



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## 1999 Düzce Depreminde Zemin Yapı Rezonans Uyuşumuna Bağlı Oluşan Yapı Hasarlarının Araştırılması

Ali ATEŞ

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*  
*\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: aliates@duzce.edu.tr*

### ÖZET

Bu çalışmada, Düzce ili kent merkezi yakınlarında iş ve konut yapılarının yoğun olduğu bir alanda zeminlerin geoteknik ve sismik parametrelerinin, yapı kat yüksekliğine olan etkisi ve rezonans uyuşumunun ve 1999 Düzce Depremi etkisinde yapı zemin hasar ilişkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında standart penetrasyon testi (SPT) N darbe sayısı, kesme dalgası hızı (VS), zemin büyütme katsayısı ve zemin hâkim titreşim periyodu verilerinin yapı kat yüksekliği ile ilişkisi kurulmaya çalışılarak yapılaşmaya olan etkileri incelenmiştir. Çalışma alanının güneyinden geçen Asar suyu yakınlarında dinamik ve geoteknik parametre değerlerinin düşük, diğer bölgelerde ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Alanın çok büyük bir kısmında zemin periyodu dağılımını 0.36-0.44 sn aralığında olduğu görülmektedir. Düzce ili şehir merkezinde betonarme yapılarda kat sayısına bağlı olarak periyot esas alındığında, çalışma alanında hakim olan zeminlerin doğal salınım periyot dağılımı yapılması planlanan 4 katlı yapı periyodu ile çakışmaktadır. Bu durum, olası bir depremde çalışma alanındaki yapıların birçoğunun zemin periyodu ile rezonansa gireceğini göstermektedir. Çalışma alanında depreme dayanıklı yapı tasarımı için zemin ve yapının periyot değerlerinin yapı kat yüksekliğine göre uygun hale getirilmesi ve rezonans çakışmasından uzaklaştırılması gerekir. Aksi halde deprem esnasında zeminde taşıma gücü kaybı ve yapılarda hasar oluşumu kaçınılmazdır.

**Anahtar Kelimeler:** *Zemin büyütmesi, Zemin hakim titreşim periyodu, Rezonans uyuşumu, Düzce*

## Investigations of Soil Structure Resonance Overlapping and Structural Hazard Relations In Duzce City due to 1999 Duzce Earthquake

### ABSTRACT

In this study, focusses on the effects of geotechnical and seismic parameters on structural hazards and soil structure resonance overlapping in Duzce area where commercial and residential structures very dense and intersection of resonance soil and structural periods. Standard Penetration Test (SPT-N) N blow numbers, shear wave velocity (Vs), soil amplification and dominant soil vibration period were measured.

They demonstrate that along the Asarsuyu river parts of the study area have lower seismic and geotechnical characteristics than the others. The most common soil period is around 0.36-0.44 second that overlaps with periods of many structures in the study area. It is revealed that the best wide soil periods were overlapped with the period of 4 storeyed structures when based the periods due to the storey of structures in Duzce city. This phenomenon is shown that the periods of the most structures and the soil periods could overlapped in the study area. This status is explained that the lost of bearing capacity and structural damage could be occurred during the earthquake. It is necessary that the local soil periods and structural periods should be suitable and should not be overlapped to design earthquake resistant strength structures in Duzce region according to the storey height.

*Keywords: Soil amplification, Soil period, Compatibility of resonance, Duzce*

## I. GİRİŞ

**D**EPREMLER sırasında yapısal hasarların meydana gelmesinde önemli rol oynayan zemin davranışlarından biri de zemin ile üst yapının salınım periyotlarının uyuşumudur. Bu çalışmada, birinci derece deprem bölgesi olan ve Kuzey Anadolu Fay Zonu'na çok yakın bir ova üzerinde kurulmuş Düzce ili kent merkezi ve yakın civarındaki alüvyal zeminlerin rezonans uyuşumu araştırılmıştır. Çalışma alanı, Batı Karadeniz Bölgesi'nin güneyinde ve Düzce il merkezi ve civarında yer almakta olup (Şekil 1) 12 Kasım 1999 tarihinde meydana gelen Düzce Depreminde ( $M_w=7.2$ ,  $a=0.52g$ ) can ve mal kaybının en yoğun yaşandığı bölgedir. Bu bölge 3444 hektar büyüklüğündeki şehir merkezi ve yakın civarını kapsamaktadır.

