

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**1999 DÜZCE DEPREMİ SONRASI BOLU KENT MERKEZİNDEKİ HASAR  
DAĞILIMI İLE SİSMİK HIZLARDAN ELDE EDİLEN ZEMİN  
SINIFLAMASININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**Elnaz KARIMI MAZIDI**

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2015**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Elnaz KARIMI MAZIDI tarafından hazırlanan “**1999 Düzce Depremi Sonrası Bolu Kent Merkezindeki Hasar Dağılımı ile Sismik Hızlardan Elde Edilen Zemin Sınıflamasının Karşılaştırılması**” adlı tez çalışması 28/10/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Prof. Dr. Ahmet T. BAŞOKUR  
Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Jüri Üyeleri :**

**Başkan :** Prof. Dr. Ali Ulvi YILMAZER  
Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye :** Prof. Dr. Ahmet T. BAŞOKUR  
Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye :** Yrd. Doç. Dr. İrfan AKCA  
Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. İbrahim DEMİR**

**Enstitü Müdürü**

## **ETİK**

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

28.10.2015

Elnaz KARIMI MAZIDI

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### 1999 DÜZCE DEPREMİ SONRASI BOLU KENT MERKEZİNDEKİ HASAR DAĞILIMI İLE SİSMİK HIZLARDAN ELDE EDİLEN ZEMİN SINIFLAMASININ KARŞILAŞTIRILMASI

Elnaz KARIMI MAZIDI

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet T. BAŞOKUR

12 Kasım 1999 tarihinde, Türkiye'nin kuzeybatısında, 7.2 büyüklüğünde, Düzce depremi gerçekleşmiştir. Bu deprem çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuştur. Deprem nedeni ile oluşan hasarlar, odak mesafesi, büyüklük, süre, kaynak mekanizması ve deprem dalgalarının frekansı gibi deprem parametrelerinden etkilenmektedir. Bunun yanında, zemin koşulları da bina hasarlarında önemli rol oynamaktadır. Bu etkiyi göstermek amacıyla, Bolu kenti imar alanında kırılma yöntemi ile S-dalgasının iki-boyutlu ters çözümü yapılmıştır. Zeminin dinamik özellikleri, toplam 9,794 metre uzunluğunda 141 sismik kırılma profil ile incelenmiştir ve S-dalga hızına bağlı olarak zemin sınıflandırılması yapılmıştır. S-dalga hızı, düşük hız zonunun kalınlığı ile bina hasar dağılımları arasında ilişki incelenmiştir.

**Ekim 2015, 69 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Bolu Hasar Dağılımı, Sismik Hızlar, Düzce Depremi

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **COMPARISON BETWEEN THE BUILDING DAMAGE DISTRIBUTION IN BOLU CITY CENTRE AFTER THE 1999 DÜZCE EARTHQUAKE AND SOIL CLASSIFICATION OBTAINED FROM THE SEISMIC VELOCITIES**

Elnaz KARIMI MAZIDI

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geophysics

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet T. BAŞOKUR

Düzce earthquake of 12<sup>th</sup> November 1999 caused serious damage and loss of life in the town of Bolu. Earthquakes, is affected by earthquake parameters such as focal length, size, duration, source mechanism and frequency of seismic waves. Furthermore, ground conditions play an important role in the building damage. In order to show this effect, the two-dimensional inversion of S-wave refraction method was carried out. Dynamic properties of soil, were examined over 141 refraction profile with the total length of 9,794 m and soil classification is made depending on the S-wave velocity. A good correlation was found among the S-wave velocity, the thickness of low-velocity layer and distribution of building damage.

**October 2015, 69 pages**

**Key Words:** Damage Distribution in Bolu, Seismic Velocities, Düzce Earthquake

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın bütün aőamalarında her türlü destekte bulunan değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet T. BAŞOKUR'a (Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı), çalıőmamı önerileri ile yönlendiren Dr. İsmail DEMİRCİ'ye ve hayatımın tüm aőamalarında her türlü desteği benden esirgemeyen annem, babam, abim ve eőine sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak yazım aşamasında her türlü yardımda bulunan Özcan ÖZYILDIRIM, Nursev CAN ve Amir REZAEİ'ye, ayrıca manevi destek sağlayan değerli arkadaşlarım Saba FARAHMAND, Parastoo POURNASROLLAH ve kuzenime teşekkür ederim.

Elnaz KARIMI MAZIDI

Ankara, Ekim 2015

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	3
2.1 Sismik Dalgalar .....	3
2.1.1 Cisim dalgalar .....	3
2.1.1.1P-dalgası.....	4
2.1.1.2 S-dalgası .....	4
2.1.2 Yüzey dalgalar.....	5
2.2 Sismik Kırılma Yöntemi (Seismic Refraction Method) .....	6
2.3 Kullanılan Algoritma (Düz ve Ters Çözüm) .....	7
2.3.1 Düz-çözüm .....	7
2.3.2 Ters-çözüm.....	7
2.4 Sismik Ölçümleri ve Veri Analizi.....	9
2.5 Titreşim Periyodu .....	10
2.5.1 Zemin hakim titreşim periyodu ( $T_0$ ).....	10
2.5.2 Bina titreşim periyodu (T).....	11
2.6 Zeminin S-Dalga Hızı .....	12
3. ZEMİN SINIFLAMASI .....	13
4. ÇALIŞMA ALANIN JEOLJİSİ.....	14
4.1 Kuzey Anadolu Fay Bölgesi.....	15
5. ÇALIŞMA ALANIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE JEOFİZİK	
ÇALIŞMALAR.....	16
5.1 Bina Deprem Performans Seviyeleri.....	16

<b>5.1.1 Hemen kullanım performans seviyesi .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1.2 Can güvenliği performans seviyesi .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1.3 Göçmenin önlendiği performans seviyesi .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1.4 Göçme durumu .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2 Bina Türüne Göre Hasarların Değerlendirilmesi.....</b>	<b>17</b>
<b>5.2.1 Ahşap ve tuğla binalar .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2.2 Tuğla duvarlı binalar .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2.3 Betonarme binalar .....</b>	<b>18</b>
<b>5.3 Jeofizik Çalışmalar .....</b>	<b>18</b>
<b>6. SONUÇ .....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>66</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>69</b>



## SİMGELER DİZİNİ

$V_{S30}$	İlk 30 metre için S-dalga hız değeri
$V_S$	S-dalgası hızı (m/s)
$V_P$	P-dalgası hızı (m/s)
$V_R$	Rayleigh dalgası hızı (m/s)
$\lambda$	Dalga boyu
$\mu$	Sıkışmazlık modülü ( $N/m^2$ )
$\rho$	Yoğunluk ( $Kg/m^3$ )
$E$	Young modülü ( $N/m^2$ )
$\sigma$	Poisson oranı
$H_f$	Bina yüksekliği
$D$	Varsayılan deprem yönündeki bina boyutu
$N$	Bina kat sayısı
$T$	Bina titreşim periyodu
$T_0$	Zemin hakim titreşim periyodu
$f_n$	Doğal frekans
$H$	Tabaka kalınlığı
$n$	Yeraltındaki katman sayısı
$s$	Saniye
$m$	Metre
$Hz$	Hertz
$Kg$	Kilogram

### **Kısaltmalar**

TB	Tavlama benzetimi
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Dalga yayılımı.....	3
Şekil 2.2 P-dalga, S-dalga ve yüzey dalgaların davranış .....	6
Şekil 2.3 Sismik kırılma yönteminin arazide uygulanışı .....	7
Şekil 4.1 Yer bulduru haritası .....	14
Şekil 4.2 KAF'ın konumu .....	15
Şekil 5.1 A ve B profillerinin konumu.....	18
Şekil 5.2 C profilinin konumu.....	19
Şekil 5.3 A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	19
Şekil 5.4 D ve Bayındırlık İl Müdürlüğü profillerinin konumu.....	21
Şekil 5.5 D profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	21
Şekil 5.6 E ve Emre sitesi profillerinin konumu .....	22
Şekil 5.7 Emre Sitesi profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	23
Şekil 5.8 F profilinin konumu .....	24
Şekil 5.9 G profilinin konumu .....	26
Şekil 5.10 G-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	26
Şekil 5.11 G-B1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	28
Şekil 5.12 G-B2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	28
Şekil 5.13 G-B3 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	29
Şekil 5.14 M, N ve P profillerinin konumu.....	30
Şekil 5.15 M profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	30
Şekil 5.16 N profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	31
Şekil 5.17 P-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması.....	31
Şekil 5.18 P-B profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması.....	32
Şekil 5.19 H ve I profillerinin konumu .....	34
Şekil 5.20 H-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	34
Şekil 5.21 H-B profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	35
Şekil 5.22 I-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	35
Şekil 5.23 I-B profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması.....	36
Şekil 5.24 K profilinin konumu .....	37
Şekil 5.25 KA profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	38

Şekil 5.26 KB profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	38
Şekil 5.27 R ve S profillerinin konumu .....	39
Şekil 5.28 R-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	40
Şekil 5.29 R-B profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	40
Şekil 5.30 Kent Merkezi ve Stadyum profillerinin konumu .....	42
Şekil 5.31 Kent Merkezi profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	43
Şekil 5.32 Stadyum profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	43
Şekil 5.33 Filiz Makarna profilinin konumu .....	45
Şekil 5.34 Filiz Makarna profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	45
Şekil 5.35 Kasaplar Köyü profilinin konumu .....	46
Şekil 5.36 Kasaplar Köyü 1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	46
Şekil 5.37 Kasaplar Köyü 2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	47
Şekil 5.38 A* ve B* profillerinin konumu .....	48
Şekil 5.39 A* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	48
Şekil 5.40 B* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	49
Şekil 5.41 C* profilinin konumu .....	49
Şekil 5.42 C* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	50
Şekil 5.43 D*, E*, F* ve G* profillerinin konumu .....	51
Şekil 5.44 D* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	51
Şekil 5.45 E* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	52
Şekil 5.46 F* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	52
Şekil 5.47 G* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	53
Şekil 5.48 I* profilinin konumu .....	54
Şekil 5.49 I*1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	54
Şekil 5.50 I*2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	54
Şekil 5.51 L* ve M* profilinin konumu .....	55
Şekil 5.52 L* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	56
Şekil 5.53 M* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	56
Şekil 5.54 N* profilinin konumu .....	57
Şekil 5.55 N*1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	57
Şekil 5.56 N*2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	58
Şekil 5.57 R* profilinin konumu .....	59

Şekil 5.58 R*1 profilinin kayma dalga (S) zemin gruplaması .....	59
Şekil 5.59 R*2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması .....	59
Şekil 5.60 S* profilinin konumu .....	60
Şekil 5.61 S* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması.....	61
Şekil 5.62 Bütün profillerin konumu .....	61
Şekil 5.63 Bolu şehir merkezin mahalleler ve profillerin konumu .....	62
Şekil 5.64 Bolu için: a. az hasarlı, b. Orta hasarlı, c. ağır hasarlı, d. göçme hasarlı bina dağılımı .....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Bina titreşim periyodu bağıntıları .....	12
Çizelge 3.1 S-dalga hızına göre zemin sınıflaması .....	13
Çizelge 5.1 Aşağısoku Mahallesi (A, B ve C profilleri) bina hasarları .....	20
Çizelge 5.2 Kültür Mahallesi (D, E, F-A ve F-B profilleri) bina hasarları .....	25
Çizelge 5.3 İzzet Baysal Mahallesi (G-A, F-C ve F-D profilleri) bina hasarları .....	27
Çizelge 5.4 Alpağutbey Mahallesi (Emre Sitesi ve G-B profilleri) bina hasarları .....	29
Çizelge 5.5 Sağlık Mahallesi (M, N, P Ve Bayındır İl Müdürlüğü profilleri) bina hasarları .....	33
Çizelge 5.6 Borazanlar Mahallesi (H, I profilleri) bina hasarları .....	37
Çizelge 5.7 Beşkavaklar Mahallesi (K profili) bina hasarları.....	39
Çizelge 5.8 Tepecik Mahallesi (S profili) bina hasarları .....	42
Çizelge 5.9 İhsaniye Mahallesi (Kent Merkezi ve Stadyum ölçümleri profilleri) bina hasarları .....	44
Çizelge 5.10 Profillere ait titreşim periyotları ve $V_{S30}$ tablo ile gösterimi.....	63
Çizelge 5.11 Profillere ait titreşim periyotları ve $V_{S30}$ tablo ile gösterimi.....	64

## 1. GİRİŞ

Türkiye'nin en aktif fay zonu olan Kuzey Anadolu Fayı (North Anatolian Fault (KAF)), 1999 yılında iki büyük deprem yaratmıştır. İlki, 17 Ağustos 1999 tarihinde 45 saniye süren büyüklüğü 7.4 olan "İZMİT depremi" ve ikincisi 12 Kasım 1999 tarihinde 30 saniye süren büyüklüğü 7.2 olan "DÜZCE depremi" dir. Araştırma alanı Düzce fayının yüzey kırığının doğu bitiş noktasından 15 kilometre uzaklığındadır ve ayrıca Düzce depreminin merkez odağından 34 km uzaklıkta olan Bolu şehrinin merkezi ve yakınında yer almaktadır. Bu deprem sonucunda 26.704 ağır hasarlı, 37.825 orta hasarlı, 40.944 hafif hasarlı konut saptanmıştır. 763 kişi hayatını kaybetmiş, 4948 kişi de yaralanmıştır. Bu rakamların %12'si 2431 binanın çökmesine neden olan deprem Bolu şehrini çok etkilemiştir. Bolu nüfusundan 48 kişi ölmüş ve 345 kişi yaralanmıştır.

