreşim periyodu dağılım haritası

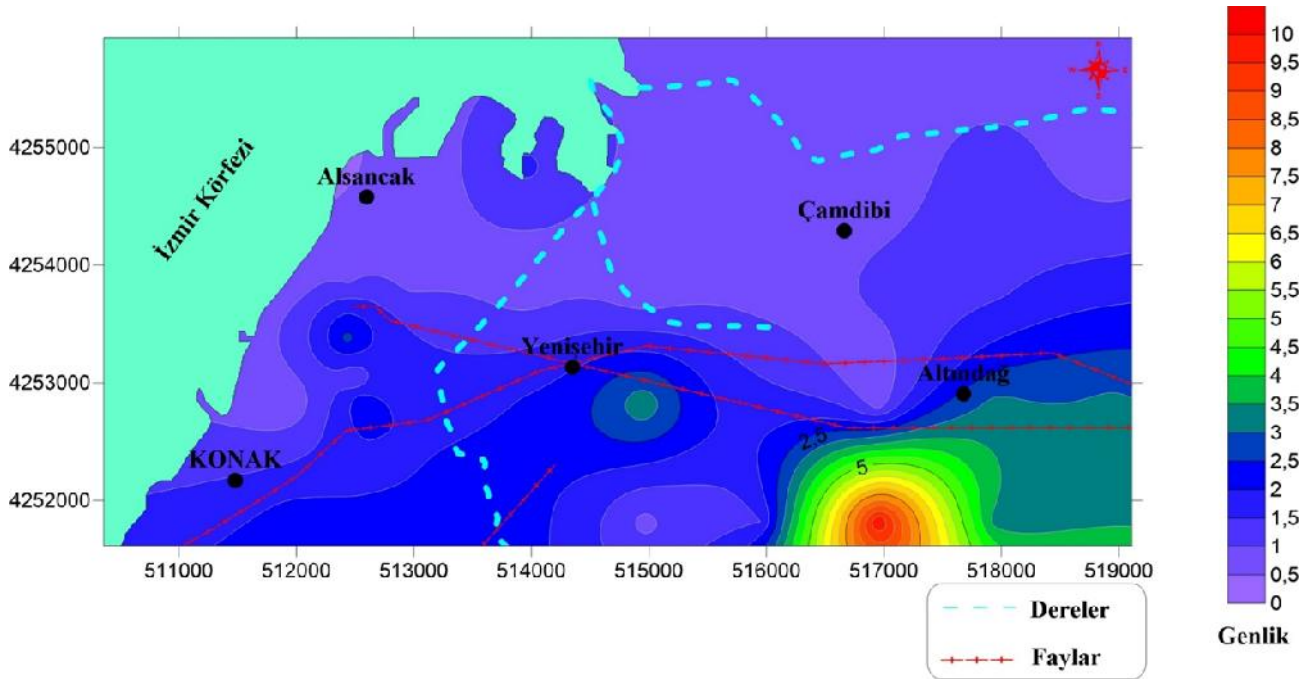
Yapı periyot duyarlılık sınıflamalarının belirlenebilmesi amacıyla, ivmeye ve hız duyarlı bölgelerin birbirinden farklılık göstermesi, (2007) kabulü ile her bir nokta için yer deprem titreşim duyarlılık, hız duyarlılık ve ivme duyarlılık pik genlik değerleri tespit edilmiştir ve haritalanmıştır (ekil 5 – ekil 7).



