

## YÜZEY DALGASI ETÜT SONUÇLARININ ENTEGRASYONU LE GÖLYAKA-DÜZCE TEKTONİK BASENİN OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKESİNİN ERLENDİRİLMESİ

K. Yousefi-Bavil<sup>1</sup> A. M. Eker<sup>2</sup> S. Cambazolu<sup>3</sup> M. K. Koçkar<sup>4</sup> H. Akgün<sup>5</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Email: [kousefibaivil@gmail.com](mailto:kousefibaivil@gmail.com)

<sup>2</sup> M.Sc., SDS Enerji A.Ş., Ankara

Email: [merteker@gmail.com](mailto:merteker@gmail.com)

<sup>3</sup> M.Sc., SDS Enerji A.Ş., Ankara

Email: [selincambaz@gmail.com](mailto:selincambaz@gmail.com)

<sup>4</sup> Uzman Dr., Deprem Müh. Uygulama ve Araştırma Merkezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

<sup>5</sup> Profesör, Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

### ÖZET:

Bu çalışmanın amacı yerel zemin koşullarının karakterizasyonu ve olasılıksal sismik tehlike de erlendirme çalışmaları ile Gölyaka-Düzce basenindeki Plio-Kuvaterner çökellerin yerel saha etkilerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Çalışma alanı, Doğu Marmara Bölgesinde yer almakta olup, bu kesimde iki kola ayrılan Kuzey Anadolu Fay Sisteminin (KAFS) kolları arasında bulunmaktadır. Bu tektonik basen güneyden ve kuzeybatıdan sırasıyla 1999 Düzce ve 1999 Kocaeli Depremlerinin yüzey kırıkları ile sınırlanmaktadır. Bölgedeki yerel zemin koşulları, belirlenen noktalarda gerçekleştirilen aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemleri ile yapılan sismik karakterizasyon çalışmaları ile de erlendirilmiştir. Çalışmada, aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemlerinin birleştirilmesi ile sıradırinliklerde yüksek çözünürlük korunurken aynı zamanda daha derin kayma dalgası hızı (Vs) profilleri de elde edilmiştir. Bu profiller hesaplamalara dahil edilerek olasılıksal sismik tehlike de erlendirme (OSTD) çalışması kapsamında, dört farklı yeni nesil yer hareketi tahmin denklemi kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar, 50 yıl içerisinde %10 a ılma olasılığı yani 475 yıllık bir geri dönü süresinde en büyük yer ivmesi (PGA) g de erleri için gerçekleştirilmiştir. Yapılan OSTD analizleri, deprem büyüklüğü, kayna a yakınlık ve yerel zemin koşullarının bu bölgede meydana gelme de premlerde gözlemlenen hasar da ılımında ciddi bir rol oynadığını göstermiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Yerel saha koşulları, OSTD, Kuzey Anadolu Fay Sistemi, Düzce-Gölyaka

### 1. GİRİŞ

Son otuz yılda gerçekleştirilen en yıkıcı depremlerin neredeyse tamamı yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerinde ciddi bir etkisi olduğunu açıkça ortaya koymuştur (örn. Rodriguez-Marek v.d., 2001; Rahtje v.d., 2005; Koçkar ve Akgün, 2012). Yakın zamanda gerçekleştirilen en yıkıcı depremlerin neredeyse tamamı (Spitak, Ermenistan 1988, İran 1990, Northridge 1994, Kobe 1995, Chi-Chi, Tayvan 1999, Kocaeli ve Düzce 1999, Yeni Zelanda 2010, Van 2011) saha etkilerinin öneminin kanıtını arttırıcı özelliğe sahiptir. Dolayısıyla, yer hareketinin mekansal de erimini anlamada zayıf zeminlerin karakterize edilmesi büyük önem teşkil etmektedir. Topoğrafik ve basen etkileri, saha rezonansları, keskin empedans farkları (kontrast) ve yerel sarsıntıyı etkileyen daha derin jeolojik yapılar ve düzensizlikler saha sınıflandırmasının bir çok koşulda ana olarak  $V_{S30}$  de erine dayandırılmasının ayrı basitleştirilmiş bir yaklaşım olduğunu detayları ile ortaya koymaktadır (Koçkar ve Akgün, 2010; . Bu konudaki eksikliklerin giderilmesi hususunda başka saha sınıflama sistemleri önerilmi olsa da (örn., Rodriguez- Marek v.d., 2001; Cadet v.d., 2008),  $V_{S30}$  parametresine bağlı olarak uygulanan mevcut standart sismik tasarım kodlarına

(EC8, IBC 2009) hali hazırda adapte edilmemiş Cox v.d., (2011). Düzce depreminde Gölyaka ve Düzce'nin etkilenen alanlarının sismik tehlike farkındalığı ile tekrar inşaat edilmesi halinde, yeni yapılaşma Uluslararası Tasarım Kodu [IBC 2009 (ICC, 2009)] veya Türk Sismik Kodu'nda (TSC, 2007) yer alan sismik standartlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Modern bina (tasarım) kodlarındaki sismik hususlar için gerekli önemli adımlardan biri yapının maruz kalacağı sismik tasarım kuvvetlerinin belirlenmesi için gerekli olan sismik saha sınıflarının belirlenmesidir. Kod tabanlı sismik saha sınıflandırması, sahadaki ilk 30 m'lik zeminin yeraltı karakteristiklerini temel alır (örn. zemin-kaya sıkılığı (stiffness), tabakalanma vs.) Dobry v.d., (2000). Çalınan alan önemli deprem üretme potansiyeline sahip, Türkiye'deki ana aktif fay sistemlerinden biri olan Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin (KAFS) yer aldığı Doğu Marmara Bölgesinde yer almaktadır. Bu alan KAFS'in iki kola ayrıldığı özel bir alanda yer almaktadır ve bu tektonik basen güneyden 1999 Düzce depreminin, kuzeybatıdan da 1999 Kocaeli depreminin yüzey kırıkları ile sınırlandırılmaktadır. 12 Kasım 1999 tarihinde Düzce'de 7.2 ( $M_w$ ) büyüklüğünde deprem gerçekleşmiştir. Bu yıkıcı bir deprem olup, 763 kişinin can kaybına ve 4493 kişinin yaralanmasına neden olmuştur Özmen ve Başcı, (2000).