Kuzey Anadolu Fayı üzerinde bulunan bütün bölgeler yüksek deprem riskine maruzdur. Bolu Ovası da bu yerlerden birisidir. Ovanın güneyinden geçen Abant-Bayramören segmenti üzerinde, tarihi kayıtlara geçmiş depremler bulunmaktadır. Alet kaydının olmadığı dönemlere ait MS 967 ile 1890 yılları arasında meydana gelmiş 12 deprem bilinmektedir. Aletsel kayıt dönemi içerisinde ise bu segment üzerinde veya çok yakınında 1912 ile 1999 yılları arasında meydana gelmiş 9 deprem söz konusudur. Bunlardan en büyüğü ve ağır hasara yol açan ilki 1 Şubat 1944 tarihinde meydana gelmiş olan 7.3 aletsel büyüklüğündeki Bolu-Gerede depremidir. Gencoğlu'na (1986) göre deprem nedeniyle 9422 yapı yıkılmış, 8206 yapı ağır hasara uğramış ve 2552 kişi ölmüş, 1182 kişi yaralanmıştır, Taşman (1944) ve Ketin'e (1948) göre 2381 kişi ölmüş ve 50000'den fazla ev ağır hasara uğramıştır. Hasar Bolu, Gerede, Çerkeş, Beypazarı-Güdül'de fazla olmuştur. Bu depremden bir gün sonra 02.02.1944 tarihinde meydana gelen ikinci bir depremde ise 87 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu deprem sonucunda Bolu ve Gerede'de binaların büyük bir kısmı kullanılamaz hale gelmiştir. İkincisi ise 26 Mayıs 1957 tarihinde büyüklüğü 7.1 olan Bolu-Abant depremidir ve KAFZ'nun Mudurnu vadisindeki kesimi üzerinde gözlenmiştir. Deprem Bolu'dan başlayıp Abant silsilesi ve Dokurcun vadisini izleyerek batıda Akyazı'ya kadar uzanmış ve 40 km'den fazla bir alandaki köylerde hasar ve can kaybına neden olmuştur. Gencoğlu'na (1986) göre deprem 5000 yapının ağır hasar görmesine, 52 kişinin ölümüne ve 101 kişinin

yaralanmasına neden olmuştur.

17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri ile onları izleyen ülkenin çeşitli yerlerinde meydana gelen depremler, yapılaşmanın zemin koşullarının gerekli şekilde araştırılmadan gerçekleştirildiğinin anlaşılmasını sağlamıştır. Bu tez çalışmasında, 1999 Düzce depremi sonrası yapı hasarlarının olduğu bölgeler ve genel olarak Bolu kent merkezindeki zeminler sismik dalga hızlarına göre sınıflanarak yapı hasarlarının hangi tür bölgelerde gerçekleştiği araştırılmıştır. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında hazırlanan ülkemiz ve Avrupa Birliği yönetmeliklerinde sismik dalga hızları kullanıldığından, bu yönetmeliklerde öngörülen zemin değerleri ile Bolu'daki hasar arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

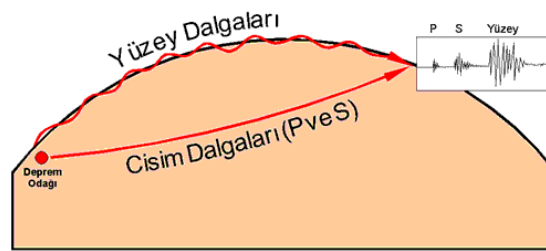
## 2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu tezde, 1999 depremi sonrasında Bolu ili sürekli iskan alanlarının belirlenmesi (Varol vd. 2000) ve Bolu ili yerleşim alanının jeolojik, jeofizik ve jeoteknik incelenmesi (Gökten vd. 2001) projeleri çerçevesinde gerçekleştirilen sismik kırılma çalışmalarında elde edilen veri kullanılacaktır. Veri, kentsel alan içerisinde 141 profili kapsamakta ve toplam uzunluğu 9794 metredir.

Sismik kırılma verisine iki-boyutlu ters-çözüm uygulanarak S-dalga hızı modelleri elde edilmiştir. Elde edilen yeraltı hız modelleri zemin sınıflandırılması için kullanılmış ve her zemin türünün ortalama kalınlıkları hesaplanarak görselleştirilmiştir.

### 2.1 Sismik Dalgalar

Sismik dalgalar genel olarak ikiye ayrılır. Bunlar; cisim dalgaları ve yüzey dalgalarıdır. Sınırsız homojen ortamlarda yayma dalgalar cisim dalgalarıdır. Eğer ortam çökel kayalardan oluşmuş veya serbest bir yüzeye sahip ise yüzey dalgaları oluşur. Cisim dalgaları yer içinde yüzey dalgalarından daha hızlı ilerler.



Şekil 2.1 Dalga yayılımı (Buğdaycı 1999)

#### 2.1.1 Cisim dalgalar

Cisim dalgaları, kaynaktan bütün yönlerde doğru yayılarak yer içerisinde seyahat ederler. Bu dalgalar en temel dalgalardır ve P ve S dalgaları olmak üzere ikiye ayrılır.



### 2.1.1.1 P-dalgası

Bir kaynaktan yayılan ilk dalga birincil (primer, P) dalgadır. P-dalgası boyuna yayılan bir dalgadır. Yani P-dalgaları yayılma doğrultusu ile aynı yönde parçacık hareketi oluşturularak ilerler. Dalga yayınımında hacim değişikliği ile birlikte şekil değişimi de oluşur. Bu şekil değişimi sırasında açılar değişmez. P-dalgaları katı, sıvı ve gaz ortamlarında yayılabilir. En hızlı yol alan dalgalar olduğundan deprem kayıtlarında en önce kaydedilir. P-dalgalar,  $V_P$  hızı ile yayılır.  $V_P$  hızı aşağıdaki formülle gösterilmektedir:

$$V_P = \sqrt{\left(\frac{\lambda+2\mu}{\rho}\right)} = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \quad (2.1)$$

Burada  $V_P$ ;P dalga hızı (m/s),  $\lambda$ ;dalga boyu,  $\mu$ ;sıkışmazlık modülü ( $N/m^2$ ),  $\rho$ ;yoğunluk ( $Kg/m^3$ ),  $E$ ;young modülü ( $N/m^2$ ) ve  $\sigma$ ;poisson oranıdır.

### 2.1.1.2 S-dalgası

Kaynaktan yayılan ikincil (seconder) dalgaları ise S-dalgası adını alır. S-dalgası enine yayılan dalgalardır. Yani bu dalgalar yayılma doğrultusuna dik yönde parçacıkları titreştirerek ilerler. Bu dalgalara kesme dalgası da denilmektedir. Kesme kuvvetine direnç göstermeyen sıvı ve gaz özellikteki ortamlarda yayılamazlar. Enine dalganın yayınımı sırasında elemanlarda şekil bozulmaları, yani açılarda değişim gözlenir. S-dalgalarının genliği P-dalgalarının genliğinden büyüktür. S-dalgalarının yayınımında, enine olan parçacık salınımı yatay düzlem üzerinde ise dalga SH adını alır. Eğer parçacık hareketleri düşey düzlem üzerinde kalıyorsa SV adını alır. S-dalgasının hızı olan  $V_S$ :

$$V_S = \sqrt{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}} \quad (2.2)$$

Burada  $V_S$ ; P dalga hızı (m/s),  $\mu$ ; sıkışmazlık modülü ( $N/m^2$ ),  $\rho$ ; yoğunluk ( $Kg/m^3$ ),  $E$ ; young modülü ( $N/m^2$ ) ve  $\sigma$ ; poisson oranı şeklinde ifade edilir. P ve S dalga hızlarının oranı ise;

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{2(1 - \sigma)/(1 - 2\sigma)} \quad (2.3)$$

bağıntısı ile verilir. Poisson oranını ( $\sigma$ ) genellikle elastik katılar için 0.25 olan değeri yukarıdaki bağıntıda yerine konursa  $\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{3}$  olur. Bu da katılarda P-dalgasının, S-dalgasından 1.7 kat daha hızlı olduğunu gösterir.

### 2.1.2 Yüzeysel dalgalar

Yüzeysel dalgaları, hemen hemen yer kürenin yüzeyine paralel bir şekilde yayılırlar. Bu dalgalar Rayleigh ve Love dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu tür dalgalar yarı sonsuz ortamlarda meydana gelirler.

Rayleigh dalgaları, elastik katı bir cismin sadece serbest yüzeyinde yayılırlar. Partikül hareketi daima düşey düzlemde olmak üzere eliptiktir. Love dalgaları, salınım düzlemleri yatay olduğu halde yayının doğrultusuna dik salınan parçacık hareketinden meydana gelir. Daima dispersiyon gösterirler.

Love dalgalarının hızı, Rayleigh dalgalarının hızından büyüktür.  $V_R$ , Rayleigh dalgası hızı ve  $V_S$ , S-dalgası hızı olmak üzere  $V_R = 0.92 V_S$  şeklinde doğrusal bir ilişki vardır.

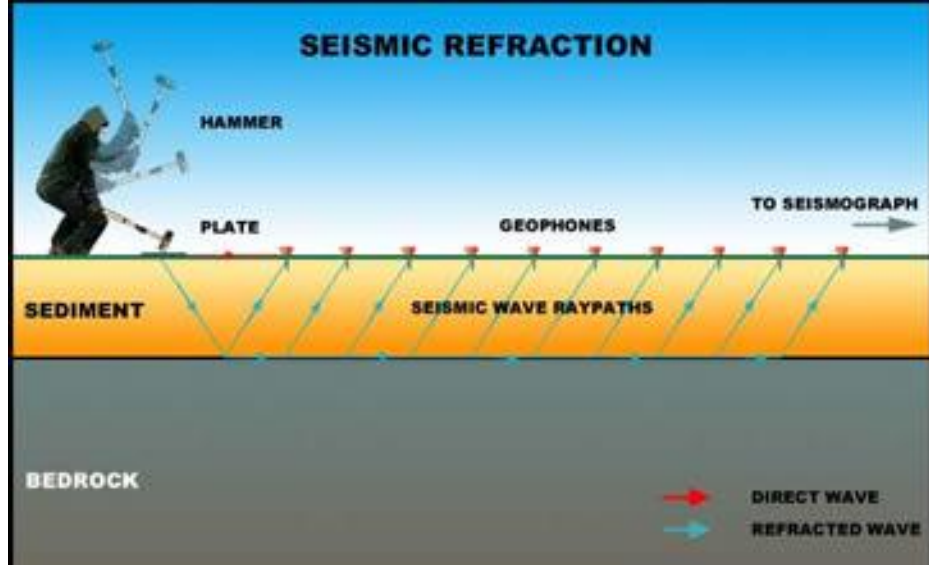


Şekil 2.2 P-dalga, S-dalga ve yüzey dalgaların davranış (Buğdaycı 1999)

## 2.2 Sismik Kırılma Yöntemi (Seismic Refraction Method)

Bu yöntemde yeraltında gönderilen ses dalgalarının yer içindeki yapı sınırlarında meydana gelen kırılma özellikleri üzerinde durulmaktadır. Sismik kırılma metodunda zemine ait jeolojik birimlerin (tabakaların) sismik hızlarının ve bu tabakaların derinliklerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi mümkündür.