Ülkemizin büyük bir bölümü deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Düzce, tarih boyunca maruz kaldığı depremlerde çok büyük can ve mal kaybına uğramıştır. Son otuz yıl içinde 12 Kasım 1999 deprem öncesine kadar çarpık ve hızlı yapılaşmaya maruz kalmıştır. Çalışma alanı, Kaynaşlı Havzası'nın etrafında bulunan dağlardan kaynaklanan kalın alüvyon yelpazelerle (Kuvaterner) örtülmüştür [1]. Çalışma alanı, birinci derece deprem bölgesinde yer alması ve aktif faylar tarafından kesilen alüvyon yelpazeler üzerinde gelişmiş olması nedeniyle deprem tehlikesiyle karşı karşıyadır [1]. Depremler sırasında yapısal hasarlar üzerinde önemli rol oynayan zemin davranışlarından biri de yapı ile zeminin aynı anda aynı yönde salınım yapmasıdır. Bu davranış, özellikle yerel jeolojik koşullarla yakından ilişkilidir. Bu çalışma ile olası büyük bir depremde hasarın en aza indirilmesi amacı ile yapı/zemin ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır. Düzce alüvyon zeminini, zayıf jeo-mühendislik parametrelerine sahip olması nedeniyle kuvvetli yer hareketleri ( $M>5.0$ ) sırasında olumsuz zemin-yapı etkileşimine yol açmaktadır. Çalışma alanı civarında yapılan incelemeler, yüzeyde yer alan üst toprak zeminle beraber altta yer alan birbirine geçişli olan formasyonların bulunduğunu göstermiştir. İnceleme alanında, üstteki yaklaşık 1.0 m kalınlığındaki bitkisel toprağın altında, kalınlığı 5-8 m arasında değişen siltli kum ve çakıldan oluşan alüvyon tabakası, bu tabakanın da altında konkordans olarak çakıl ve siltli kum katmanı yer almaktadır [1]. Çalışma alanında, mevsimlere bağlı olarak yüzeysel sular görülmekle beraber yeraltı su seviyesi oldukça yüzeye yakın bulunmakta olup bu durumda yapılaşmada dikkate alınmalıdır. Detaylı zemin incelemeleri, yapıların projelendirilmesi aşamasında başlatılarak ayrıntılı çalışmalarla zemin incelemesi yapılmadığı sürece güvenli yapı inşaatı amacına ulaşılması mümkün değildir. İyi bir projelendirme için zemin-yapı etkileşiminin, dolayısıyla da zeminin geoteknik özelliklerinin bilinmesi elzemdir. Bu çalışmada, Düzce kent merkezinde zemin yapı ilişkisinden yola çıkarak kat yüksekliği ilişkisi de tartışılmıştır.

Düzce Kenti yerleşim alanının da içinde yer aldığı Düzce havzası, Batı Karadeniz bölgesinin yüksek ve engebeli fizyografyası içerisinde bir dağ arası havza özelliği sunmaktadır. Havza sağ yönlü doğrultu atımlı Düzce fayının Karadere ve Kaynaşlı segmentleri arasında gelişmiştir. Düzce, tabanında Kuvaterner yaşlı alüvyonların birikimi sonucu oluşmuş, yaklaşık 370 km<sup>2</sup> genişliğinde ova yer almaktadır. Kabaca beşgen şekilli geometrisi olan bu ova genelde fay sarplıklarına karşılık gelen yüksek eğimli yamaçlarla çevrilidir. Küçük Melen, Asarsu ve Aksu çayları havzaya gelen ana akarsulardır. Bunlardan Aksu çayı ile kent merkezi içerisinde geçen Asarsu çayı aktif nitelikteki düzce fayı boyunca açılmış fay vadileri içerisinde yerleşmiştir. Bu çalışmada 1999 Düzce Depremi etkisinde kent yerleşim alanı zeminlerinin yapı zemin rezonans uyumu ve buna bağlı gelişen hasarlar araştırılmıştır. Zemin ve bina periyotlarının uyumsuz olması, binanın yer sarsıntısıyla aynı anda sallanmasına ve tasarlanandan çok daha fazla ötelenmesine sebep olur [2].

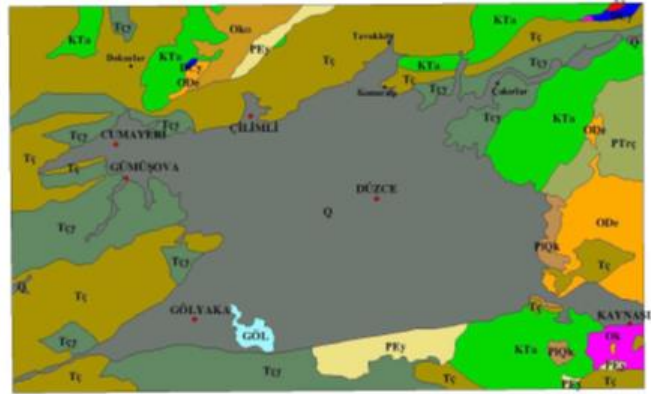


Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası [3]

## II. MALZEME ve YÖNTEM

### *A. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ VE DEPREMSELLİĞİ*

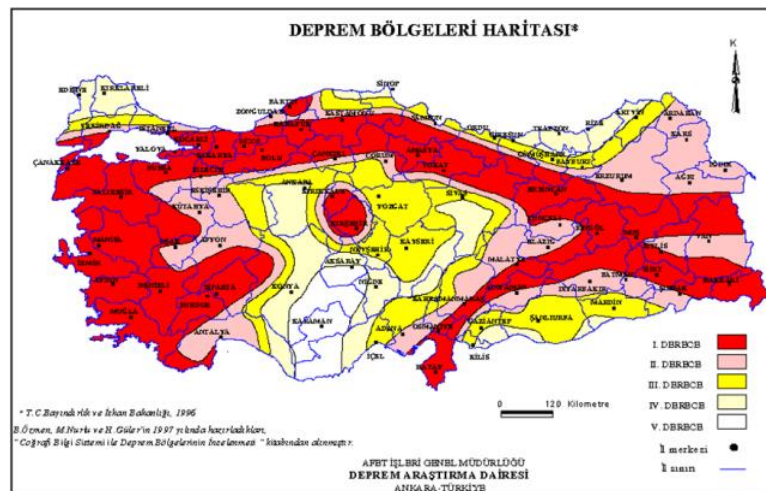
12 Kasım Düzce depreminde kent merkezinde depremin oluşturduğu deprem moment büyüklüğü  $M_w=7.2$  ve yatay deprem ivmesi değeri  $0.52g$  olarak kaydedilmiştir. Düzce, Kuarterner alüvyon çökellerinin oldukça geniş yayılım sunduğu bir yerleşim yeridir. Alüvyon malzemeler akarsular boyunca oluşmuştur. Yüksek kesimlerde yer yer, andezit ve diabaz türünde volkanik kayalar yüzelemektedir (Şekil 2). Çalışma alanında geniş yayılım gösteren Kuarterner alüvyonlar; küçük boyutlu, çakıllı, kumlu, siltli, killi, az bloklu, yanıl ve düşey geçişli seviyeler birbirleri içinde merceklenmeli, kamalanmalı, gevşek ve tutturulmamış nitelikteki bir litolojiye sahiptir. Çalışma alanının olduğu bölgelerde yaklaşık 1.00 m kalınlığında bitkisel toprak dolgu malzemesi gözlenmektedir. İnceleme alanında yapılan sondajdan alınan örneklerin gözle yapılan tanımlamalardan üstten alta doğru az kumlu siltli kil, siltli kil kum, siltli iri kumlu kil çakıl, iri kum çakıl serilerinden oluştuğu söylenebilir.