ekil 5. Yer deprem titreşim duyarlılık haritası

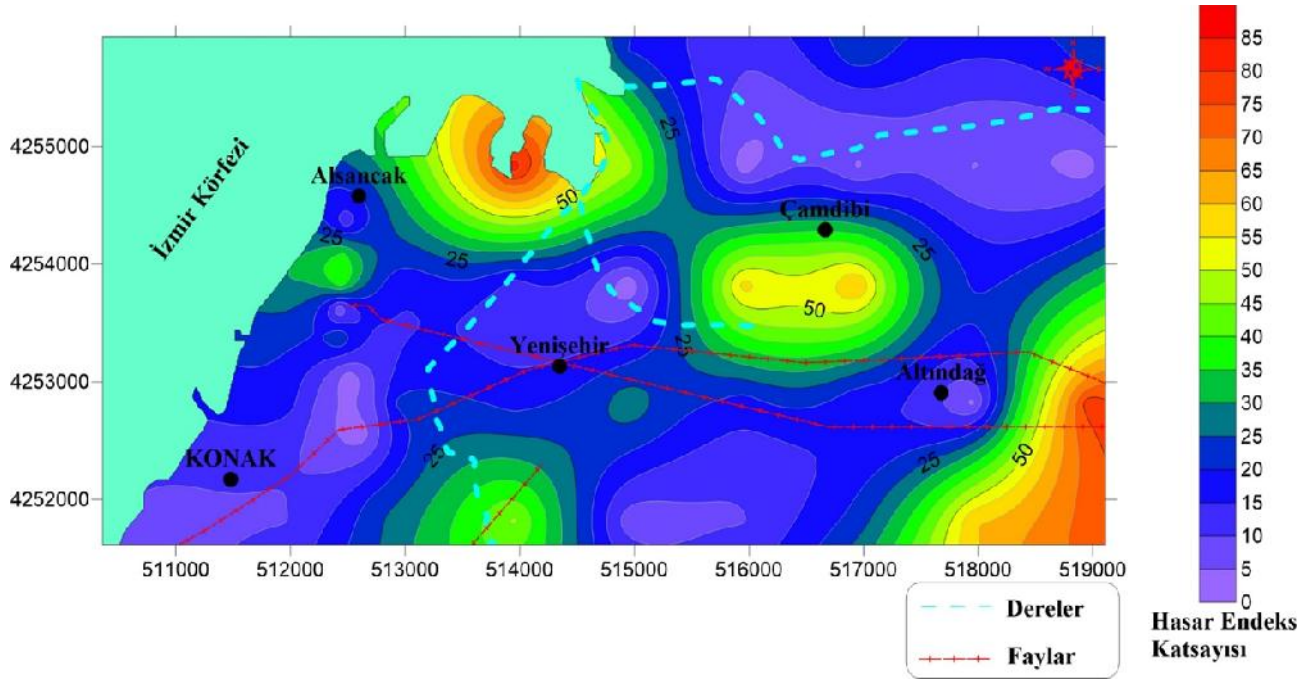


ekil 6. Hız duyarlılık haritası



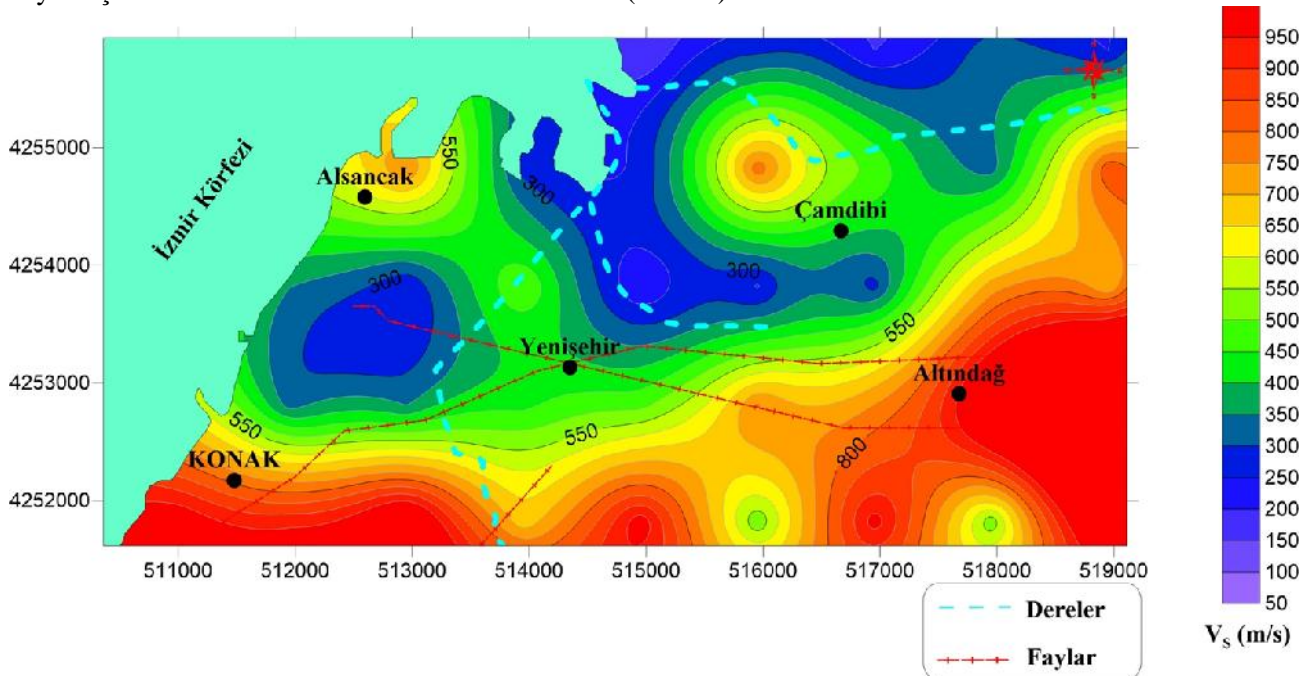
ekil 7. vme duyarlılık haritası

Aynı zamanda hasar endeks katsayısı (Nakamura, 1989) her bir mikrotremor noktası için hasar endeks katsayısı elde edilmiş ve hasar endeks katsayısı dağılımı haritası (ekil 8) oluşturulmuştur.