Sismik kırılma yöntemi, veri toplama ve değerlendirme açısından oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Diğer önemli bir özelliği ise dalga yayılım hızının derinlikle arttığı tabakalı ortamlarda, tabakaların sismik hızlarının ve kalınlıklarının tespit edilmesini sağlar. Yöntem, yeraltı suyu araştırmalarında, mühendislik amaçlı sığ zemin araştırmalarında, özellikle deprem tehlikesinin beklendiği yörede sismik tehlike araştırmalarında yatay ve düşey yönde her bir katman için sismik hızların belirlenmesi ve gerçek tabaka kalınlıkları ve bunların dinamik özelliklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 Sismik kırılma yönteminin arazide uygulandığı (http://earthquake.usgs.gov/)

## 2.3 Kullanılan Algoritma (Düz ve Ters Çözüm)

### 2.3.1 Düz-çözüm

Düz çözüm veri ve parametreleri birbirine bağlayan matematik bağıntıdır. Düz çözüm için ışın izleme yöntemleri ve dalga cephesi izleme yöntemleri kullanılır. Bu yöntemlerle kaynak ve alıcı arasındaki seyahat zamanı hesaplanır. Işın izleme yöntemleri, bir kaynaktan çıkıp alıcı tarafından kaydedilen ışın yolunu çözmeyi çalışır ve dalga cephesi yöntemleri tüm dalga cephesini izlemeye dayalı olarak geliştirilmiştir. Ortamda bir kaynak ve bir alıcı varsa, ışın izleme yöntemi daha hızlı ve eğer ortamda birden fazla alıcı varsa dalga cephesi izleme yöntemleri daha hızlıdır.

### 2.3.2 Ters-çözüm

Ters çözüm ölçülen veriye çakışan kuramsal veri kümesinin aranması işlemine denilir. Yani, ölçülen veriden yararlanılarak, parametre değerlerinin hesaplanmasıdır. Ters-çözümün amacı, çakışmazlık derecesini (yanılgı enerjisini) en küçüklemektir. Bu tezde

SeisOpt 2D programı kullanılmıştır ve bu program Tavlama Benzetimi algoritması ile çalışmaktadır.

### **2.3.2.1 Tavlama Benzetimi (simulated annealing)**

Tavlama Benzetimi (TB) doğrusal olmayan problemleri çözmek amacı ile Kirkpatrick vd. (1983) tarafından geliştirilmiştir. Ters-çözümün diğer yöntemlerine göre TB'nin en büyük avantajı yerel minimumlara gitmemesidir. Örnek olarak bir minimizasyon probleminde, bu algoritma amaç fonksiyonunu yalnızca azaltarak değil, aynı zamanda arttırarak da rastgele arama ile sonuca ulaşmayı hedefler.

TB algoritması bir başlangıç çözümünden başlayarak pek çok komşu çözüm arasında arama yapmaktadır. Algoritmayı aynı sınıftaki diğer algoritmalarından ayıran ana özellik, iyi çözümleri kesin olarak kabul ederken kötü çözümleri kesin olarak reddetmemesidir. Bir başka deyişle amaç fonksiyonunun değerini kötüleştiren bir çözümün kabul edilme olasılığı daima sıfırdan büyük olmaktadır. Bunun gerekçesi, algoritmanın bir yerel optimuma takılmasını engellemektir (Ayan 2009). Bir TB algoritması genel olarak bir başlangıç çözümü, komşu çözümler oluşturma yöntemi ve bir tavlama programından oluşmaktadır. TB algoritmasının bir başka özelliği de çalışmada yapılan aramanın en son %40'ı çözüm civarındadır.

Bu yöntemin güçlü yönleri :

- Tavlama benzetimi güvenilir bir yöntemdir. Gürültülü veriler içeren, karmaşık ve doğrusal olmayan problemler için de kullanılabilir.
- Diğer yerel arama yöntemlerine göre en önemli avantajı, esnekliği ve global çözüme ulaşabilme yeteneğidir.
- TB yöntemi herhangi doğrusal olmayan bir optimizasyon algoritmasının performansını arttırmak için uygulanabilir. Verilen algoritmayı birden fazla problemlerde kullanmak için uyarılama yeteneği ile o algoritmanın önemli özelliklerini dikkate alır.

Bu yöntemin zayıf yönleri ise:

- TB metasezgisel olduğundan dolayı, geçerli bir çözüm üretmesi için bir çok seçenek gereklidir.
- Çözümlerin niteliği ve bunları hesaplamak için gerekli olan zaman arasında bir denge vardır.
- Doğru bir çözüme ulaşmak için parametrelerin duyarlılıkla ayarlanması ve kısıtların iyi seçilmesi gerekir.
- TB uygulanmasında kullanılan sayıların sonucun niteliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

#### **2.4 Sismik Ölçümleri ve Veri Analizi**

Sismik kırılma çalışmaları ile zeminin dinamik özelliklerine incelemek için, S-dalgası hızları kullanılmıştır. Bu dalga binalarda da deformasyona sebep olduğu için mühendislik amaçlı çalışmalarda S-dalga hızı kullanılmaktadır. S-dalga hızı Bolu şehrinin içinde 21 profilde toplam uzunluğu 6482 metre ve Bolu'nun civarındaki bölgelerde 13 profilde toplam uzunluğu 3312 metre boyunca ölçülmüştür. Çalışmalarda ABEM Terraloc MK6 tipinde 12 kanallı sismik cihaz kullanılmıştır. Profiller için her biri 60-72 metre uzunluğundaki jeofon serimleri oluşturulmuştur. Her serimde S-dalgası kayıtları için beşer atış yapılmıştır. Yeraltı hız modeli S kırılma verisinin ilk geliş zamanı değerlerinden ölçü profilleri boyunca hesaplanmıştır. Veri yorumlanmasında ticari ters çözüm programı SeisOpt 2D kullanılmıştır. Algoritma yeraltını iki boyutlu dikdörtgen hücrelere bölmektedir. Model yanıtı iki ardışık hücre arasında bir hız gradiyenti varsayılarak hesaplanır. Bu varsayım, derinlikle sıklığın arttığı alüvyon tabakalar için kabul edilebilir. Homojen yerin başlangıç hız modeli, modelin tepkisi ve tavlama benzetimi yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanı arasında yeterli bir uyuma kadar güncellenir. İki-boyutlu (2-B) model ve parametre kestirim yöntemi ile elde edilen hız değerlerinden yararlanılarak, zemin sınıflaması her profilde derinliğe bağlı olarak iki-boyutlu kesit olarak verilmiştir.

## 2.5 Titreşim Periyodu

Fiziksel olarak her türlü malzemenin bir salınım periyodu bulunmaktadır. Dolayısıyla yapıların ve üzerine inşa edildikleri zeminlerin de doğal salınım periyotları vardır. Zeminin ve yapının baskın salınım periyotları belirlenebilir. Bu değer zeminlerin sıklığı/gevşekliğine, yapılarda da kütesine ve rijitliğine bağlı olarak değişir. Mühendislik açısından önemli olan bina ve zeminin doğal hakim periyotların çakışmaması ve birbirinden uzak olmasıdır. Aksi takdirde rezonans denilen olay meydana gelir ve deprem sırasında bu tür yapılara gelen yükler çok büyük değerlere ulaşarak binanın yıkılmasına neden olabilir.

### 2.5.1 Zemin hakim titreşim periyodu ( $T_0$ )

Gelen deprem dalgaları hiçbir zaman tek bir harmonikten oluşmaz. Genelde hasar yapıcı özelliğe sahip dalga grubu 0.1 Hz ile 10 Hz arasında bileşenleri bulunur. Deprem dalgalarının frekans içeriğini kaynaktaki kırılmanın özellikleri belirler. Daha sonra yayıldıkları ortamın özellikleri bunu şekillendirir. Yumuşak zemin tabakalar, bu farklı genlik ve frekanslardan oluşan deprem dalgalarının tümüne aynı tepkiyi vermez. Yani; büyütme frekansa bağımlıdır, bazı frekanslar daha çok, bazı frekanslar ise daha az büyütülür.

Elastik bir ortamın rijit dairevi bir kısmının torsional salınımında torsiona uğrayan sütunun doğal frekansı;

$$f_n = \frac{V_s}{4H} \quad (2.4)$$

olunca doğal periyot ( $T_0$ )

$$T_0 = \frac{4H}{V_s} \text{ (s)} \quad (2.5)$$

şelindedir (Keçeli 1990).

Bu bağıntı taban kayası üzerinde tek bir tabaka durumu için geçerli olmaktadır. Zemin birkaç tabakadan oluşuyor ise her tabakanın  $V_s$  değeri için ayrı bir  $T_0$  değeri hesaplanmalı ve 30 metreye kadar olan derinlik için bunlar toplanmalıdır.

Bunun için Zeevaert'in (1967) önerdiği;

$$T_0 = \sum_{i=1}^n \frac{4H_i}{V_{s_i}} \text{ (s)} \quad (2.6)$$

denklemini kullanılır.

### 2.5.2 Bina titreşim periyodu (T)

Yapıların en önemli dinamik özelliği doğal titreşim periyodudur. Periyot yapının ağırlığı ve taşıyıcı sisteminin yatay yüklere karşı rijitliğine bağlıdır. Yapıların titreşim periyodu yapının kat adedine ve taşıyıcı sistemine göre değişmektedir.

Yapıların doğal titreşim periyotları analitik yöntemlerle hesaplanabilir ancak bu oldukça zaman alıcı bir işlem olduğu için bir çok ülkenin deprem yönetmeliklerinde titreşim periyotları ampirik formüllerle verilmektedir.

Türkiye için bina titreşim periyodu bağıntısı ilk defa Aykut tarafından önerilmiştir ve daha sonra Bayülke (1978) tarafından geliştirilerek  $T = 0.05 N$  ( $N$  bina katsayısıdır) formülü elde edilmiştir. Bir çok ülkenin deprem yönetmeliklerinde titreşim periyotları  $T = 0.1 \sim 0.07 N$  formüllerle verilmektedir. Türkiye'de genelde betonarme binalar için kullanılan formül aşağıdaki gibidir:

$$T = 0.1 N \quad (2.7)$$



Çizelge 2.1 Bina titreşim periyodu bağıntıları

	Bağıntı
Bayülke (1978)	$T=0.05*N$
UBC (1985)	$T=0.1*N$
NEHRP (1994)	$T=0.1*N$
USCC (The United State Seismic Code)	$T=0.09N\sqrt{D/H_f}$

## 2.6 Zeminin S-Dalga Hızı

Zeminin hızını hesaplamak amacı ile genelde S-dalga hızı 30 metreye kadar incelenmiştir. Çünkü sismik kırılma yönteminde sığ derinliklere (20m-30m) ait hız bilgileri iyi bir ayrımlılıkta elde edilir ve ona göre zemin sınıflandırılmıştır. Zemin sınıflamasında kullanılan  $V_{S30}$  parametresi ilk 30 metredeki tabakalar dikkate alınarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$V_{S30} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^n \frac{H}{V_S} \text{ (m/s)}. \quad (2.8)$$

### 3. ZEMİN SINIFLAMASI

Zeminlerin farklı özellikleri kullanarak zeminler sınıflandırılmaktadır. Bu tez çalışmasında zemin S-dalga hızına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflama için dört yeraltı sınıfa ayrılan Türk Tasarım Koşulu kullanılmıştır. A sınıfı, en az 700 m/s s-dalga hızı ile karakterize edilen jeolojik formasyondan oluşmaktadır. B sınıfı, S-dalga hızı 400 m/s ve 700 m/s aralığında olan volkanik kayalar, sert kum ve çakıldan oluşmuştur. C sınıfı en az 200 m/s s-dalga hızı ile belirlenen orta sert kum ve çakıl, sert kil ve siltli kil içerir. D sınıfı 200 m/s altındaki S-dalga hızları çok yumuşak alüvyon çökelişi olarak tanımlanmıştır. Burada, hız değişimini daha iyi belirtmek amacı ile C ve D grubu zeminler C1 - C2 ve D1 - D2 olarak iki alt gruba bölünmüştür. İki boyutlu ters çözümden elde edilen S-dalga hız modeli her yeraltı sınıfı için farklı renk kodları verilerek sınıflandırma yapılmıştır.

Çizelge 3.1 S-dalga hızına göre zemin sınıflaması (Anonim 1999).

Zemin sınıfları	S-dalga hızı
A grubu	$V > 700$ m/s
B gurubu	400-700 m/s
C1 gurubu	300-400 m/s
C2 gurubu	200-300 m/s
D1 gurubu	100-200 m/s
D2 gurubu	0-100 m/s

(Bayındırlık ve İskan Bakanlığı – Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'ten (1999) yararlanılmıştır.)