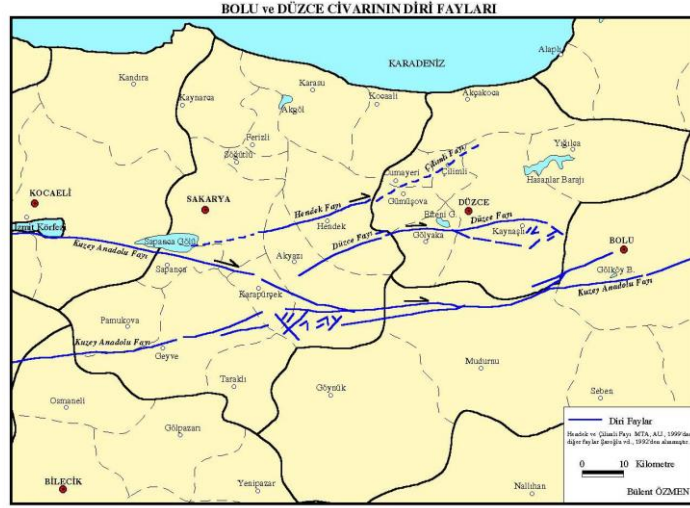
Şekil 3. Düzce ve Çilimli çevresindeki jeolojik harita (DİTİA, A.T., 1997) (bu harita ölçekli olarak alınmıştır)

Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası [1]

Çalışma alanı ve yakın çevresi Bayındırlık ve İskan Bakanlığınca yayınlanan ve 5 bölgeye ayrılmış olan "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (1996)" na göre 1. derecede Deprem Bölgesi içinde kalmaktadır (Şekil 3). Kuzeyde Asya-Avrupa levhası ile güneyde Anadolu levhasını birbirinden ayıran Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), yaklaşık uzunluğu 1200 km. olan doğrultu atımlı bir fay sistemi olup ülkemizin en önemli tektonik yapılarından biridir. Düzce ve Bolu havzası bu fay üzerinde bulunmaktadır. Düzce havzasına en yakın olan ve deprem potansiyeli taşıyan aktif faylar Düzce, Hendek ve Çilimli faylarıdır (Şekil 4). Bu faylardan Düzce ve Hendek fayları aktif fay karakterindedir. Çilimli fayı ise olasılı aktif faydır [4]. Düzce Fayı: Akyazı-Kaynaşlı arasında uzanan ve Efteni gölünün güneybatısında çatallanan yaklaşık D-B uzantılı ve uzunluğu 70 km olan bu fay sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir faydır [5]. Hendek Fayı: Düzce havzasının batısında Sapanca Gölü-Hendek-Cumayeri arasında uzanan KD-GB uzantılı fay Hendek fayı olarak isimlendirilmiştir [5]. Sağ yönlü doğrultu atımlı fay yaklaşık 50 km uzunluğundadır. Hendek-Cumayeri arasında kalan 25 km'lik bölümünde morfolojik olarak çok belirgin olan bu fay Adapazarı ovasında olasılı olarak haritalanmıştır [4]. Çilimli fayı: Düzce havzasının kuzeyinde Cumayeri-Konuralp arasında uzanan ve yaklaşık uzunluğu 13 km olan bir faydır [5]. Fayın niteliği ve aktivesine ilişkin ayrıntılı veri toplanamamasına rağmen arazide fay boyunca uzamış şekilli basınç sırtlarının gözlenmesi ve fay çizgisi boyunca çok sayıda kaynak dizilimi gözlenmiş olması sebebi ile olasılı aktif fay olarak değerlendirilmiştir [4].



Şekil 3. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (1996) (Turkish earthquake regional map) [4]



**Şekil 4. Bolu ve Düzce Civarının diri fayları [6]**

## B. GEOTEKNİK ARAŞTIRMALAR

Jeolojik-jeoteknik çalışmalar kapsamında 35 adet sondaj jeoteknik sondaj yapılmış, her bir sondajda zemin tanımlaması için SPT deneyi gerçekleştirilmiştir. Zemin sınıflandırmalarının yapılabilmesi için laboratuvarda ise zeminlerin kıvam sınırları ve tane boyu analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde çalışma alanındaki zeminlerin, killi (CL), siltli (ML), yaygın olarak kumlu (SM, SC, SL) ve nadiren çakıllı (GM) birimlerden oluştuğu değerlendirilmiştir.