ekil 8. Nakamura hasar endeksi katsayısı dağılım haritası

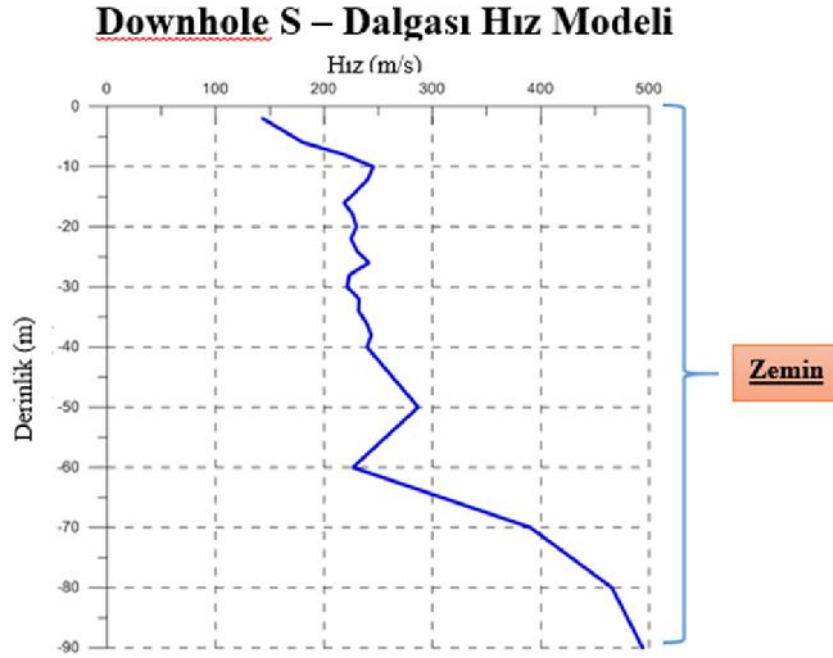
MASW verilerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen bir boyutlu V_s – Derinlik kesitlerinden, 40 metre derinlik seviyesi için hız değerleri okunmuş ve haritalanmıştır (ekil 9).