Bu çalışmada, araştırma alanının yerel saha koşulları ve çökellerin karakteristikleri pasif (Titre imci Dizi Ölçümü, MAM) ve aktif (Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi, MASW) yüzey dalgası sismik yöntemleri ile 29 noktada incelenmiştir. Saçılma hızlarının bir araya getirilmesi ile yüksek çözünürlüklü Vs profilleri başarıyla oluşturulmuştur. Çalınan alan için olasılıksal sismik tehlike değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir (OSTD) ve dört farklı yer hareket tahmin denklemi kullanılarak bu analizlerde %10 olasılık ile 50 yıllık maksimum olasılıkları göz önünde bulundurulmuştur. OSTD analizleri deprem büyüklükleri, kaynağa yakınlık ve yerel saha koşullarının 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra da gözlemlendiği gibi hasar düzeni üzerinde önemli etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

## 2. DEPREMSELLİK

12 Kasım 1999 Düzce depremi, yıkıcı olarak sınıflandırılan 1999 Marmara depremlerinden ikincisidir ve 45 km yüzey kırığı olmasına neden olmuştur. Kırık üzerinde yatayda 3 m ve düşeyde 5 m deplasman gerçekleşmiştir Taymaz, (1999). Kırık hattının batı ucunda 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin doğu ucunun bulunduğu yer civarındadır Barka, (1999b). Aktif bir sağı-yanal atımlı fay olan KAFS batıya hareket eden Anadolu bloğunu kuzeyden sınırlamaktadır. Bu fay zonu, daha önceki K-G çarpışması fazının olduğu bir kenet kuşağı olan daha önceden mevcut bir kabuk zayıflığını takip eden bir transform marjini temsil etmektedir. GPS ölçümleri Anadolu bloğunun kuzey kısmında 20-30 mm/yıl gerilme hızlarını ortaya koymuştur Reilinger v.d., (2000); Kahle v.d., (2000) ve gerilme vektörleri en doğu kesimde BKB, orta kesimde -D-B ve Ege bölgesinde G-K yönlüdür. Kuzey Anadolu Fayı, Bolu li'nin batısından kuzeyde Düzce fayı ve güneyde Mudurnu fayı olarak iki ana kola ayrılmaktadır. Ayhan v.d. (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya göre Düzce fayı KAFS üzerindeki gerilmenin %33 ila %50'sini üstlenmektedir (~100 mm/yıl). Düzce fayı Almacık bloğunun Paleozoyik-Eosen formasyonlarını, Düzce çek-ayır havzasının Pliyosen-Kuvaterner karasal çökellerinden ayırmaktadır. Düzce fayı doğuda Kocaeli depremi yüzey kırığının Karadere segmanına komudur. Karadere ve Düzce fayları herhangi bir sıçrama (step-over) olmadan bir fay kesimi ile birleşerek ikiye ayrılan (diverging) yanıl-atımlı kol oluştururlar. Bu geometrik düzenin uzun dönem morfolojik etkisi, kama ekinde bir havza olan Gölyaka bölgesinde serbestleşme/gevreye (releasing) bir fay kaması oluşturmaktadır Pucci v.d., (2007). Düzce fayı doğuda BKB-DGD yönelimli Bakacak ve Elmalık fayları tarafından oluşturulan bir sağı-serbestleşme sıçrama (releasing step-over) ile tek koldan KAFS'a birleşmektedir. Bunun aksine fayın batı kısmında Zmit Fayını sınırlayan BGB-DKD yönlü Karadere segmanından ayrılmaktadır. Lettis v.d. (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya göre, Düzce fay segmanının batı sınırı Kocaeli depremi yüzey kırığının sınırını oluşturduğu düşünülen Karadere segmanı ile birlikte kompleks bir sağı-serbestleşme sıçrama oluşturmaktadır. Sonuç olarak bu serbestleşme zonu günümüz Düzce havzası çökeli merkezi olan Eften Gölünü kontrol etmektedir Pucci v.d., (2007).