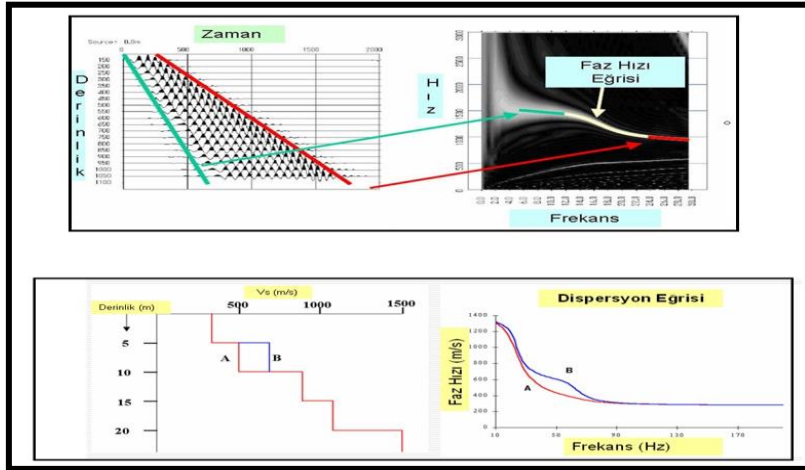
## C. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Düzce Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüd kapsamında, kent zeminin fiziksel parametrelerinin, litolojik birim geçişleri ve zemin hakim titreşim periyodu değerlerinin belirlenmesi için 25 adet sismik kırılma, 10 profil aktif kaynaklı yüzey dalgası (Masw), 3 noktada Elektrik öz direnç yöntemi (Des), 35 noktada Mikrotremor ölçümleri alınmıştır. JEOFİZİK etüd kapsamında 10 adet masw profil lokasyonu planlanmıştır. Belirlenen sismik profiller boyunca 1-D sismik dalga hızı loglarının elde edilmesi amacıyla MASW metodu ile sismik kayıtlar alınmıştır. Etütte hedeflenen araştırma derinliği, sismik uygulama için 30 m planlanmıştır. MASW uygulaması ile ayrıca jeoteknik projelendirme ve temel dizaynı için önemli olan kör/düşük hız zonları rahat bir şekilde görüntülenebilmiştir. Sismik profiller rapor içerisinde, "MASW" notasyonu kullanılarak tarif edilmiştir. Sismik etütler; 12 kanallı, sinyal biriktirmeli sara doremi marka mühendislik sismografi (Şekil 5, 6) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MASW uygulamasında 4.5 Hz doğal frekanslı düşey jeofon setleri kullanılmıştır. Enerji kaynağı balyoz vurma metodu seçilmiş ve bu amaçla 9 kg ağırlığında balyoz kullanılmıştır. MASW uygulamaları 12 kanal kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 3 metre jeofon aralığı 9 metre ofset toplam 42 metre serim yapılmıştır.



Şekil 5. MASW ölçümlerinden bir görünüm

Modellenen dispersiyon eğrisi ile gerçek dispersiyon eğrisi arasındaki uyumsuzluk kabul edilebilir asgari değere ulaşınca iterasyon durdurulur. Yüzey dalgalarından elde edilen S-dalgası hızları, jeofon serimi boyunca yanal ortalamayı temsil eder.



Şekil 6. Yüzey dalgalarının dalga formu ve dispersiyon eğrisi ve ters çözümü ile elde edilmiş Vs hız profili

Büyütme katsayısı Midorikawa [7] tarafından önerilen ve Eşitlik 1'de verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A = 68V_s^{-0.6} \quad (V_1 < 1100 \text{ m/s}) \quad (1)$$

Burada;

A: Zemindeki en büyük hız için bağıl büyütme faktörü,

Vs: 30 m derinlik içerisindeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s).

#### *Ç. MİKROTREMÖR VE HAKİM TİTREŞİM PERİYODU*

Bir bölgedeki titreşimler, o bölgelerde yerin doğal gürültüsünü oluştururlar. Farklı yer koşullarına ait yerin doğal gürültüsü de farklı olacaktır. Yerin doğal gürültüsünün genlik ve frekans içeriklerini, yerin litolojisi ve geometrisi gibi faktörler etkileyecektir. Yerin çok küçük genlikli doğal salınımları incelenerek yerin etkin salınım periyotları saptanabilir ve bu şekilde yerin davranış özellikleri belirlenebilir. Bu durumda yerin bu doğal titreşimlerinden yararlanılarak elde edilecek parametrelere göre bölgesel olarak yer sınıflamaları yapılabilir.

Mikrotremor kayıtlarının doğru bir şekilde alınabilmesi için öncelikle sakin zamanlar seçilmelidir. Araştırma kapsamında 35 noktada Mikrotremor ölçümleri 20 dakikalık kayıt alınmıştır. Ölçümler GURALP mikrotremör cihazı kullanılarak alınmıştır. Veri alımında sistemin üzerindeki yazılımı kullanılmış ve veri alımı esnasında kayıt edilen veriler online olarak incelenmiş veri/gürültü oranının artması durumunda kayıt süresi uzatılmıştır.

Çalışma sahasında 20 noktada alınan “saf” uzantılı Mikrotremor verileri Sesarray-Geopsy yazılımı kullanılarak analiz edilerek ölçüm noktalarına ait zemin hâkim titreşim periyodu( $T_0$ ) ve zemin büyütmesi(Ak) değerleri hesaplanmıştır. Alınan kayıtların analiz aşaması; Gcf uzantılı üç bileşenli mikrotremor kayıtlarımız 3 bileşeni aynı anda Geopsy yazılımında açılarak değerlendirilmeye başlanılmıştır. Değerlendirilme aşamasında öncelikle kayıtlar bastırılarak genliklerin aritmetik ortalaması alınmıştır, daha sonra 0.50 Hz-20 Hz arası Bant-geçişli (Pass) 4. dereceden Butterworth filtresi uygulanarak veri gürültülerden ayıklanmış. Daha sonra elde edilen verideki sivri sinyalleri yumuşatmak için verinin başı ve sonuna %5 oranda törpüleme işlemini uygulanarak filtreleme işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra elde edilen filtrelenmiş kayıtlar değerlendirmeye alınırken 18 sn -25 sn arasında arasın da pencereler seçilerek, seçilen pencerelerdeki kısma 0.5 Hz-1.5 Hz arasında yüksek geçişli(high-pass) Butterworth filtresi uygulanmıştır. Mikrotremor kayıtları yukarıdaki işlemlerden geçirilerek değerlendirilmeye hazır hale getirildikten sonra Nakamura Spektral Oran Tekniği(QTS) verilere uygulanarak maksimum büyütmesi, hakim periyot değerleri elde edilmiştir.