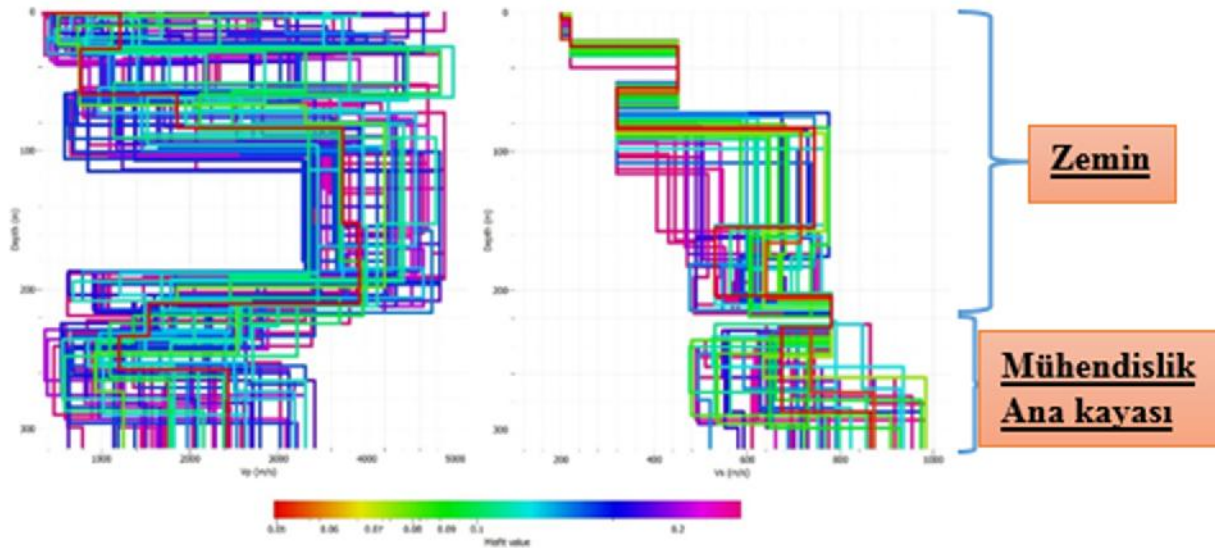
ekil 9. 40 metre derinlik seviyesi için V_s hızı dağılım haritası

Down-Hole ölçümü değerlendirilmesi sonucu V_s hızı – derinlik kesiti elde edilmiştir (ekil 10). SPAC yönteminin hassasiyeti ise ters çözüm problemi sırasında kullanılan başlangıç modeli seçimi ile doğrudan orantılıdır. Dolayısıyla QTS pik genlik frekans değerleri ile MASW ve Down-Hole ölçümleri sonucu elde edilen sismik hız

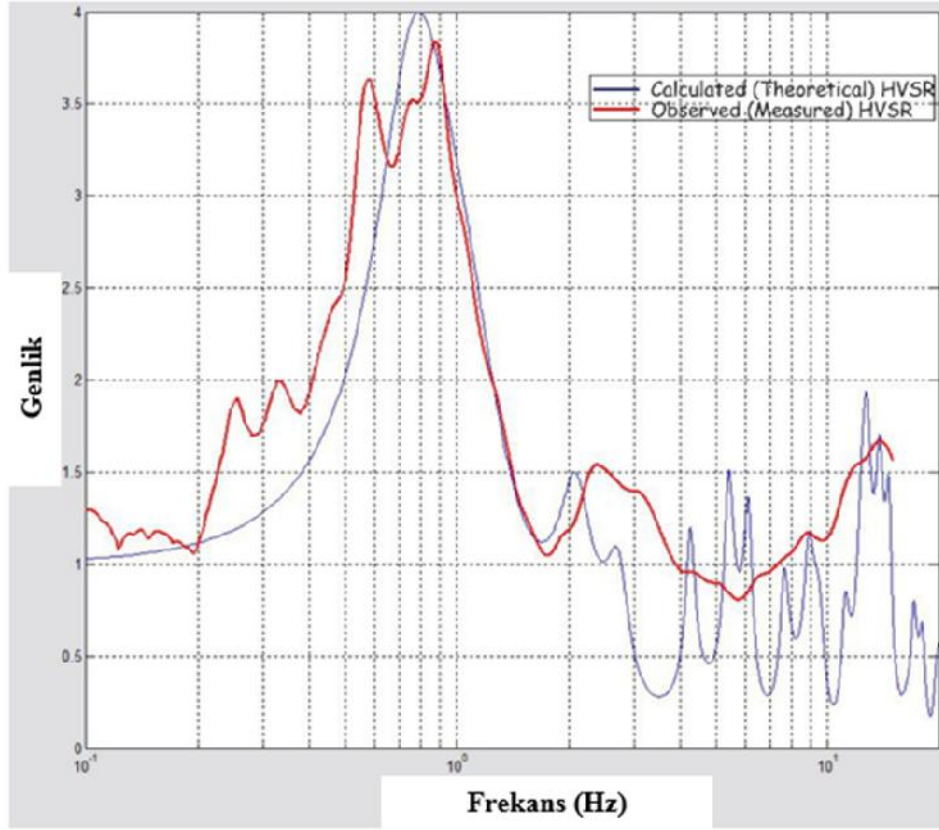
modellerinden yararlanılarak SPAC de erlendirmesi için bölgeye uygun ba langıç modelleri olu turulmu tur. SPAC ölçümleri sonucu elde edilen S-dalga hızı, P-dalga hızı, tabaka kalınlıkları ve yo unluk de erleri belirlenmi tir (ekil 11). SPAC sonucu elde edilen hız profilleri zemin ana kaya modelleri olarak kabul edilmi tir. SPAC dan elde edilen parametreler kullanarak kuramsal QTS hesaplanmı ve gözlemsel QTS ile kar ıla tırma (Herak (2008) yakla ımı ile) yapılarak optimize edilmi tir (ekil 12).