#### 4. ÇALIŞMA ALANIN JEOLJİSİ

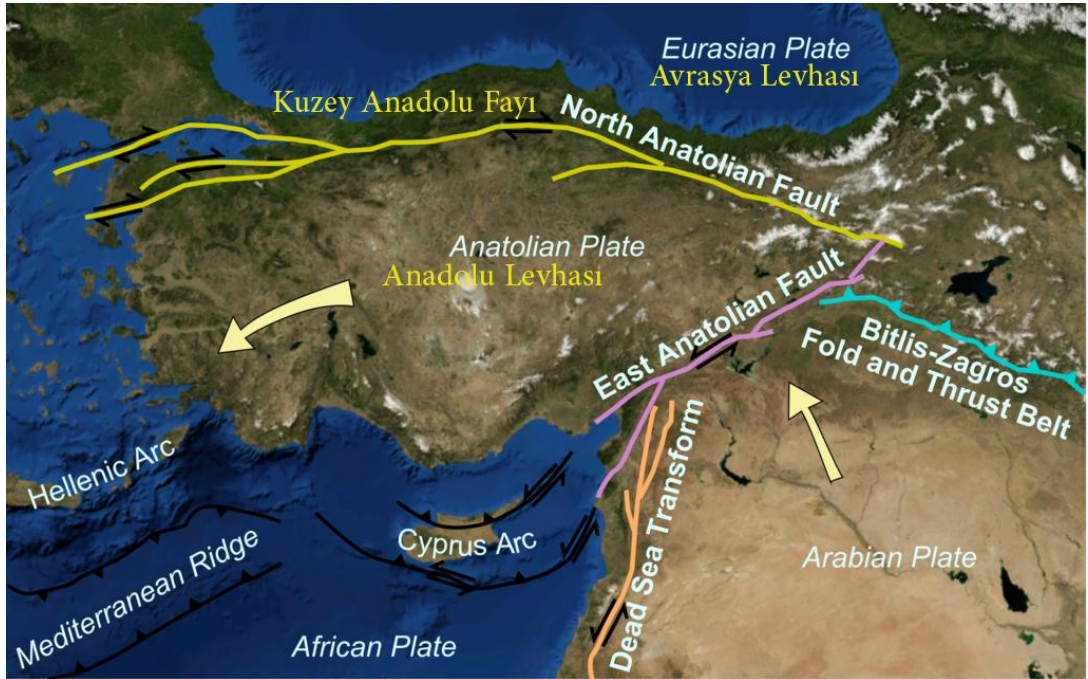
Bolu ovası, KAF tektonik denetimli ve çek-ayır (yanal atımlı fay) sistemini içeren dalları tarafından geliştirilmiştir. Ova doğu-batı yönünde 20 km uzunluğunda ve kuzey-güney yönünde yaklaşık 5 km genişliğindedir. KAF'ın ana dalı ovanın güneyini sınırlar ve ovanın tabanında güneye doğru eğime neden olan önemli bir eğim atımlı bileşeni vardır. Bu kademeli eğim, kalınlığı ve derelerden gelen jeolojik malzeme türü ve dolayısıyla kuzeyden güneye uzanan alüvyon yelpaze modellerini kontrol eder. Akım değişimi nedeni ile, sedimentolojik birimler küçük dane boyutundan büyüğe geçiş göstermektedir. Malzemelerin dane boyutu ovanın orta kesiminde küçülür. Ovanın kuzeydoğu ve doğu kısımları, kenar fasiyes çökelleri ve çakıllı, siltli ve kumlu malzemeler içeren yelpaze çökellerine sahiptir. Ovanın güneye yakın bölgeleri killi, siltli ve bataklık çökellerden oluşmaktadır (Gökten vd. 2002).



Şekil 4.1 Yer bulduru haritası (<https://www.google.com/maps>)

#### 4.1 Kuzey Anadolu Fay Bölgesi

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), sağ yanal doğrultu atımlı faydır ve uzunluğu 1350 km'den fazla olan Türkiye'nin doğusundan Ege Denizi'nde Korint Körfezi'ne ulaşır. Aslında KAF, Avrasya ve Anadolu plakaları arasında bir sınır teşkil etmektedir. Sonuç olarak Anadolu plakası, KAF ve Doğu Anadolu Fay arasında batıya doğru sınırlanmıştır. 1939 yılından bu yana fay boyunca 8 tane,  $M=7.0$  veya daha büyük deprem olmuştur. Bu depremler fay boyunca doğudan batıya bir etkinlik göstermişlerdir (Ketin 1969, Dewey 1976). Bu etkinlik, 26 Aralık 1939 Erzincan depremi ( $M = 7.9$ ) ile başlamış, 20 Aralık 1942 Erbaa-Niksar ( $M=7.2$ ), 26 Kasım 1943 Tosya-Ladik ( $M=7.1$ ), 1 Şubat 1944 Bolu-Gerede ( $M=7.2$ ), 26 Mayıs 1957 Bolu-Abant ( $M=7.1$ ) depremleri ile devam etmiş, 22 Temmuz 1967 Adapazarı ( $M=7.2$ ) depremiyle sürmüştür. Bu fay zonu üzerinde son olarak 17 Ağustos İzmit depremi ( $M=7.4$ ) ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri ( $M=7.2$ ) meydana gelmiştir.



Şekil 4.2 KAF'ın konumu (Anonymous 2011)

## **5. ÇALIŞMA ALANIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE JEOFİZİK ÇALIŞMALAR**

### **5.1 Bina Deprem Performans Seviyeleri**

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapı sisteminde oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenmesi için de aynı tanımlar kullanılabilir (Özer 2005).

#### **5.1.1 Hemen kullanım performans seviyesi**

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik (katılık, şekil değiştirme) ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeydedir (Özer 2005).

#### **5.1.2 Can güvenliği performans seviyesi**

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlar hasarlı olmakla birlikte dolgu duvarlar yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir, ancak gözle fark edilebilir düzeyde değildir (Özer 2005).

#### **5.1.3 Göçmenin önlendiği performans seviyesi**

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yükleri taşımak için yeterlidir, ancak bazıları

eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur (Özer 2005).

#### **5.1.4 Göçme durumu**

Yapı uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyen elemanlar düşey yükleri taşıyabilmektedir; fakat rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddetteki bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir (Özer 2005).

## **5.2 Bina Türüne Göre Hasarların Değerlendirilmesi**

Zemin türü ve katmanların hızının dışında binaların hasar görmesi başka nedenler içerebilir. Bunlardan başlıcaları aşağıdaki gibi sınırlandırılabilir:

### **5.2.1 Ahşap ve tuğla binalar**

Bu tür evler, ahşap yerel kullanılabilir olan bölgelerde oldukça yaygındır. Bu binaların hiç birisi hatta oldukça eski olanlar bile bütünüyle çökmemiştir (Aydan vd. 2000).

### **5.2.2 Tuğla duvarlı binalar**

En çok zarar gören binalar tuğla ile yapılan binalardır. 1992 Erzincan tecrübesinden sonra yasaklanmasına rağmen yine yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydan vd. 2000).



### 5.2.3 Betonarme binalar

Daha yoğun hasar görmüş ya da çökmüş olan binalar, 4 ve 8 kat arasında olan betonarme binalardır. Ağustos 1999 Kocaeli depreminde az hasar gören binalar bu depremde yoğun hasar görmüştür (Aydan vd. 2000).

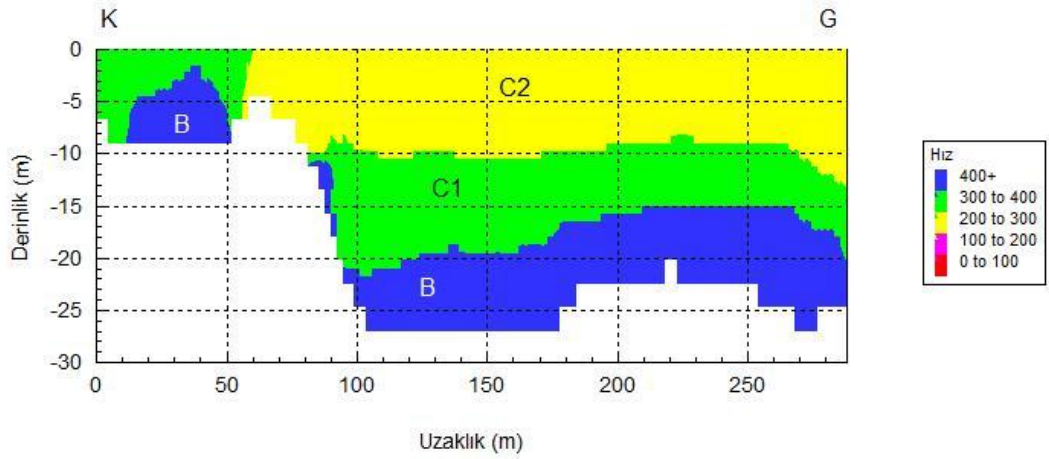
### 5.3 Jeofizik Çalışmalar



Şekil 5.1 A ve B profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.2 C profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.3 A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**A profili** Bolu Belediyesi Asfalt Şantiyesi güneyinde, İğnesi Deresi'nin doğusundadır ve 70'er metrelik 4 serimden oluşmaktadır (Şekil 5.1). Bu profilin ilk 60 metrelik mesafesinde S-dalga hızı değerleri 350 m/s civarındadır. Güneye doğru hız azalmakta olup S-dalga hızları, ortalama 10 metre kalınlığındaki birinci tabakada C2 ve ikinci tabakada C1 aralığında değişmektedir ve daha derinlerde B grubu zemini göstermektedir (Şekil 5.3).



**B profili** A profilinin kuzeyinde 70'er metrelik iki serimden oluşan bu profil ilk ölçülen hat olup, S-dalgası kaydı için gereken hazırlıklar bitirilemediğinden hesaplanamamıştır.

**C profili** Bolu Belediyesi Asfalt Şantiyesinin kuzeydoğusunda, çöp dökme alanının doğusunda yer almaktadır ve 70'er metrelik iki profilden oluşmaktadır (Şekil 5.2). İlk tabaka havalanma zonuna karşılık gelmekte olup, hız değerleri oldukça düşük ve kalınlığı 1-1.5 metre arasında değişmektedir. İkinci katman 4-6 metre arasında kalınlık değeri vermekte olup, S-dalga hızı 300 m/s civarında olduğundan C grubu bir zemin oluşturmaktadır. Üçüncü tabaka 500 m/s daha büyük S-dalga hızı değerleri ile B grubu bir zemindir.

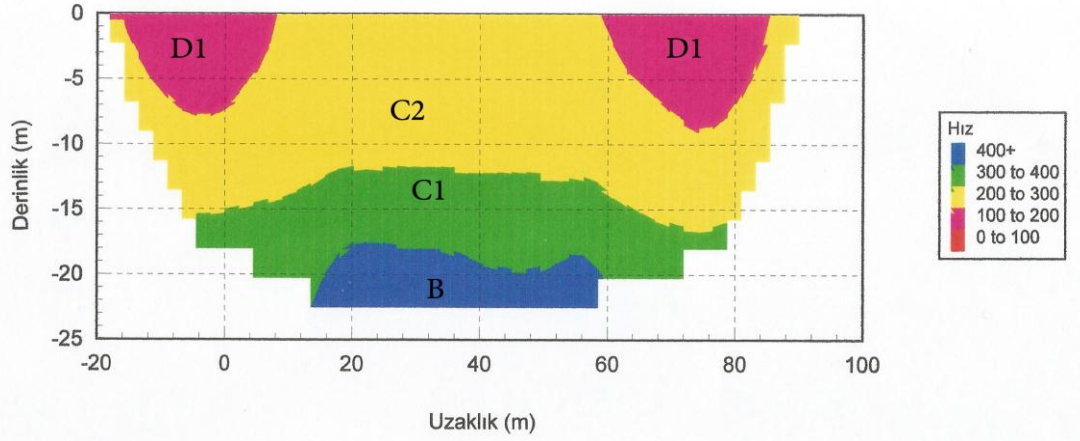
Çizelge 5.1 Aşağısoku Mahallesi (A, B ve C profilleri) bina hasarları (Aydınoglu ve Tüzün 2007)

	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	0	0	0
3 katlı	0	37	0	0
4 katlı	0	42	3	1
5 katlı	0	10	2	0
6 katlı	0	5	1	0
7 katlı	0	0	0	0
8 katlı	0	0	0	0

A profilinin 60 metre uzunluğuna kadar 30 metre derinliğinin S-dalga hızı (2.8) bağıntısı kullanılarak 430 m/s ve profilin geri kalan kısmı için 330 m/s bulunmuştur. Bu profil için zemin hakim titreşim periyodu (2.7) bağıntısı kullanılarak ilk 60 metre mesafede 0.27 saniye ve profilin geri kalan kısmı için 0.36 saniye bulunmuştur. Aynı bağıntılar kullanılarak C profili için hesaplanan S-dalga değeri yaklaşık 433 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.27 saniyedir. Sonuçlara göre bu mahallenin S-dalga hız değeri yüksek olup sert zemin özelliği göstermektedir.