#### *D. SİSMİK KIRILMA YÖNTEMİ*

İnceleme alanında, yer altı hız yapısı, zeminin dinamik-elastik parametreleri, taşıma gücü, deprem yönetmeliklerine esas zemin sınıfları, hakim titreşim periyotları, zemin büyütmeleri ve zemin içerisindeki yanal ve düşey süreksizlikleri saptamak amacıyla P dalga hızları ölçümleri yapılmıştır.

Sismik kırılma yönteminde amaç, zemini yapay olarak sarsarak, zemini oluşturan tabakalarının hız ve kalınlıklarını belirleyerek, elastik parametreleri doğal şartlarda tanımlamaktır. Yöntemin temeli sıg ortamda yapay olarak yayılan elastik dalgaların belirli ortamlarda kırılıp yansdıktan sonra, alıcıdan kayıtcıya kadar geçen ilk varış zamanlarının kayıt edilmesi ilkesine dayanır. Boyuna dalgalar (P dalgası) küçük genlikli ve yüksek frekanslı olup, hızlı yayılabilen dalgalardır. Enine dalgalar (S dalgası) ise, büyük genlikli ve düşük frekanslı olup, boyuna dalgalara göre daha düşük hızlarla yayılabilen dalgalardır. Bu nedenle enine dalgaları daha net kaydedebilmek için, boyuna dalgaları söndürmek veya düşük genlikle ölçü almak gerekmektedir. Sismik dalga hızları ilerlediği ortamın yoğunluğuna, içerdiği su miktarına, çatlaklık, porozite ve çimentolanma derecesine bağlıdır. Enine dalgalar bu faktörlere, boyuna dalgalara nazaran daha fazla duyarlıdır. Sismik kırılma çalışmalarında 12 kanallı sara-doremi sismik kayıtcı kullanılmıştır. Sistem kayıtları almaya yarayan diz üstü bilgisayar, sismik izleri algılamaya yarayan sensör, bir triggerli balyoz, 12 adet düşey jeofon ve özel bağlantı ünitelerinden oluşmaktadır. Sismik dalga kaynağı olarak 9 kg. ağırlığındaki balyoz ile çelik plaka üzerine yapılan

vuruşlardan yararlanılmıştır. Sismik kırılma için 14 hz lik düşey jeofonlar kullanılmıştır. 3 metre jeofon aralığı 9 metre ofset aralığı olarak seçilerek toplam 42 metre serim yapılmıştır. Her profil için düz ve ters atışlar yapılmıştır. Her atış için 3 stack yapılmıştır. İnceleme alanında veri toplama işlemi sara doremi Marka 24 kanallı kayıtçı 12 kanallı olarak ve 4.5 Hz düşey alıcılar (jeofonlar) kullanılarak, alıcılar arası 3 m, vuruş mesafesi (ofset) 9 m olarak toplam serim boyu 42 m seçilmiştir. Ölçümler esnasında kaynak olarak 10 kg balyoz kullanıştır. Alınan 1 msn örneklem aralığında ve 1 s arasında kayıt uzunluğu seçilerek veri alma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında depremin neden olduğu yatay kesme dalgalarının ağırlıklı ortalama değeri Özyaydın [8]'in önerdiği Eş.2'e göre aşağıdaki gibi bulunmaktadır. Çalışma alanında hesaplanan sismik hız ve formasyonlar Tablo 1'de verilmiştir.

$$V_K = \frac{h1V_{k1}+h2V_{k2}}{h1+h2} \quad (2)$$

Burada;

h: Temel kaya üstündeki zemin katmanı kalınlığı (m),

Vk: zemin katmanı içinde kayma dalası hızını(m/sn) ifade etmektedir.

*Tablo 1. Hesaplanan Sismik Hızlar Ve Formasyonlar*

Sismik Profiller	Tabakala	S Dalga Hızı (Vs) m/sn	P Dalga Hızı (Vp) m/sn	Kalınlık (m)
Serim-1	1. Tabaka	188	476	4
	2. Tabaka	358	1074	
Serim-2	1. Tabaka	185	361	1
	2. Tabaka	315	1153	
Serim-3	1. Tabaka	190	400	4
	2. Tabaka	310	1365	
Serim-4	1. Tabaka	170	490	3.5
	2. Tabaka	300	1082	
Serim-5	1. Tabaka	171	438	5
	2. Tabaka	335	1046	



Serim-6	1. Tabaka	130	350	4.5
	2. Tabaka	345	1054	
Serim-7	1. Tabaka	150	428	6
	2. Tabaka	380	1048	
Serim-8	1. Tabaka	190	488	4
	2. Tabaka	390	1000	
Serim-9	1. Tabaka	274	441	3.5
	2. Tabaka	390	1007	
Serim-10	1. Tabaka	188	472	11
	2. Tabaka	330	996	
Serim-11	1. Tabaka	182	490	5
	2. Tabaka	375	1006	
Serim-12	1. Tabaka	194	400	4
	2. Tabaka	338	1067	
Serim-13	1. Tabaka	153	450	3.5
	2. Tabaka	260	1116	
Serim-14	1. Tabaka	210	403	7
	2. Tabaka	230	921	
Serim-15	1. Tabaka	200	498	4
	2. Tabaka	340	969	
Serim-16	1. Tabaka	187	520	3
	2. Tabaka	370	1030	
Serim-17	1. Tabaka	162	511	5