ekil 10. Down-Hole 3 noktası de erlendirme sonucu



ekil 11. SPAC 2 noktası de erlendirme sonucu



ekil 12. SPAC 2 noktası gözlemsel ve kuramsal HVSR e rileri

4. SONUÇLAR

Mikrotremor de erlendirmeleri sonucunda elde edilen hakim titre im periyodu de erlerinin 0,2 saniye ile 1,9 saniye arasında oldu u görülmektedir. Harita incelendi inde, özellikle dere yataklarına yakın alüvyonal zeminlerde $T > 1$ sn ve pik periyot de erlerinin yüksek oldu u görülmektedir. Bu durum ise deprem etkisinin, yüksek katlı binalarda hız ve yer de i tirme etkisi ile baskın olaca nı i aret etmektedir. Nakamura hasar endeksi katsayılarının çalı ma alanında denize yakla tıkça ve zemin kalınlı nın arttı ı bölgelerde yükseldi i gözlenmi tir. Bu durum zeminin bu bölgelerde elastoplastik ve/veya plastik davranı özellikleri gösterebilece ine i aret etmektedir.

MASW ölçümleri ile elde edilen sismik hızlardan bölgeye ait farklı derinlik seviyeleri için V_s hızı da ılımları elde edilmi tir. Çalı ma alanı içerisindeki özellikle 30 – 40 metrelerden sonra 700 m/sn ve üzerinde bir V_s hızına sahip olan bölgelerde zeminin ilk bakı ta mühendislik ana kayası özelli i gösterebilece i ekinde bir kanı olu sa da, Down-Hole ve SPAC çalı malarında bu durumun devamlılı ı gözlenememi tir. Bu da bize mühendislik ana kayasının kalın alüvyonal birikimin oldu u bölgelerde MASW yöntemi belirlenmesinin çok sa lıklı olmayaca nı göstermektedir.

Bölgede yapılan jeofizik çalı malar sonucu mühendislik ana kayası derinli inin 150 – 300 metrelerde oldu u belirlenmi tir. Bu aralı ın bu kadar geni olmasından dolayı bölgesel tanımlamalardan kaçınılmalı, bunun yerine zemin – mühendislik ana kayası modellerinin yapı yapılacak noktaya özgü olarak olu turulması ve zemin dinamik analizlerinde bu modellerin kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aki, K. 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, p. 415-457.
- Herak, M., (2008). Model HVSR-A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computer and Geosciences*, 34, 1514-1526.
- Kumar, S. (2007). Seismic Microzonation Framework – Principles & Applications. http://www.civil.iisc.ernet.in/~microzonation/workshop_files/paper%203.pdf, 27 p.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground subsurface. *Quarterly Report of RTRI, Jpn.* 30:1, 25-33.
- Park, C. B., Miller, R. D., ve Xia, J. (1998). Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record: *68th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts*, p. 1377-1380.
- Park, C. B., Miller, R. D., ve Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves: *Geophysics*, v. 64(3), 800-808.
- SESAME (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation. http://sesame.geopsy.org/Papers/HV_User_Guidelines.pdf, 62 p.
- Tu sal, Ü. M., Kara, F. ., Ta kın B. ve Sezen, A. (2007). Türkiye deprem kayıtları kullanılarak hedef yer de i tirmelerin hesabı için iki ampirik formül. *6. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi*, TÜ Sileyman Demirel Kültür Merkezi, İstanbul. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/2565.pdf>