### 3. JEOLOJİ

Temelde eklemlili ve çatlaklı metagranit, amfibol ve gnaistan olu an Prekambriyen Yedigöller Formasyonu yerel jeolojik temeli te kil etmektedir Aydın v.d., (1987). Üst Kratese Akveren Formasyonu killi kireçta ı ve marn depozitlerini ardalanmalı olarak içermektedir. Kratese ya lı jeolojik birimler, Eosen ya lı Yı lıca Birimi (Ty) (andezit, bazalt) ve Çaycuma Formasyonunun (Tcy) (kumta ı, çamurta ı ve kireçta ı) üzerine bindirmi tir. Peki memi Pliyo-Kuvaterner Karapürçek Formasyonu ve Kuvaterner alüvyon daha ya lı birimler üzerinde uyumsuzlukla yer almaktadır. Çalı ma alanının ana jeolojik yapısı kuzey Türkiye'nin neredeyse tamamında yer alan KAFS'ın D-B yönelimli kuzey segmanı olan Düzce Fayıdır. Düzce fayı alanın deformasyonu ve morfolojik evriminde önemli bir rol oynamaktadır. Fayın sa yanal-atımlı hareketi 260 metreye kadar kalınlı a sahip çökel dolgulu çek-ayır havza çökelleri, Düzce Ovasını olu turmaktadır. Çakıl, kum, silt ve kil içeren peki memi sedimanlardan olu an Kuvaterner ya lı (Q) di er formasyonları örten alüvyon sedimanları akarsu faaliyetinin sonucu çöklemi tir im ek ve Dalgı, (1997).

### 4. ARAZ ÖLÇÜMLER VE VERİ ANALİZLERİ

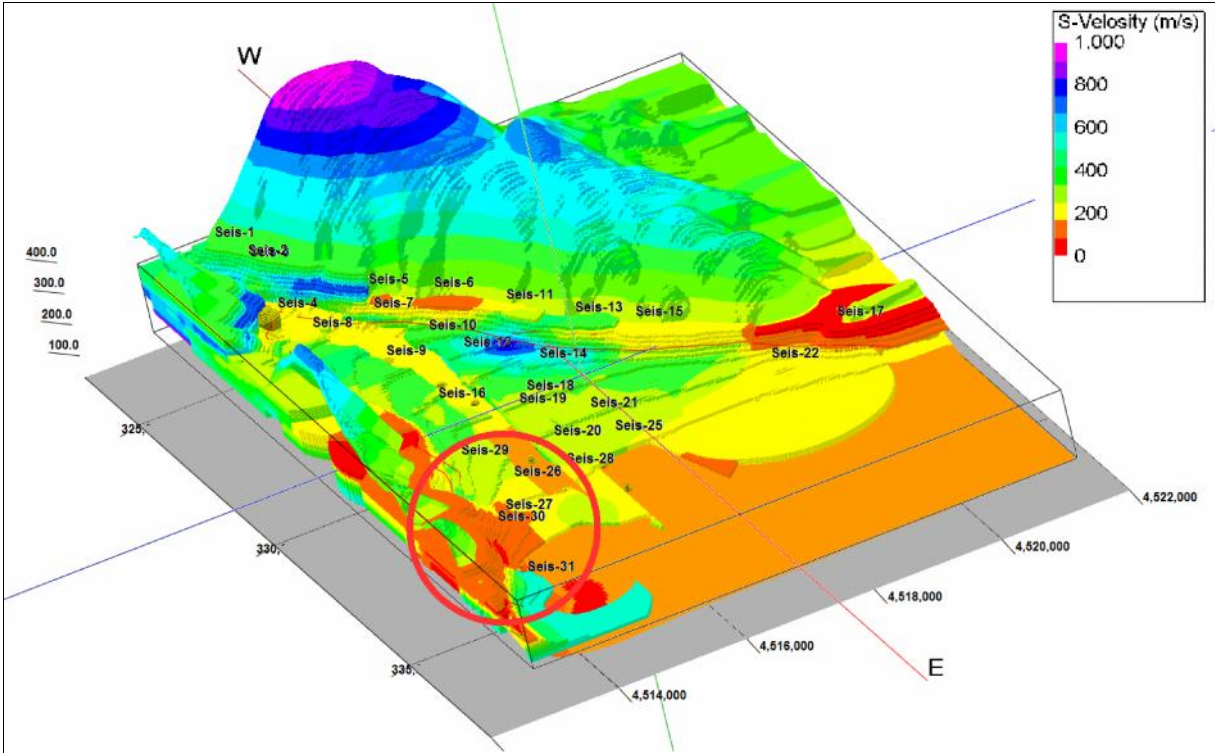
Bu çalı mada 16.5 metre do rusal serim düzeninde 1.5 m jeofon aralı ı (5 m ofset) ile MASW ve 110 metre do rusal serim geometrisinde 10 m jeofon aralı nda (10 m ofset) MAM ölçümleri alınmı tir. Her iki ölçüm de çalı ma alanında belirlenen 29 farklı nokta uygulanmı tir. Bu iki yöntemden elde edilen saçılma (dispersion) e rilerinin bir araya getirilmesi ile sismik karakterizasyon için yüksek çözünürlüklü 1-B kayma dalgası  $V_s$  profilleri elde edilmi tir. Çalı ma alanında gerçekte tirilen yüzey dalgası yöntemi sonucunda 3-B hız modeli olu turulmu tur ( ekil 1). Anakayanın sı durumda bulundu u Gölyaka'nın batısında,  $V_s$  hızları ince alüvyon örtüden itibaren derinlere do ru hızla artmaktadır. Basenin ortasına do ru tabakalar kalınlı tıkça  $V_s$  ölçümleri göreceli olarak daha dü ük de erdedir ( ekil 1). ekil 1'deki 3-B hız modelinden görülebilece i üzere, MTA (2012) tarafından önerilen aktif fay haritasına göre Seis 27, 29 ve 30 ölçüm noktaları Düzce fayı üzerinde yer almaktadır. Ayrıca Eften Gölü'nün güney sınırında ve Düzce fayının olu turdu u zonlarda yer alan ölçümlerde zayıf karakterde yumu ak göl çökellerinin meydana getirdi i kalın örtü de dü ük  $V_s$  de erlerinin gözlemlenmesine neden olan önemli faktörlerdendir. Ayrıca, alanın güneydo u ve güney kısmında da dü ük  $V_s$  de erleri gözlemlenmi tir. MASW kayıtları için faz kayması yöntemi Park v.d., (1999) ve MAM kayıtları için Mekansal Oto-Korelasyon 2-B çevrim (Okada, 2003) seçilmi tir. Son olarak, nihai  $V_s$  profilinin olu turulması için elde edilen saçılım e risi üzerinde do rusal olmayan en küçük kareler yöntemi ile ters-çevrim i lemi gerçekte tirilmi tir. Bu adımda, faz hız-frekans grafikleri (saçılma e risi), göreceli sinyal-gürültü oranı ile veri noktalarının kalitesi kontrol edilmi tir. Çalı ma alanında farklı lokasyonlardaki ölçümlerden elde edilen i lenmi hız profilleri ve bunların saçılma e rilerinin örnekleri ekil 2 ve 3'te görülebilir. Saha etkisi de erlendirmesi ve mikrobölgeleme amacıyla  $V_{s30}$  ve zemin sınıflarının mekansal da ılımları belirlenmi tir.