	2. Tabaka	398	1031	
Serim-18	1. Tabaka	147	480	5
	2. Tabaka	300	1065	
Serim-19	1. Tabaka	200	380	6
	2. Tabaka	220	1040	
Serim-20	1. Tabaka	180	470	7
	2. Tabaka	242	1074	
Serim-21	1. Tabaka	251	385	2,5
	2. Tabaka	350	1002	
Serim-22	1. Tabaka	169	420	4,5
	2. Tabaka	294	1115	
Serim-23	1. Tabaka	157	311	3
	2. Tabaka	287	947	
Serim-24	1. Tabaka	201	397	4
	2. Tabaka	302	969	
Serim-25	1. Tabaka	247	401	3
	2. Tabaka	364	994	

Çalışma alanındaki zeminlerin hakim titreşim periyodu Kanai [9]'in önerdiği Eş.3 kullanılarak bulunabilmektedir.

$$T = \frac{4h}{v_k} \quad (3)$$

Burada;

**h:** Temel kaya üstündeki zemin katmanı kalınlığı (m),

**V<sub>k</sub>:** Zemin katmanı içinde kayma dalası hızını(m/sn) ifade etmektedir.

Rezonans olayı çalışma alanında yapılması planlanan binaların doğal periyodu ile zeminin doğal periyodunun örtüşmesidir. Zeminin Doğal periyodu yukarıda Eş.3 yardımı ile bulunmuştur. Burada yapılması planlanan yapıların periyodu ise Eş.4 kullanılarak bulunabilmektedir [10].

$$T = 0.079H^{3/4} \quad (4)$$

Burada;

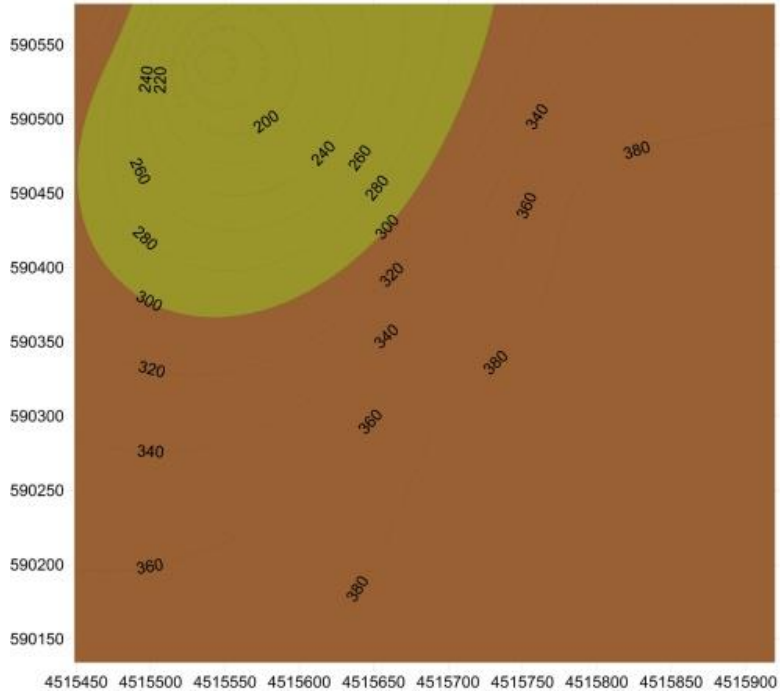
H:Yapının yüksekliği (m)

### III. BULGULAR ve TARTIŞMA

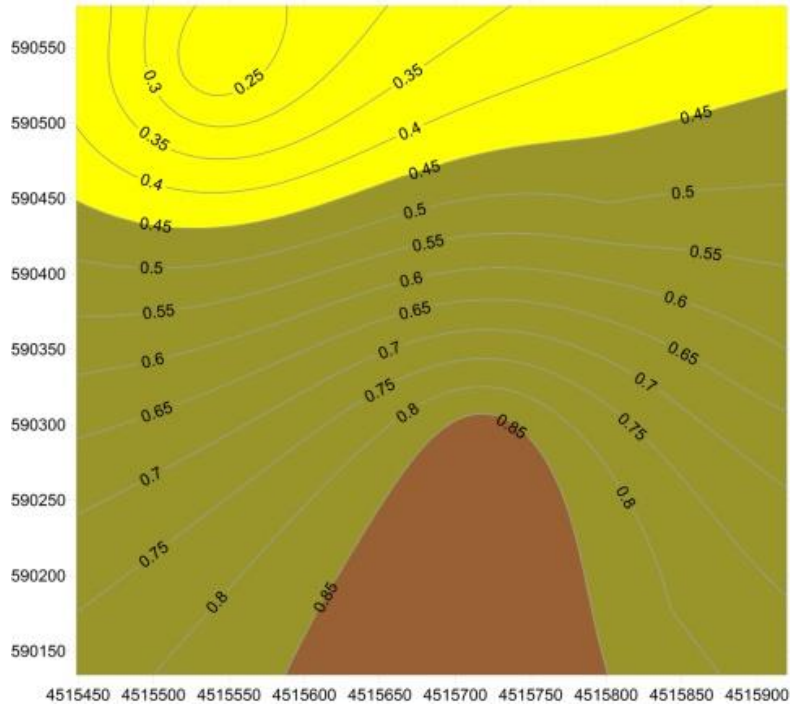
#### *A. GEOTEKNİK DEĞERLENDİRME*

Kent merkezinde SPT değerleri düşüktür. Kalan bölgelerde ise refü değeri olan 50'ye varan değerler ölçülmüştür. Kesme dalgası hızlarının yaygın biçimde düşük olduğu, ancak inceleme alanının güney batısında oldukça yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir (Şekil 7). Bu verilere göre yüksek değerlerin güneybatı ve doğuda yoğunlaştığı ortaya çıkmaktadır. Bu parametrelere göre inceleme alanının orta ve kuzey kısımlarında düşük zemin taşıma gücü ve kesme dalgası ile karşılaşılacağını göstermektedir. Dolayısıyla bu bölgelerin yerleşim açısından daha az uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