Şekil 5.4 D ve Bayındırlık İl Müdürlüğü profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.5 D profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**D profili** Şehitler Caddesi'nin kuzey ucunun batısında yer almaktadır ve 70'er metrelik 5 serimden oluşmaktadır (Şekil 5.4). Yüzeyde görülen 120-150 m/s arasındaki hız değerleri havalanma zonuna karşılık gelmekte olup, bu zonun altında 15 metreye kadar S-dalga hızı değerleri 245-260 m/s arasında değişmektedir. Daha derinlerde C1 ve sonra B zemin sınıfı özelliğindedir (Şekil 5.5). D profili üzerindeki sondajlar kil seviyelerini

kesmiştir ve S-dalga hızı değerlerine göre bu profil, C grubu zemin özelliği göstermektedir.

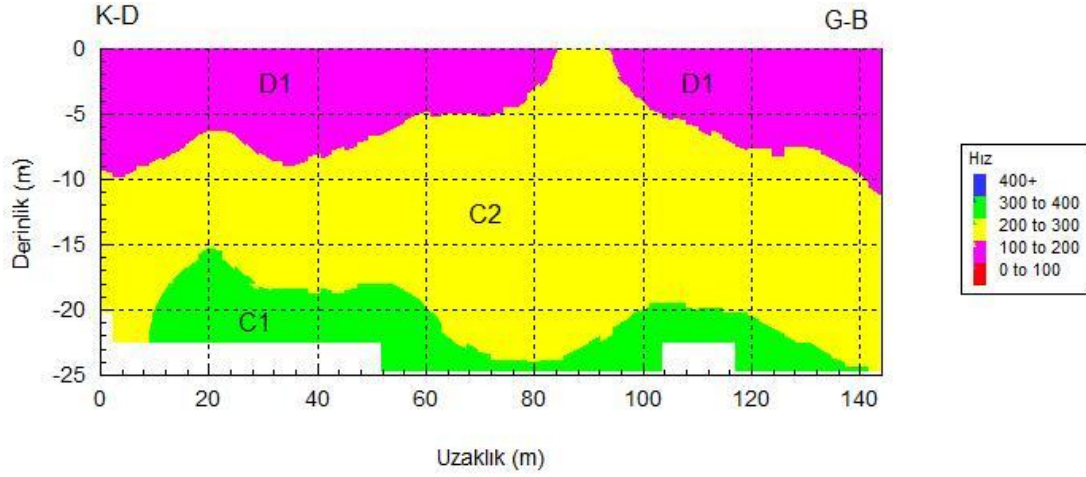
**Bayındırlık İl Müdürlüğü profili**, Bayındırlık İl Müdürlüğü'nün bahçesinde serim boyu 60 metre olmak üzere her biri beşer atıştan oluşmaktadır (Şekil 5.4). Havalanma zonunun 1 metre kalınlığında olduğu, kuzeyde 13 güneyde 8.5 metre kalınlığındaki ikinci tabakanın 220 m/s hız değerleri ile D grubu zemine yakın özellik gösterdiğine işaret etmektedir. Daha derinlerde ise 452 m/s S-dalga hızlı (B grubu zemin) görsel olarak sağlam bir katman bulunduğu görülmektedir. Gerek yeraltı suyu seviyesinin yüzeye oldukça yakın, gerekse 10 metrelik bölümde D grubuna yakın bir zemin olması Bayındırlık İl Müdürlüğü binalarındaki hasarın nedenlerini açıklamaktadır.



Şekil 5.6 E ve Emre sitesi profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)

**E profili** Salı Beylerin batısında 70 metre boyunda altı serimden oluşmaktadır ve toplam uzunluğu 420 metredir (Şekil 5.6). İlk tabaka düşük hızla kuzeyde 2 metre kalınlıkta, E3 noktası civarında 4 metre kalınlığa erişip sonra güneye doğru incelerek 1 metre kalınlığa düşmektedir. Düşük hız tabakasının altında S-dalga hızı değerleri 240-250 m/s arasındadır. Bu değerler alt katmanın C grubu zemin olduğuna işaret

etmektedir. Ancak, E5 ve E6 noktaları arasında hem yüzeyde hem de alt katmanda hız düşmekte olup, zemin D grubu özelliği göstermektedir.



Şekil 5.7 Emre Sitesi profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**Emre Sitesi profili** sitenin içerisinde site bahçesi üzerindeki yol üzerindedir (Şekil 5.6). 140 metre ve iki serimden oluşmaktadır. İlk 80 metre ve 90-140 metre aralığında 10 metre derinliğe kadar 100 m/s düşük bir hız (D1 grubu zemin) değerini göstermektedir. Bu zonun altında 25 metre derinliğe kadar C2 grup hızını göstermekte ve daha derinlerde C1 grubu özelliği göstermektedir (Şekil 5.7).





Şekil 5.8 F profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)

**F profili**, E profilinin bitiş noktasının doğusundan başlamakta ve güney yönüne doğru gitmektedir (Şekil 5.8). 11 serimden ve 4 kısımdan oluşmaktadır (F-A,F-B,F-C,F-D).

**F-A profilinin** düşük hız tabakası ince olup, güneyde 1.2 metre derinliğe erişmektedir. Düşük hız zonunun altında S-dalga hızı 230-240 m/s arasında değişen ve C grubu zemin özelliği taşıyan bir katman bulunmaktadır.

**F-B profili** S-dalga modeline göre 1 metre kalınlığındaki düşük hızlı havalanma zonunun altında S-dalga hızı 230-270 m/s arasında değişen C grubu zemin özelliği gösteren bir katman bulunmaktadır.

**F-C profili** kuzeyinde D grubu zemin özelliği gösteren düşük hız zonu güneye doğru 3 metre kalınlığına erişmektedir. İkinci katman C grubu zemin özelliği göstermektedir.

**F-D profili** S-dalga hızın sonuçlarına göre D grubu zemin özelliği taşıyan düşük hız zonu F9-F10 noktaları arasında 4-6 metre kalınlığındadır ve F10T noktasına doğru tekrar incelenmektedir. İkinci katmanda S-dalga hızları artmış olmasına rağmen zemin grubu açısından D grubu zemin olarak ele alınmalıdır.

F profili tümüyle ele alındığında, kuzeyden güneye doğru yeraltı suyu seviyesinin 8 metre derinliğinden 1 metre derinliğine doğru yüzeye yaklaşmakta olduğu ve S-dalga hızı çözümlerinden de yüzeydeki düşük hız zonunun 1 metre kalınlığından 6 metre kalınlığına eriştiği ve ikinci katmanın C grubu zemin özelliğini kaybederek, gittikçe D grubu zemin özelliğine doğru değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.2 Kültür Mahallesi (D, E, F-A ve F-B profilleri) bina hasarları (Aydınöglü ve Tüzün 2007)

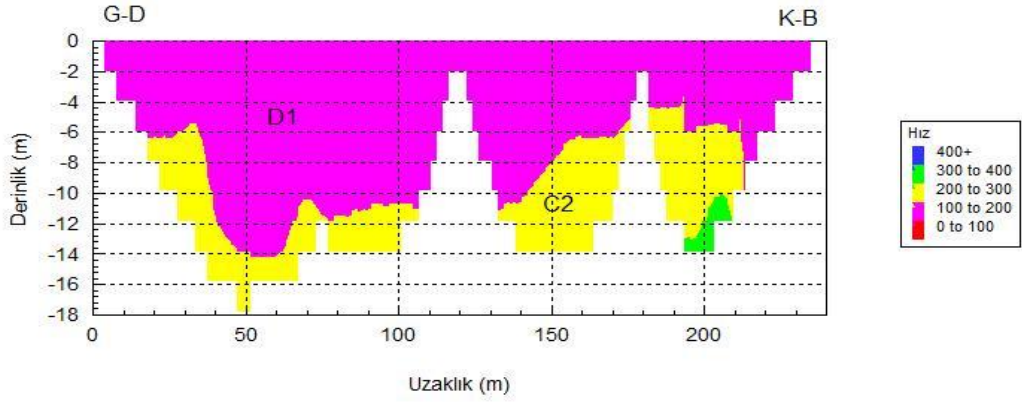
	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	0	0	0
3 katlı	0	0	0	0
4 katlı	0	0	0	0
5 katlı	0	1	0	0
6 katlı	0	0	0	0
7 katlı	0	0	0	0
8 katlı	0	0	0	0

D profili 30 metre derinliği S-dalga hızı (2.8) bağıntısı kullanılarak 243 m/s hesaplanmıştır. Bu profil için zemin hakim titreşim periyodu (2.7) bağıntısı kullanılarak 0.49 saniye bulunmuştur. Aynı bağıntılar kullanılarak E profili için bulunan S-dalga değeri yaklaşık 236 m/s ve titreşim periyodu 0.50 saniyedir. F profilinde de F-A, F-B için  $V_{S30}$  sırayla 228, 235 m/s ve titreşim periyotları sırayla 0.52, 0.50 saniyedir. Sonuçlara göre bu mahallenin güneye doğru S-dalga hız değeri düşük olup yumuşak

zemini gösterir. Bu bölgeye ait titreşim periyodu, çok katlı binaların fazla hasar göreceğini göstermektedir.



Şekil 5.9 G profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.10 G-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**G profili** Beş kavaklar Mahallesi'nin kuzeyinde, Baysal Mahallesi'nin güney batısındaki bir noktadan başlayarak, güneyden kuzeye doğru 60 metre uzunluğunda 20 serimden oluşmaktadır. Bu profil G-A, G-B(G-B1,G-B2,G-B3) ve G-C ayrı 3 kısımdan oluşmaktadır (Şekil 5.9).

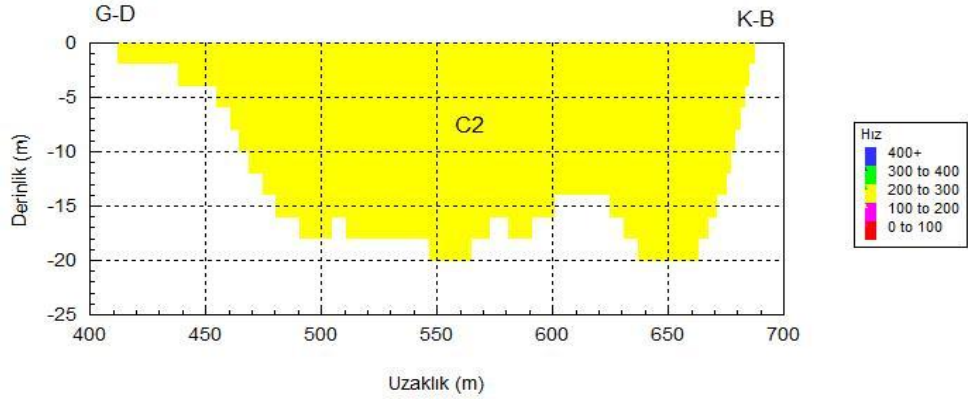
**G-A profilinin** S-dalga ölçümlerinde eğimli tabaka modeli ile 160-190 m/s aralığında değişen hız değerleri bulunmuştur. Görüldüğü gibi zemin D grubundandır ve yüzeye yakınlığı düşünüldüğünde riskli zemin özelliği taşımaktadır (Şekil 5.10).

Çizelge 5.3 Izzet Baysal Mahallesi (G-A, F-C ve F-D profilleri) bina hasarları  
(Aydinoğlu ve Tüzün 2007)

	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	0	0	0
3 katlı	0	15	0	0
4 katlı	0	7	0	0
5 katlı	0	2	0	0
6 katlı	0	1	0	1
7 katlı	0	0	0	0
8 katlı	0	0	0	0

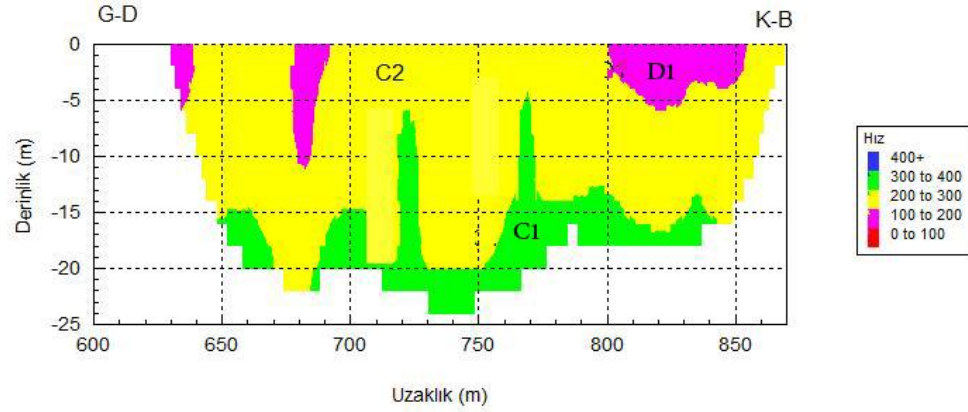
G-A, F-C ve F-D 30 metre derinliği S-dalga hızları ve zemin hakim titreşim periyotları sırasıyla 175, 207, 199 m/s ve 0.68, 0.57, 0.60 saniyedir. Sonuçlara göre bu mahallenin S,dalga hız değeri düşük olup yumuşak zemini göstermektedir. Bu bölgeye ait titreşim periyodu, buradaki çok katlı binaların daha fazla hasar göreceğini gösterir. Çizelge 5.3’de bu mahallenin hasarlı bina sayısını göstermektedir.