### 5. TARTI MA

Saha etkisi açısından alüvyon çökeller ile di er sedimanlar ve yumu ak sedimanter kayaçlar en önemli jeolojik birimleri te kil etmektedir. Bu birimlerin zayıf dinamik zemin özellikleri ve bu özellikler ile anakaya arasındaki yüksek empedans farkından dolayı yüksek zemin büyütme beklenbilir. A a ıdaki bölümde  $V_{s30}$  ve OSTD sonuçları verilmi tir.

#### 5.1. $V_{s30}$ sonuçları

Yüzey dalgalarının ölçümüne dayanan yöntemlerin sonuçlarının birle tirilmesiyle elde edilen kayma dalgası hız profilleri incelendi inde, alüvyon çökellerin ilk 10-15 metresinde kayma dalgası hız de erlerinin 98 ile 197 m/s arasında de i ti ini göstermektedir. Alüvyon veya teras çökelleri içeren havza sınırı civarındaki nispeten yüksek rakımlarda gözlemlenen de erler IBC 2009 koduna göre D ve E sınıfları içerisinde yer almaktadır. TSC, 2007 koduna göre ise bu birimler Z4-C ve Z3-D zemin sınıfına girmektedirler.

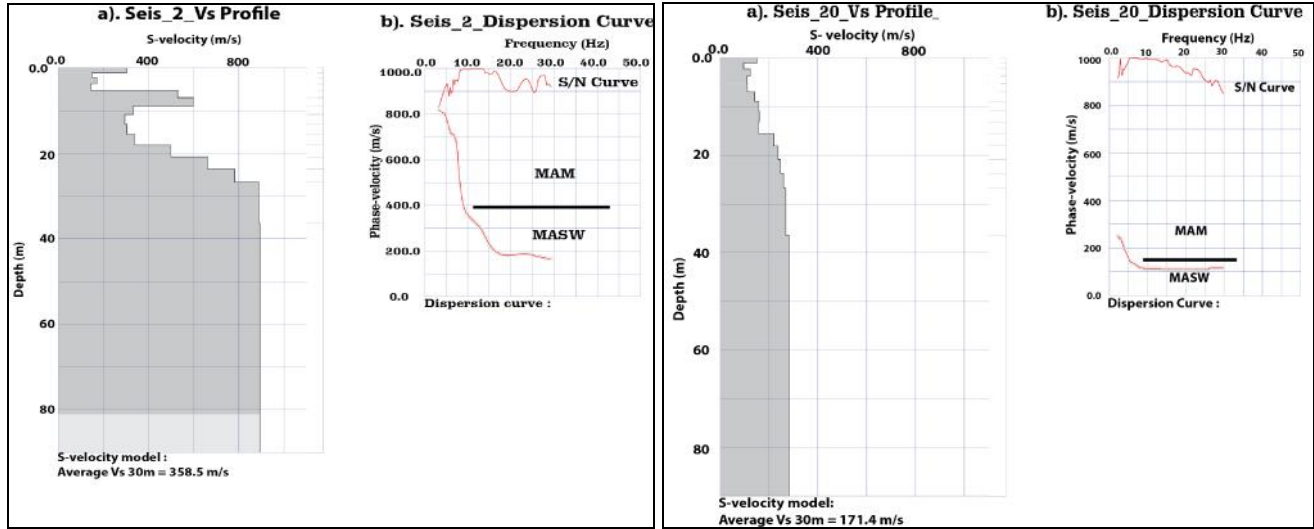


ekil 1. Sismik yüzey dalgası saha verisinden elde edilen çalınma alanının 3-B  $V_s$  profili ve kırmızı daire ile işaretlenmiş 1999 Düzce depremi kırınımları üzerinde yer alan ölçüm noktaları