Periyot dağılımları dikkate alındığında, yüksek periyot değerlerinin, inceleme alanının güneybatı kesiminde yoğunlaştığı izlenmektedir. Bununla birlikte, sahanın çok büyük bir kısmında zemin periyot dağılımının 0.36-0.44 sn aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 8). Maksimum büyümenin görüldüğü ilk hakim frekans, yani T, aynı zamanda rezonans frekansı olarak Ta adlandırılır. Rezonans, etkileşim halindeki iki farklı titreşimin frekanslarının çakışması durumu olarak bilinmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere zeminlerin olduğu gibi, üzerindeki yapıların da bir hâkim periyodu veya frekans varlığından söz edilir. Yapıların hâkim periyodu, inşa edildiği malzemelerin özellikleri ve yapının boyutları tarafından kontrol edilir ve çok kaba bir hesapla kat sayısının 10'a bölümü şeklinde bulunabilir. Yani 7 katlı bir bina için; bina hâkim periyodu;  $7/10=0,7$  sn.'dir. Ancak alçak katlarda ise bu oran azalır ve 1 katlı bina için hâkim titreşim periyodu 0.35 sn., 2 kat için 0.40 sn., 3 kat için 0.45 sn., 4 kat için 0.50 sn. yaklaşık olarak kabul edilir. Buna göre inceleme alanındaki en yaygın zemin periyot dağılımı 3-4 katlı yapı periyodu ile çakışmaktadır. Bölgedeki yapılaşma dikkate alındığında, ana cadde kenarlarında 3 kat, diğer yerlerde ise 2-3 kat yapı izni verilmelidir. Bu veriler, olası bir depremde inceleme alanındaki yapıların birçoğunun zemin ile rezonansa gireceğini göstermektedir. Bunu önlemek için zemin ve/veya yapının periyot değerlerinin uygun hale getirilmesi yararlı olacaktır. Zeminde iyileştirme ve/veya güçlendirme yapılması, zemin rijitliğini ve periyodu değiştirmede kullanılan en yaygın yöntemdir.



*Şekil 7. Kesme dalgası hızlarının ( $V_s$ ) dağılımı*



*Şekil 8. Doğal Zemin Salınımı*

### *B. ZEMİN DAVRANIŞI VE YAPI KAT YÜKSEKLİĞİ İLİŞKİSİ*

Zemin periyodunda yapılaşma tipine göre bir kritik değer seçilebilir. Bunun tek dayanağı ise rijit yapı uygulamasının, elastoplastik yapı ve hatta düktil yapı uygulamasından daha önemli ve daha yaygın olmasıdır. Kritik değer olarak proje sahası için  $T_0$  KRİTİK= 0.41 sn alınmıştır. Kaldı ki gereğinden

fazla rijitideye ulaşıldığında da rezonanstan kaçınmak gerekir. Bazen bu seçim yapılırken düktil yapılar güçlendirme adına rijitleştirilebilmektedir. Yapı öz periyodu yeterince güvenilir bir biçimde hesaplanabildiğinde zemin periyodu ile örtüşme miktarına bakılmalı ve bu örtüşmenin rijit tarafta mı, düktil tarafta mı olduğuna göre rezonanstan kaçınılmalıdır. Doğal olarak yapıya düktilite uygulama yerine, zemin iyileştirilmesi yapıldığında daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, yapı öz periyodu ise betonarme karkas yapılar için doğrudan doğruya kat adedi ile orantılı olarak değişmektedir. Bu durumda zemin periyodu ile kat adedinin rezonans oluşturmayacak değerlerde karşılıklı uygun olması gerekmektedir.

Proje sahası için hesaplanan  $T_0$  KRİTİK değeri (0.41 sn) gereği, sahada projelendirilmesi düşünülen betonarme yapıların deprem kaynaklı mekanik rezonanstan kaçınmak amacıyla uygun yapı periyodu ve kat sayısına göre projelendirilmeleri gerekmektedir. Burada hesaplanan zemin hakim titreşim periyodu değerleri genel öngörüm amaçlıdır ve parsel bazlı çalışmalarda ayrıca hesaplanarak statik projelerde kullanılmalıdır. Ansal vd. [11] tarafından verilen ölçüt tanımına göre (Tablo 2) “B” sınıfına girmektedir.

**Tablo 2.** Yer hakim Titreşim Periyotlarına Göre Ölçütler [11]

Yer Hakim Titreşim Periyodu Aralığı	Ölçüt Tanımı
0.10–0.30 sn	A
<b>0.30–0.50 sn</b>	<b>B</b>
0.50–0.70 sn	C
0.70–1.00 sn	D

### *C. REZONANS UYUŞUMU VE YAPI HASARI İLİŞKİSİ*

1999 Düzce Depreminde depreme bağlı oluşan zemin periyodu 0.4 sn olduğu bilinmektedir [1,12]. Kent yerleşim alanında yapılan mikro tremör çalışmaları ile zemin hakim periyotları da 0.45 sn olarak bulunmuştur. Yapılan incelemelerde 1999 Düzce depreminde gelişen yapı hasarlarının esas nedeninin yapı zemin periyotlarının çakışması olduğu tespit edilmiştir. Aşağıda bu hasarlarla ilgili olarak bazı yapı hasarları örnek olarak verilmiştir (Şekil 9).