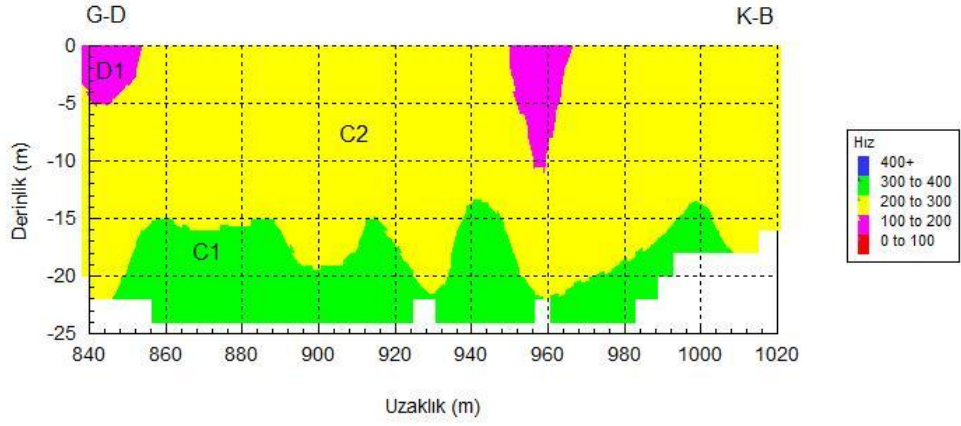
Şekil 5.11 G-B1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**G-B1 profilinin** S-dalga hızı takriben 1-1.5 metrelik düşük hız zonunun altında, güneyden kuzeye doğru gittikçe artacak şekilde 180-300 m/s aralığında değişmektedir. Zemin C grubu özellik taşımaya rağmen, hız değerleri bu grubun en düşük değerleri olup, D grubuna oldukça yakındır (Şekil 5.11).



Şekil 5.12 G-B2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**G-B2 profilinin** S-dalga hızına göre zemin gruplaması genelde C grubu zemin özelliği vermekle birlikte hız değerleri D grubuna yakındır ve yüzeyde yer yer D grubuna geçişler bulunmaktadır (Şekil 5.12).



Şekil 5.13 G-B3 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**G-B3 profilinin S-dalga hız modeline göre C zemin grubunda olup, yer yer D grubu zeminler de bulunmaktadır (Şekil 5.13).**

Çizelge 5.4 Alpağutbey Mahallesi (Emre Sitesi ve G-B profilleri) bina hasarları (Aydınoglu ve Tüzün 2007)

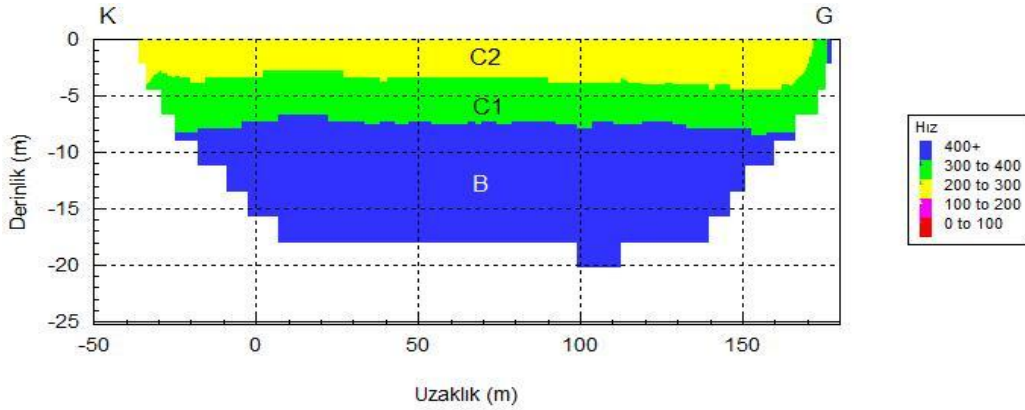
	Hemen kullanım performans düzeyi	Can Güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	1	0	0
3 katlı	0	16	0	0
4 katlı	0	9	0	0
5 katlı	0	8	0	0
6 katlı	0	8	0	0
7 katlı	0	0	0	0
8 katlı	0	0	0	0

Emre Sitesi ve G-B1, G-B2, G-B3 profillerin 30 metre derinliği S-dalga hızları sırasıyla 226, 240, 271, 282 m/s ve zemin hakim titreşim periyotları sırasıyla 0.53, 0.50, 0.44, 0.42 saniyedir. Sonuçlara göre bu mahallenin S-dalga hız değeri düşük olup, yumuşak zemini göstermektedir. Bu bölgeye ait titreşim periyodu, burada çok katlı binalarda

daha fazla hasar oluşacağını göstermektedir. Çizelge 5.4’de bu mahallenin hasarlı bina sayısını göstermektedir.



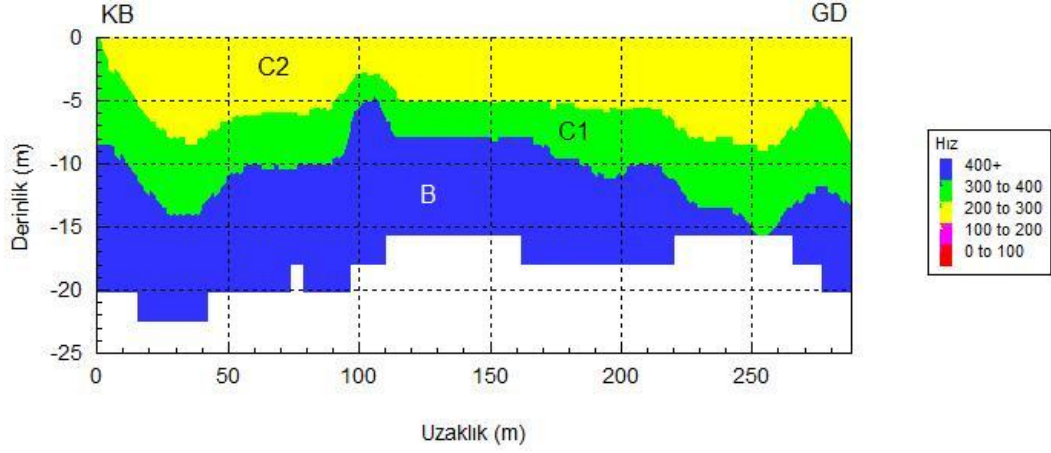
Şekil 5.14 M, N ve P profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.15 M profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

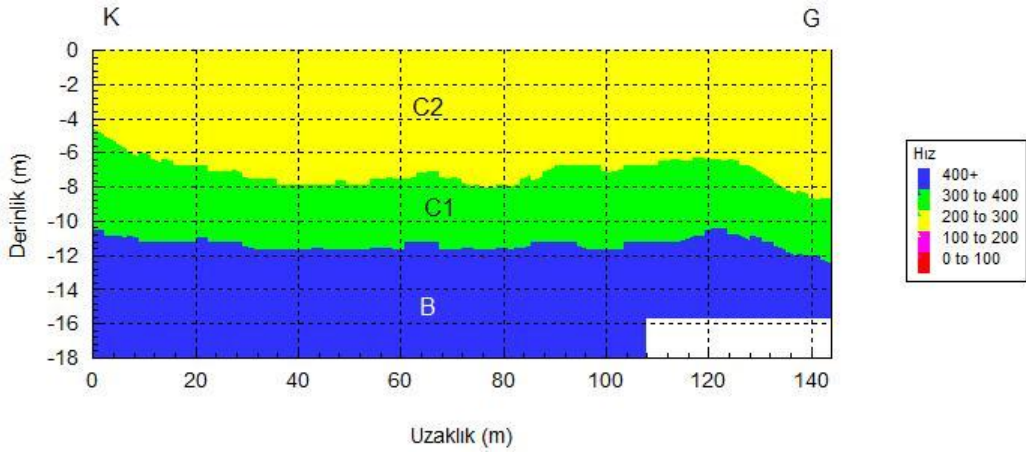
**M profili** Bolu kent merkezinin kuzeydoğusunda, Çömleklerciler Caddesi’nin doğusunda üçüncü ara mevkiinde 72’şer metrelik iki serimden oluşan bir profildir (Şekil 5.14). Bu profilin S-dalga hız modeli ve zemin gruplaması sonuçları, ilk 1 metrede düşük hızlı havalanma zonuna, 1-3 metre arasında C2 grubu zemine ve 3 metreden

sonra hız değerleri yüksek C1 grubu ve B grubu zeminlere işaret etmektedir (Şekil 5.15).

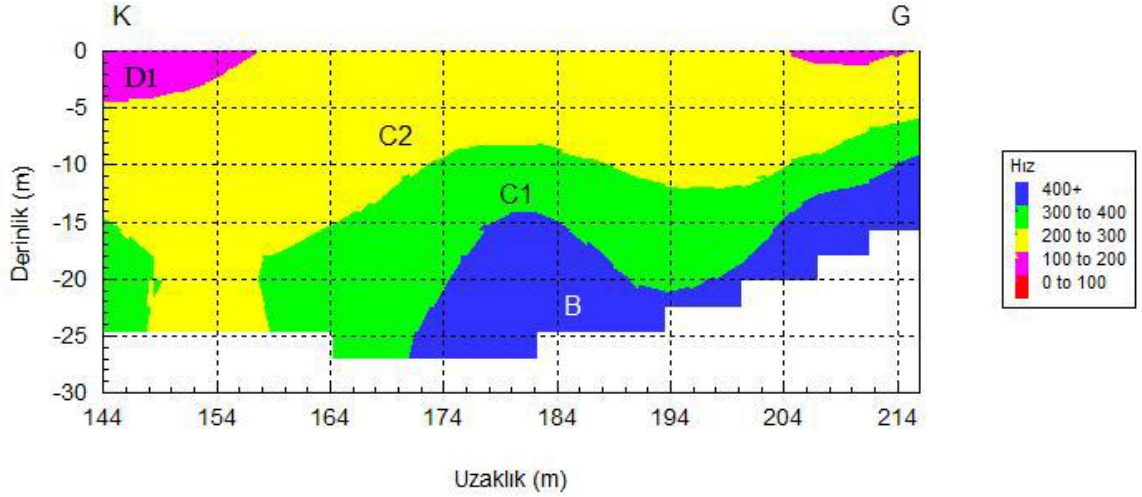


Şekil 5.16 N profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**N profili** M profilinin güneyinden başlayarak, kuzeyden güneye doğru uzanan 72 metre boyunda 4 serimden oluşmaktadır (Şekil 5.14). Bu profilin S-dalga hız modeli ve zemin gruplamasına göre bu profil C ve B grubu zemin özellikleri göstermektedir (Şekil 5.16).



Şekil 5.17 P-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması



Şekil 5.18 P-B profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**P profili** Bolu Kent Merkezi'nin kuzeydoğusunda ve Canip Baysal İlköğretim Okulu'nun doğusunda 72'şer metre uzunluğunda 3 serimden oluşmaktadır (Şekil 5.14).

**P-A profili** P profilinin ilk 2 serimi olan, S-dalga hızı ve zemin gruplaması sonuçlarına göre ilk 1.5-2 metrelik düşük hız zonundan sonra C grubu, 10 metreden daha derinlerde ise B grubu zemin yer almaktadır (Şekil 5.17).

**P-B profili** boyunca zeminin yer yer D grubu özelliği gösterdiği, C grubu zeminin giderek kalınlaştığı, B grubu zeminin daha derinlerde bulunduğu gözlenmektedir (Şekil 5.18).