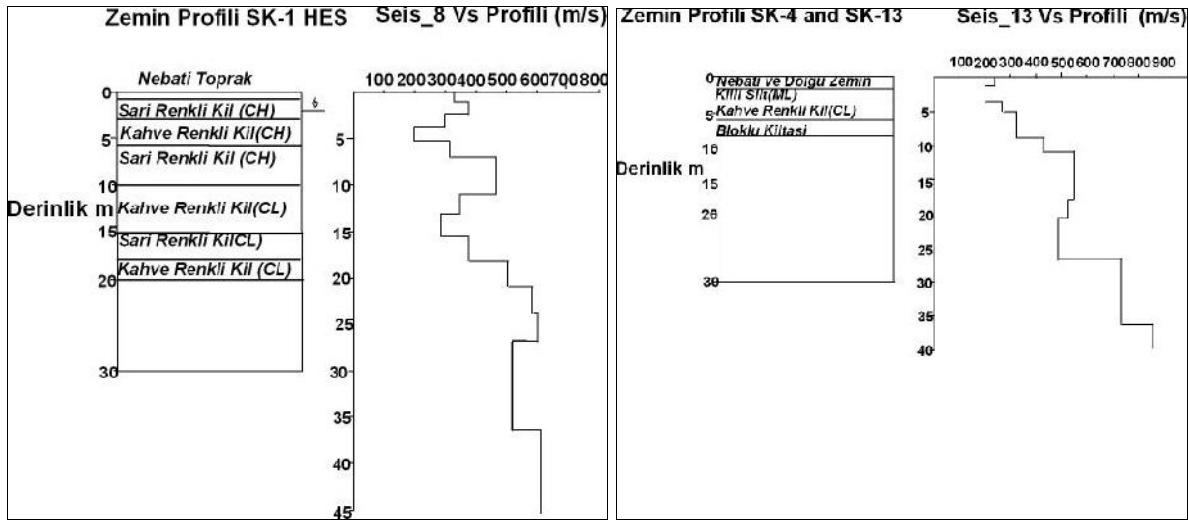
Sahadaki heterojenlik göz önünde bulundurulduğunda, saha sınıflarının belirlenmesi için sadece yüzey dalgası yöntemlerinin sonuçlarının kullanılması yetersiz bulunmaktadır. Dolayısıyla, sismik ile sondajlardan elde edilen veriler (örn; jeoteknik parametreler, sondaj logu, yeraltı suyu seviyesi, vb.) bir araya getirilmi ve kararlaştırılmıştır. Örnek olarak, Kuaterner ve Pliyosen yaşlı jeolojik birimlerde alınan sismik ve jeoteknik ölçümler bir araya getirilmi, birleştirilmi yüzey dalgası yöntemi analiz sonuçlarının IBC sismik koduna göre E ve D sınıfı olarak belirlendiği 1-B profilleri ekil 3'te verilmiştir. ekil 3'ten görülebileceği üzere, alüvyon tabakasının kalınlığına bağlı olarak kayma dalgası hızı ciddi şekilde düşmektedir ve bu durumun nedeni olarak alüvyon kalınlığı arttıkça  $V_s$  değerleri de buna bağlı olarak azalmaktadır ( $V_{s30} < 180$  m/s) ( ekil 4). Ancak vadinin batısına (yani Üst-Orta Eosen sedimanter çökellerine) doğru inildikçe hız artmaktadır ve derinliği 30-40 m olan mühendislik anakayasında 1100 m/s'nin üzerinde kayma dalgası hız değerleri gözlemlenmektedir. Vadinin açıldığı havzadaki ölçüm sonuçları incelendiğinde,  $V_s$  profilinde mühendislik anakayasını 55 metreye kadar gözlemlenmemiştir.

Ayrıca, mühendislik kayasının 55 metreye kadar  $V_s$  profillerinde gözlemlenememesine rağmen düşük kayma dalgası hızlarına sahip derin sediman tabakaları gözlemlenebilmektedir. Ovanın batı ve doğu tarafları kararlaştırılmıştır. Nispeten düşük  $V_{s30}$  değerlerinin ovanın doğu ve güneydoğusuna doğru yönlü olarak açıkça görülmektedir. Bunun olası nedenlerinden biri Eften Gölü'nün günümüzde bulunduğu pozisyonunun Düzce fayı üzerinde doğu ve kuzey yönünde yer aldığı ve tirerek kazanımı olmasıdır. Bu durum farklı kalınlıklardaki zayıf çökelleri ve malzeme özelliklerindeki yatay varyasyonlar da farklı  $V_{s30}$  değerlerinin gözlemlenmesinin nedenlerinden biri olabilir ( ekil 4 sa ). ekil 4'te kayma dalgası ölçümleri ve bu ölçümlerden elde edilen IBC saha sınıfları baz alınarak çalınma alanı için hazırlanmış sismik bölgeleme haritası görülmektedir.  $V_{s30}$  interpolasyon haritasının oluşturulması verinin mekansal yapısının nicelleştirilmesi ve yöne bağımlılık (anisotropy) göz önünde bulundurulması  $V_{s30}$  değerlerinin tahmin haritasının elde edilmesinde normal kriging yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde elde edilen verinin dağılımına bağlı olarak üssel dönüşüm gerçekleştirilmiştir.





a) b)  
ekil 2 a) Seis-2 ve b) Seis-20 ölçüm noktalarının 1-B  $V_s$  profili örnekleri



a) b)  
ekil 3.  $V_s$  Profilleri ile sondaj loglarının karşılaştırması a) Seis-8 - Log1 HES, b) Seis 13 ve Log 13-14.