*Şekil 9. Yapı zemin rezonans uyumuna göre oluşan Düzce kent merkezinde yapı hasarları [1]*

#### IV. SONUÇ

Bu çalışma sismik olarak aktif olan ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun etkisi altında şekillendirilen Düzce ili imar alanında yapılmıştır. İnceleme alanı Kuvaterner yaşlı yelpaze çökelleri ve alüvyal birimler ile Neojen karasal çökellerden meydana gelmektedir. Çalışma kapsamında SPT (N) darbe sayısı, kesme dalgası hızı, zemin büyütme katsayısı ve zemin hâkim titreşim periyodu incelenmiştir. İnceleme alanının merkezi kesimleri ile kuzeyinde SPT değerlerinin düşük olduğu, diğer bölgelerde ise refü değerine ulaşan değerler gözlenmiştir. Kesme dalgası hızlarının yaygın biçimde düşük olduğu, ancak inceleme alanının güney batısında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Zemin büyütme katsayılarının dağılımı ise yukarıdaki parametrelere uygun bir dağılım sunmuştur. Bu değerlere göre inceleme alanının orta ve kuzey kısımlarının düşük zemin taşıma gücüne sahip olduğu, düşük kesme dalga hızları ile karşılaşılacağı ve yerleşim açısından daha az uygun olduğu sonuçları ortaya çıkmaktadır. Yüksek zemin periyot değerleri, inceleme alanının güneybatı kesiminde yoğunlaşmasına karşın, sahanın çok büyük bir kısmında dağılımının 0.36-0.44 sn aralığında olduğu görülmektedir. Standart betonarme yapılarda kat sayısına bağlı olarak periyot esas alındığında, en yaygın zemin periyot dağılımının 3-4 katlı yapı periyodu ile çakıştığı ortaya çıkmaktadır. Bölgedeki yapılaşma dikkate alındığında, olası bir depremde inceleme alanındaki yapıların birçoğunun zemin ile rezonansa gireceğini göstermektedir. Bunu önlemek için zemin ve/veya yapının periyot değerlerinin uygun hale getirilmesi yararlı olacaktır. Zemin rijitliğini ve periyodu değiştirmede kullanılan en yaygın yöntem olarak zemin iyileştirmesi ve/veya güçlendirmesi olduğu söylenebilir.

Arazide yapılan Mikrotremör çalışmaları sonucunda elde edilen zemin hakim titreşim periyodu, ortalama olarak  $T_0=0.41$  sn olarak hesaplanmıştır. Zemin jeofizik analiz programından hesaplanan

zemin büyütme değerleri ortalaması 2.20'dir. Bu değerlerin zeminin meydana gelebilecek bir deprem sarsıntısı esnasında salınıminin "B" olacağını ve spektral büyütme tehlike düzeyinin A(Düşük) olduğu söylenebilir. Bu nedenle yapılması düşünülen binalar projelendirilirken, binaların periyodu zeminin periyodundan küçük seçilmelidir. Yapı projelendirilme aşamasında parsel bazında zeminin salınımı bulunmalı ve yapının periyodu ile karşılaştırılarak rezonansdan kaçınılmalıdır. 1999 Düzce depreminde kent merkezinde oluşan yapı hasarlarının zemin yapı rezonans uyumuna bağlı olarak geliştiği anlaşılmaktadır. Bu durumda kat yüksekliğinin 4 kat olarak inşa edilmesi durumunda yine benzer yapı hasarlarının oluşması kaçınılmaz olacaktır. Bu tür alüvyon zeminlerin hakim olduğu yerlerde yapı kat yüksekliği seçilirken yapının periyodu zeminin periyodundan daha düşük periyotlu yapılar inşaa edilmelidir.

TEŞEKKÜR: Düzce Belediyesi ve Düzce valiliği çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## V. KAYNAKLAR

- [1] M.T.A Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U), 17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelenmesi, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu (1999) 59s.
- [2] H.J. Lagorio Earthquakes An Architect's Guide to Nonstructural Seismic Hazar ds, *Wiley Interscience Publications*, (1990).
- [3] Anonim, <http://maps.google.com>, (Erişim tarihi: 15<sup>th</sup> of June, 2016).
- [4] T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, *Deprem Bölgeleri Haritası*, Harita Genel Komutanlığı basımı, (1996).
- [5] F. Şaroğlu, Ö. Emre, A. Boray, Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, MTA. Rap., (1987) 394.
- [6] B. Özmen, *Düzce-Bolu Bölgesi'nin Jeolojisi, Diri Fayları ve Hasar Yapan Depremleri*, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, (2000) 1-14.
- [7] S. Midorikawa *Journal of Structural Engineering*, **33b**, (1987) 43-48.
- [8] K. Özyayın, Yer hareketleri üzerinde yerel zemin koşullarının etkisi ve zemin büyütmesi, *Türkiye Deprem Vakfı*, (1996).
- [9] K. Kanai, *Engineering seismology*, Tokyo: *University of Tokyo Press*, **1** (1983).
- [10] A. Scarat, *Approximate Methods in Structural Seismic Design*, CRC Press, (1996).
- [11] A. Ansal, M. Erdik, J. Studer, S. Springman, J. Laue, J. Buchheister, D. Giardini, D. Faeh and D. Koksal, *Seismic microzonation for earthquake risk mitigation in Turkey*, **13th World Conference on Earthquake Engineering**, Vancouver-Canada, (2004).
- [12] Anonim, <http://www.duzce.gov.tr/12-kasim-duzce-depremi>, (Erişim tarihi: 15<sup>th</sup> of June, 2016).