Çizelge 5.5 Sağlık Mahallesi (M, N, P Ve Bayındır İl Müdürlüğü profilleri) bina hasarları (Aydınöglu ve Tüzün 2007)

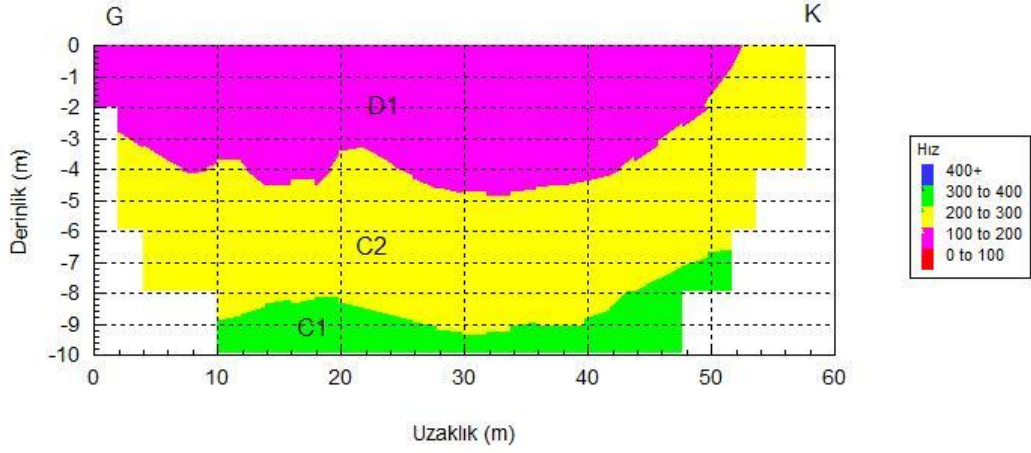
	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	1	0	0
3 katlı	0	25	0	1
4 katlı	0	24	0	1
5 katlı	0	3	0	0
6 katlı	0	3	1	0
7 katlı	0	1	0	0
8 katlı	0	2	0	0

M, N, P-A, Bayındırlık İl Müdürlüğü profillerin 30 metre derinliği S-dalga hızları sırasıyla 393, 362, 369, 290 m/s ve zemin hakim titreşim periyotları sırasıyla 0.30, 0.33, 0.32, 0.41 saniyedir. P-B profilinin 20, 10 ve 44 metrelik mesafesi için S-dalga hızları ve titreşim periyotları sırasıyla 225, 308, 342 m/s ve 0.53, 0.38, 0.35 saniyedir. Sonuçlara göre bu mahallenin S-dalga hız değeri düşük olup, oldukça yumuşak bir zemini göstermektedir. Bu bölgeye ait titreşim periyodu, buradaki çok katlı binaların daha fazla hasar göreceğini göstermektedir. Çizelge 5.5’de bu mahallenin hasarlı bina sayısını göstermektedir.

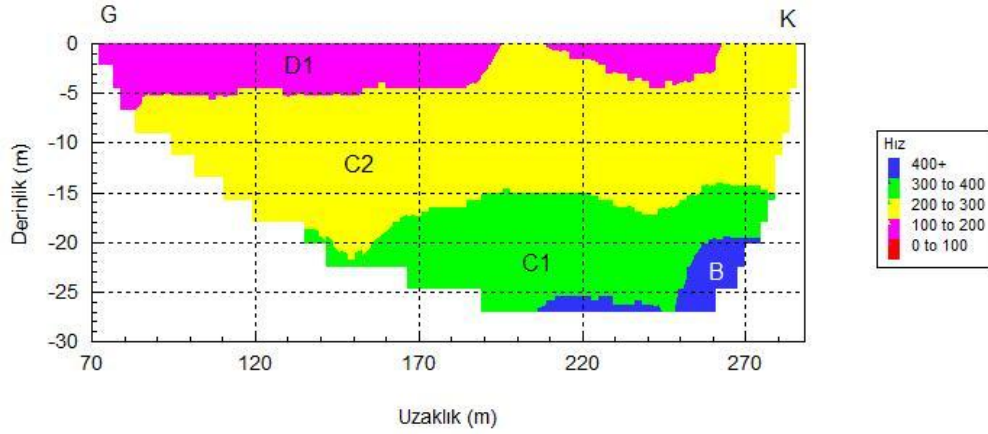




Şekil 5.19 H ve I profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.20 H-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

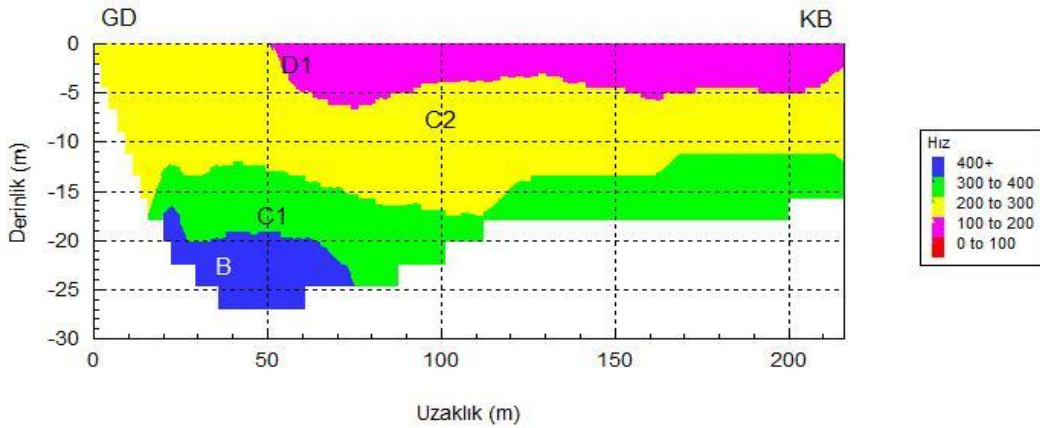


Şekil 5.21 H-B profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**H profili** Sümer Mahallesi, Şehit H. Karakaya Sokağı'nın ucundan kuzeye doğru 1 serim ve cadde geçişi nedeni ile verilen bir aralıktan sonra Zambak Sokağı'nın batısında 3 serim yapılmıştır (H-A ve H-B) (Şekil 5.19).

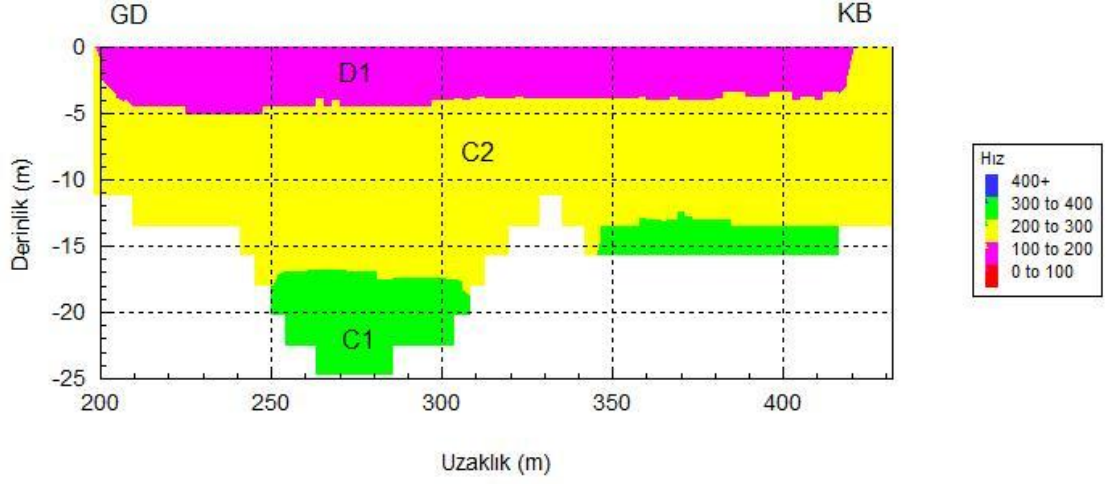
**H-A profili** ilk 4 metrelik bölümde hız değerleri D grubuna oldukça yakındır. İkinci katmanda C grubuna geçmektedir (Şekil 5.20).

**H-B profili** S-dalga hız modeline göre zemin yüzeyden başlayarak ilk beş metrelik bölümde D grubu zeminden C grubu zemine geçiş yapmaktadır (Şekil 5.21).



Şekil 5.22 I-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması





Şekil 5.23 I-B profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**I profili** Borazanlar Mahallesiinde güneydoğudan kuzeybatıya doğru uzanan bu profil, 72 metre boyunda 6 profilden oluşmakta ve kuzeyde E-5 karayolu ile sonlanmaktadır (ilk 3 serim I-A ve ikinci 3 serim I-B olarak adlandırılmıştır) (Şekil 5.19).

**I-A profilin** S-dalga hız modeli ve zemin gruplamasına göre, 1-1.5 metrelik havalanma zonunun altında yaklaşık 5-6 metre kalınlığında D grubu zemin ve bunun altında da C grubu zemin bulunmaktadır (Şekil 5.22).,

**I-B profilin** S-dalga hız modeli ve zemin gruplamasına göre ortalama 5 metre kalınlığında D grubu zemin ve onun altında da C grubu zemin yer almaktadır (Şekil 5.23).

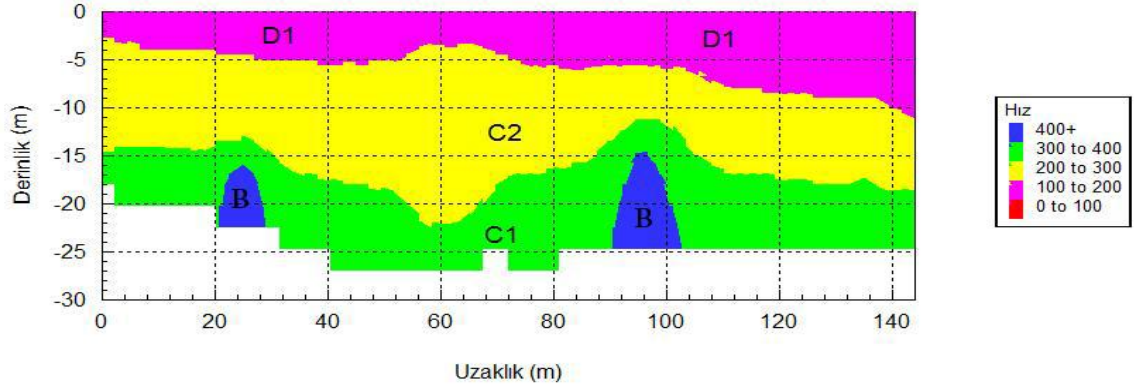
Çizelge 5.6 Borazanlar Mahallesi (H, I profilleri) bina hasarları (Aydınöğlü ve Tüzün 2007)

	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	0	0	0
3 katlı	1	14	0	0
4 katlı	0	18	0	0
5 katlı	0	5	1	0
6 katlı	0	18	2	0
7 katlı	0	1	1	0
8 katlı	0	3	0	0

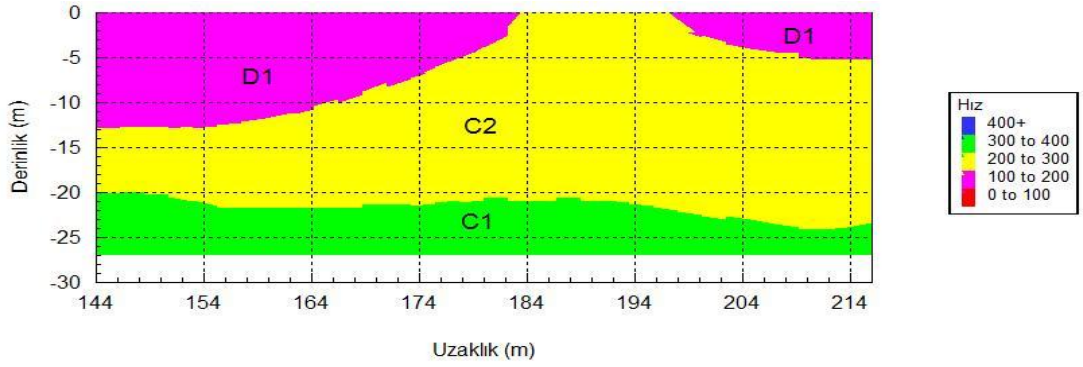
H-A, H-B, I-A ve I-B profillerin 30 metre derinliği S-dalga hızları sırasıyla 281, 246, 265, 251 m/s ve zemin hakim titreşim periyotları sırasıyla 0.42, 0.48, 0.45, 0.47 saniyedir. Sonuçlara göre bu mahallenin S-dalga hız değeri düşük olup daha yumuşak zemini göstermektedir. Bu bölgeye ait titreşim periyodu, buradaki çok katlı binaların daha fazla hasar göreceğini göstermektedir. Çizelge 5.6’de bu mahallenin hasarlı bina sayısını göstermektedir.



Şekil 5.24 K profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.25 KA profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması



Şekil 5.26 KB profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**K profili** E-5 karayolunun kuzeyinden başlayarak, güney-kuzey yönünde uzanan bu profil İzzet Baysal Devlet Hastanesi Bulvarı'nın batısında yer almaktadır (Şekil 5.24).