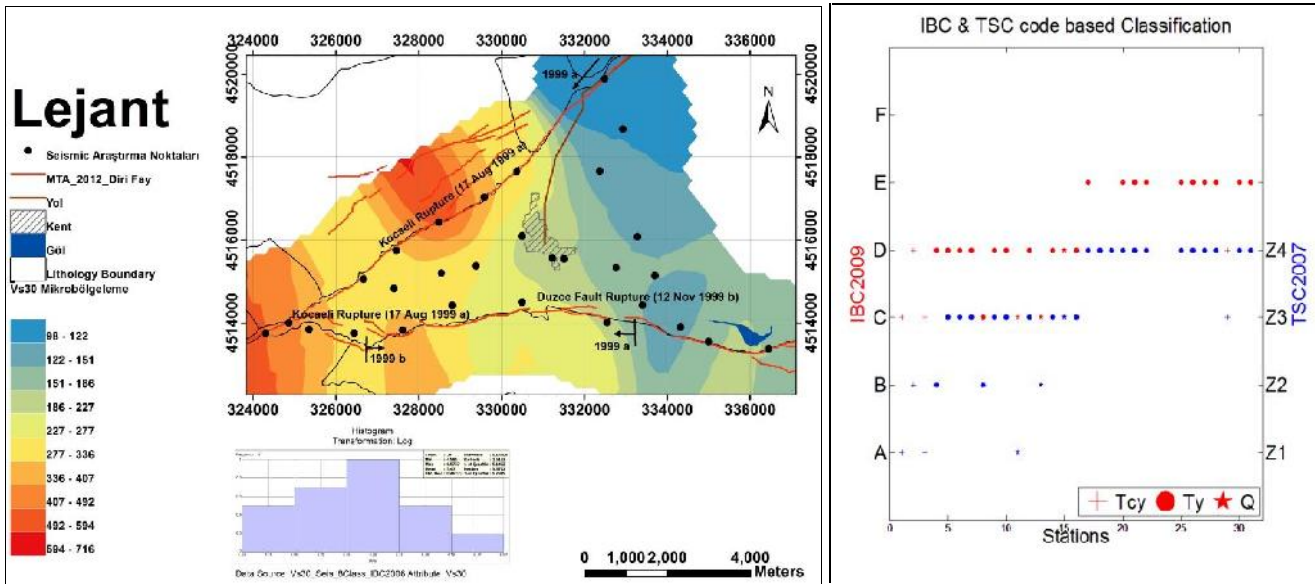
Trend analizi yapılarak normal trendin varlığını belirlemek ve bu trendin oradan kaldırılması amacıyla Gaussian interpolasyon uygulanmıştır. Gerçekleştirilen sismik etütlerin çalışma alanının tamamını kapsamamasına karşın bu bölgeler sismik bölgeleme haritasına dahil edilmiştir (ekil 4a).

### 5.1. OSTD analizleri ve sonuçları

$V_{S30}$  ölçüm noktalarının her biri için OSTD analizi gerçekleştirilmiştir. OSTD analizleri Cambazolu v.d. (2012) tarafından önerilen model ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde sismik kaynak modeli (segman uzunlukları, derinlikleri ve kayma hızları) uydu görüntüleri (çizgisellik çıkarımı) ve kapsamlı literatür araştırması sonucu oluşturulmuştur (ekil 5). 1999 Kocaeli ve Düzce, 1957 Abant, 1967 Mudurnu, 1944 Bolu-Gerede depremlerinin yüzey kırıkları ile Geyve-zincir ile Çınarcık Fay zonlarının yanı sıra Kocaeli depremi yüzey kırığının doğudaki devamı olan Hendek Fayını kapsayan genelendirilmiş bir model oluşturulmuştur. Böylece hem yakın alan hem de uzak alan kaynaklarının etkileri modele dahil edilmiştir. Bu OSTD analizlerinde kullanılan

Kandilli Rasathanesi homojen deprem kataloğu (KRDAE, 2011) üzerinde ikincil deprem (declustering) analizi gerçekleştirilmiştir ve katalogun tamamını Stepp (1973) tarafından önerilen tamlik analizi ile yaklaşımlar kontrol edilmiştir. Bu analizler sonucunda; katalogun 4.6'dan küçük depremler için 1964 yılından öncesinde tam olmadığı belirlenmiştir (Cambazolu, 2012). Bu analizler sonucunda elde edilen katalog için Gutenberg-Richter tarafından önerilen yaklaşımla  $b$ ' parametresi 0.6 olarak belirlenmiştir ve bu deerin literatür ile tutarlılığı kontrol edilmiştir (Erdik v.d., 2004; Deniz, 2006; Crowley ve Bommer, 2006; Kalkan v.d., 2009). Abrahamson ve Silva (2008), Boore ve Atkinson (2008), Campbell ve Bozorgnia (2008), ve Chiou ve Youngs (2008) tarafından önerilen yeni nesil azalım ilikileri yer hareketi tahmin denklemleri kullanılmış ve bu dört yaklaşımın ortalama hızlandırılması hesabına dahil edilmiştir.

Analizler %99'luk güven aralığının kapsamı, diğer bir deyişle en kötü senaryoyu göz önünde bulundurmak üzere 3 standart sapma dahil edilerek maksimum yer ivmesi (PGA) için gerçekleştirilmiştir.

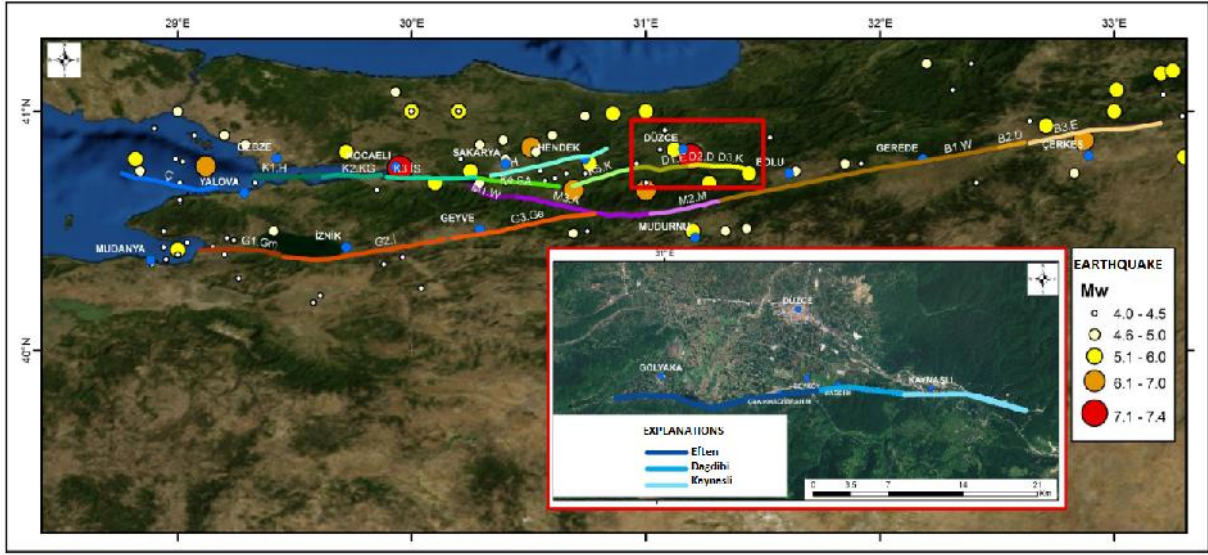


ekil 4. Ortalama  $V_{s30}$  ölçümleri temel alınarak hazırlanan yerel sismik bölgeleme haritası ile IBC 2009 ve TSC, 2007 kodlarına göre farklı jeolojik birimlere karşılık gelen kayma dalgası hızlarının dağılımı

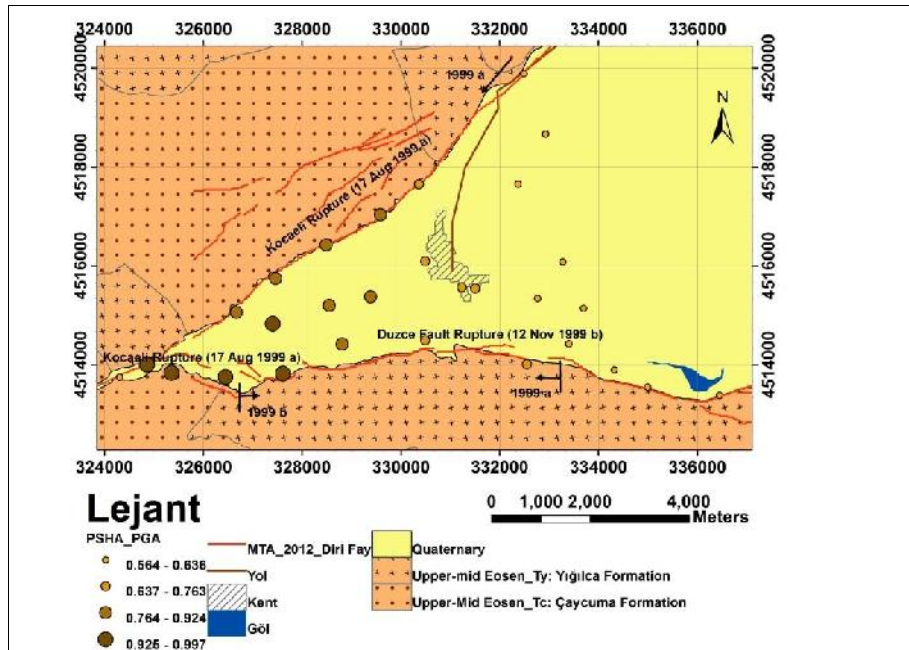
OSTD analizleri 50 yıl için %10 olasılığına (475 yıl tekrarlanma periyoduna) göre gerçekleştirilmiştir. OSTD analizlerinin sonuçları ekil 6'da gösterilmiştir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemleri kullanılarak  $V_s$  hız profillerinin ve buna bağlı olarak sismik zemin karakterizasyonlarının yapılması hedeflenmiştir. Jeoteknik arazi çalışmaları ile sismik etüt verileri bir araya getirilerek çalışmanın güvenilirliği artırılmıştır. MASW ve MAM ölçüm verilerinden elde edilen  $V_s$  profillerine göre mühendislik anakayasının kayma dalgası hızı alanın batısında havzanın daha dar olduğu yerlerdeki sı derinliklerde 1100 m/s olarak belirlenmiştir ve artan alüvyon örtü kalınlığı ile birlikte  $V_{s30}$  değerlerinde kayda değer şekilde düşüş gözlemlenmiştir ve böylelikle IBC 2009 ve TSC 2007 bina kodlarına göre sırasıyla E, D ve Z4-C ile Z4-D sınıfları belirlenmiştir.



ekil 5. OSTD analizlerinde kullanılan sismik kaynak modeli



ekil 6. Jeoloji ve MTA (2012) çalışmasında önerilen aktif faylar üzerinde OSTD analizi sonuçları

Çalışma alanındaki yerli birimlerdeki (Yığılca ve Çaycıma formasyonları) IBC 2009 koduna göre zemin sınıflaması ile ilk 30 metredeki ( $V_{s30}$  profili) genç ve yerli birimler arasındaki sınırın zemin sınıflaması daha yüksek  $V_s$  değerleri ve sıkı zemin yapısını ortaya koymaktadır. Diğer bir deyişle zemin sınıfları IBC 2009'a göre C ve B, ve zeminlerin doğrusal olmayan karakterlerinden dolayı TSC 2007'ye göre Z2-C sınıfıdır. Bu çalışmanın sonuçları Pliyo-Kuvaterner bir havzada ve Türkiye'nin önemli deprem potansiyeline sahip fay sistemlerinden biri olan KAFS'in içerisinde yer alan Gölyaka-Düzce yerleşim alanı için sismik tehlike ve sahaya-özel çalışmalar gerçekleştirilmek için önem taşımaktadır. Bu çalışmada 180 m/s'den daha düşük kayma dalgası hızlarına sahip lokasyonlar yüksek sismik tehlikeye maruz kalabilirler ve bu alanlara özellikle dikkat edilmelidir. Aynı



zamanda  $V_{s30}$  haritasında havza-sınır etkisinin dorusal olmayan davranışları da belirlenmiştir. Ayrıca, OSTD analizi sonuçlarına göre, bu çalışmada kullanılan sismik kaynak modeli göz önünde bulundurulduğunda, PGA değerlerinin kaynağa uzaklık parametresine yakından bağlı olduğu söylenebilir. Ek olarak,  $V_{s30}$  verisindeki varyasyondan dolayı PGA değerlerindeki dorusal olmayan davranışları da gözlemlenebilmektedir.

## TE EKKÜR

*Bu çalışmada ODTÜ-BAP 03-09-2012-002 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.*

## KAYNAKLAR

- Assimaki, D., Li, W., Steidl, J., H., Tsuda, K., (2008). Site amplification and attenuation via downhole array seismogram inversion: A comparative study of the 2003 Miyagi-Oki after-shock sequence, Bulletin of the Seismological Society of America, 98, 301–330.
- Ayhan, M., E., et al. (2001). Kinematics of the Mw=7.2, 12 November 1999 Düzce, Turkey Earthquake. Geophys. Res. Lett, 28 (2), 367–370.
- Barka, A., (1999b). Düzce earthquake, TUBITAK Newsletter (Bilim Teknik Dergisi), 40–44, (in Turkish)
- Barka, A., A., (1996). Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967. Seism. Soc. Am. Bull, 86 (5), 1238–1254.
- Cadet, H., Bard, P., Y., Duval, A., M., (2008). A new proposal for site classification based on ambient vibration measurements and the KiK-net strong motion data set, Proceedings of the 14th World Conf. on Earthquake. Eng., Beijing, China.
- Cambazoglu, S., Akgün, H., Koçkar, M., K., (2012). Preparation of a line source model for probabilistic seismic hazard analyses of Düzce Province, Turkey, Proceedings of 15th world conf. on Earthquake. Eng. Paper 3472, Lisbon, Portugal.
- Cox, B., R., et al. S(2011). shear Wave Velocity-and Geology- Based Seismic Microzonation of Port-au-prince, Haiti. Journal of Earthquake Spectra, 27 (1), 67-92.
- Dobry R, Borcherdt RD, Crouse CB, Idriss IM, Joyner WB, Martin GR, et al. New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions. Earthquake Spectra 2000; 16(1):41–67
- Eker, A., M., Akgün, H., Koçkar, M., K., (2012). Local site characterization and seismic zonation study by utilizing active and passive surface wave methods: A case study for the northern side of Ankara, Turkey, Eng. Geology, 151, 64-81.
- Eker, A. M., Koçkar, M. K., Akgün, H., (2015). Evaluation of site effect within the tectonic basin in the northern side of Ankara. Engineering Geology, 192, 76-91.
- International Code Council (ICC), 2009. International building code, structural and fire 1122 and life-safety provisions (seismic, wind, accessibility, egress, occupancy and roof 1123 codes). Whittier, CA.
- Koçkar, M.K., Akgün, H., Rathje, E., M., (2010). Evaluation of site conditions for the Ankara basin of Turkey based on seismic site characterization of near-Surface geologic materials, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30, 8-20.
- Koçkar, M., K., Akgün, H., (2012). Evaluation of site effects of the Ankara Basin, Turkey. Journal of Appl. Geophys., 83, 120–134.
- McClusky, S., et al. (2000). Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. J. Geophys. Res., 105, 5695-5719.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., (1999). Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 800–808.
- Pucci, S., Pantosti, D., Barchi, M., R., Palyvos, N. (2007). A Complex seismogenic shear zone: The Düzce segment of North Anatolian Fault (Turkey). Journal of Earth and Planetary Science Letter 262, 185-203.
- Rathje, E.M., Koçkar, M.K., Özbey, M.C., (2005). Observed Site Effects during the 1999 Chi-Chi Earthquake and its Aftershocks, Seismological Research Letters; 76 (2): 238.
- Rodriguez-Marek, A., Bray, J., D., Abrahamson, N., A., (2001). An empirical geotechnical seismic site response procedure, Earthquake Spectra 17, 65–87.
- Özmen, B., Başcı, G., (2000). 12 Nov 1999 Düzce Earthquake Report, T.C. Bayındırlık ve Şehircilik Bakanlığı, Afetleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- Taymaz, T., (1999). Seismotectonics of the Marmara region: source characteristics of 1999 Gölçük-Sapanca-Düzce earthquakes. Proceedings of the International Symposium on the Kocaeli Earthquake, İstanbul, 55-78.
- Özmen, O., Dalgıç, S., (1997). Consolidation properties of the clays at Düzce plain and their relationship with geological evaluation. Türkiye Jeoloji Bülteni, 40(2), 29-38. (In Turkish).