**KA profilin** S-dalga hız modeli ve zemin gruplamasına göre, profil başlangıcında D grubu zemin 5 metre derinlikte iken, profil boyunca derinliği artarak 15 metreye ulaşmıştır (Şekil 5.25).

**KB profilin** başlangıcında 15 metre kalınlıkta olan D grubu zemin, profil boyunca incelerek kaybolmakta ancak profil sonuna doğru tekrar kalınlaşmaktadır (Şekil 5.26).

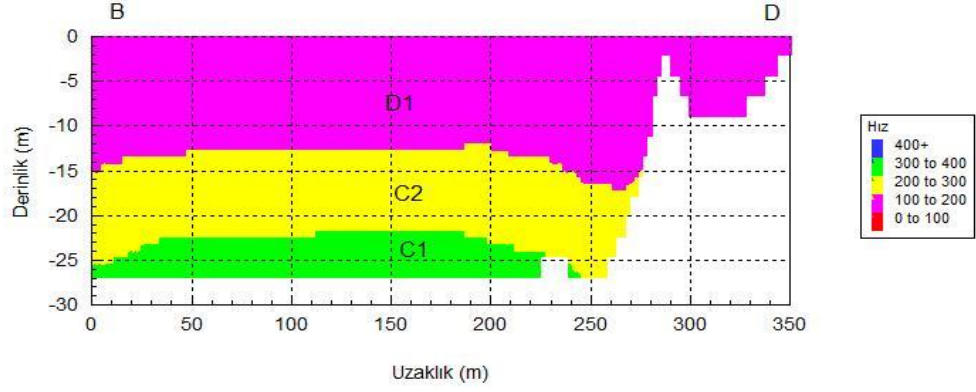
Çizelge 5.7 Beşkavaklar Mahallesi (K profili) bina hasarları (Aydınöglu ve Tüzün 2007)

	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	0	0	0
3 katlı	0	0	0	0
4 katlı	0	0	0	0
5 katlı	0	1	0	0
6 katlı	0	2	0	0
7 katlı	0	0	0	0
8 katlı	0	0	0	0

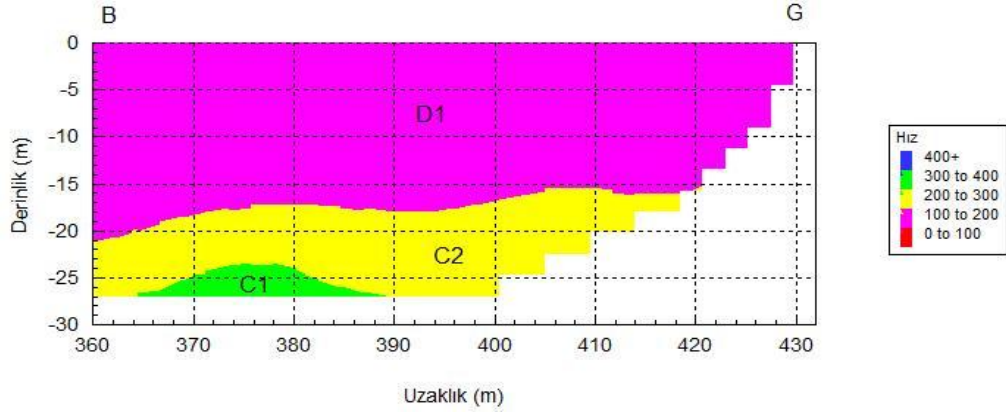
K-A ve K-B profillerin 30 metre derinlikteki S-dalga hızları sırasıyla 246, 221 m/s ve zemin hakim titreşim periyotları sırasıyla 0.48, 0.54 saniyedir. Bu mahallenin S-dalga hız değeri düşük olup, C2 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir. Bu bölgeye ait zemin sınıfı ve titreşim periyoduna göre, binaların daha fazla hasar göreceğini göstermektedir. Çizelge 5.7’de bu mahallenin hasarlı bina sayısını göstermektedir.



Şekil 5.27 R ve S profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.28 R-A profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması



Şekil 5.29 R-B profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**R profili** Bolu kent merkezinin güneybatısında, batı-doğu yönünde uzanmaktadır. R-A profili 5, R-B profili 1 serimden oluşmaktadır. Her serim 72 metredir (Şekil 5.27).

**R-A profilin** S-dalga hızları yüzeyde 100 m/s gibi çok düşük bir değerde olup, 15 metre derinliğe kadar D grubu zemin özelliği göstermektedir. Derinlerde C2 ve daha derinlerde C1 grubu zemini göstermektedir (Şekil 5.28). **R-B profili** de benzer özelliktedir (Şekil 5.29).

Çizelge 5.8 Sümer Mahallesi (R profili) bina hasarları (Aydınoğlu ve Tüzün 2007)

	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	1	0	0
3 katlı	0	97	3	2
4 katlı	0	60	1	1
5 katlı	0	21	1	1
6 katlı	0	15	1	1
7 katlı	0	1	0	0
8 katlı	0	2	0	0

R-A ve R-B profillerin 30 metre derinlikteki S-dalga hızları sırasıyla 195, 179 m/s ve zemin hakim titreşim periyotları sırasıyla 0.61, 0.67 saniyedir. Bu mahallenin S-dalga hız değeri düşük olup, D1 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir. Bu bölgeye ait zemin sınıfı ve titreşim periyoduna göre, binaların daha fazla hasar göreceğini gösterir. Çizelge 5.8’de bu mahallede hasarlı bina sayısını göstermektedir.

**S profilin** Bolu kent merkezinin güneybatısında, Tepecik Mahallesi’nde Ş. Y. Sönmezer Sokağı’na paralel olarak kuzeyden güneye doğru iki serim ve devamında Cumhuriyet Caddesi’nin güneyinde bir serimden oluşmaktadır (Şekil 5.27). Birinci serimde S-dalga hızlarına göre güneye doğru bir eğim ile D grubu bir zeminin sırası ile 6 ve 14 m derinliğe kadar devam ettiği söylenebilir. İkinci serimde S-dalgası hız değerlerine göre zeminin yüzeyden itibaren 7.5–8.5 metrelik bölümünün D grubu zemin olduğu söylenebilir. Üçüncü serim S-dalgası hız değerlerine göre güneydeki profillere doğru zeminin nispeten iyileştiği söylenebilir. Bu serimde D grubu zeminin kalınlığı 2.7 - 2.8 metreye düşmektedir.



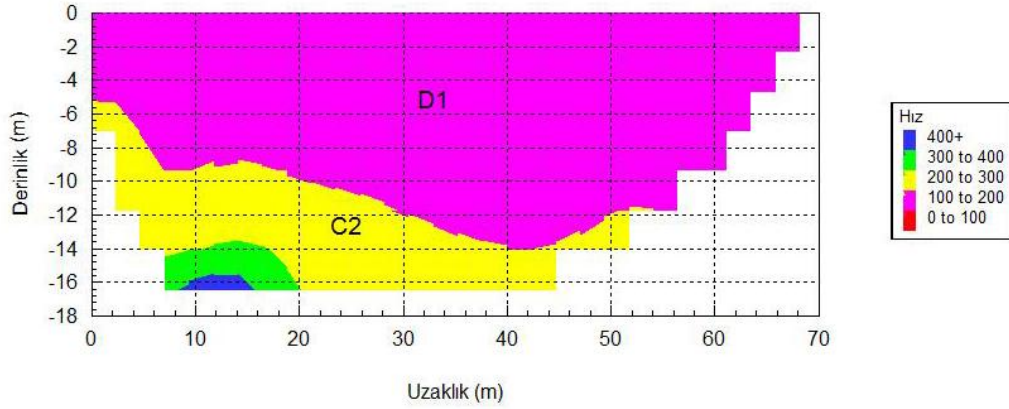
Çizelge 5.8 Tepecik Mahallesi (S profili) bina hasarları (Aydınöğlü ve Tüzün 2007)

	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	0	0	0
3 katlı	0	3	0	0
4 katlı	0	0	0	0
5 katlı	0	0	0	0
6 katlı	0	0	0	0
7 katlı	0	0	0	0
8 katlı	0	0	0	0

S profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 354 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.33 saniyedir. Bu mahallenin S-dalga hız değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir. Bu bölgeye ait zemin sınıfı ve titreşim periyoduna göre, binaların daha az hasar göreceğini gösterir. Çizelge 5.9’de bu mahallede hasarlı bina sayısını göstermektedir.

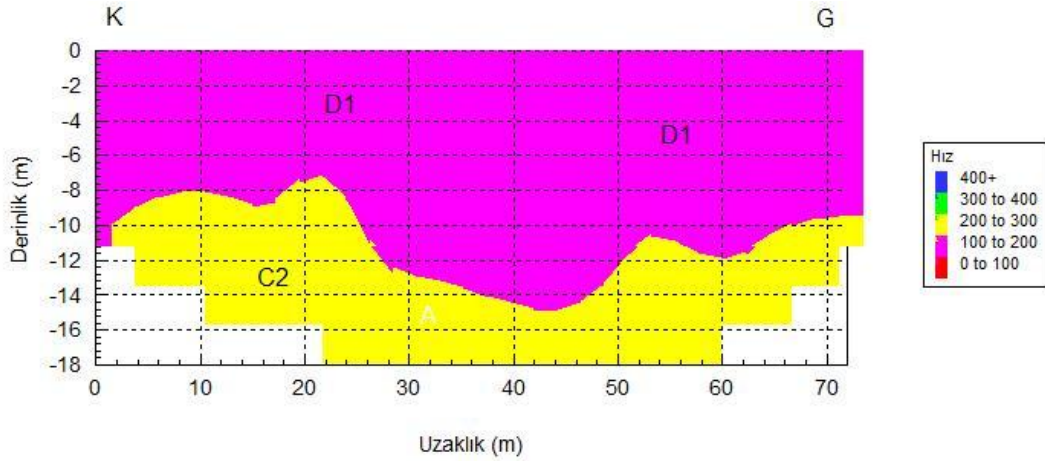


Şekil 5.30 Kent Merkezi ve Stadyum profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.31 Kent Merkezi profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**Kent Merkezi profili** Bolu kent merkezinde, Emniyet Müdürlüğü bahçesinde (parsel 94/623) ve Kır Sokak ile Konuralp Caddesi'ni bağlayan parselde birer serim iki profil ölçülmüştür (Şekil 5.30). Bu profilde ilk tabaka havalanma zonuna karşılık gelmekte olup, hız değerleri oldukça düşüktür. Ortalama 10 metre kalınlığındaki ikinci tabakada S-dalga hızı 148 m/s olup, D grubu bir zemin göstermektedir (Şekil 5.31).



Şekil 5.32 Stadyum profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**Stadyum profili** stadyum içerisinde 72 metre uzunluğunda ölçülmüştür (Şekil 5.30). S-dalga hızı yüzeyde 100 m/s gibi çok düşük bir değerdedir. D grubu zemin 12-16 metre derinliklere erişmesine rağmen hız değerleri 140-160 m/s arasında olup, C grubuna yakındır. Daha derinlerde C grubu zemini göstermektedir (Şekil 5.32).



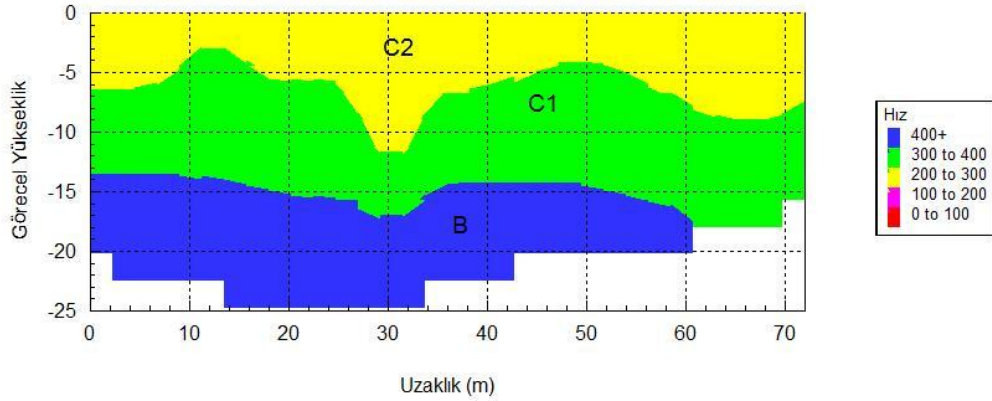
Çizelge 5.9 İhsaniye Mahallesi (Kent Merkezi ve Stadyum ölçümleri profilleri) bina hasarları (Aydınöğlu ve Tüzün 2007)

	Hemen kullanım performans düzeyi	Can güvenliği performans düzeyi	Göçme öncesi performans düzeyi	Göçme durumu performans düzeyi
2 katlı	0	0	0	0
3 katlı	0	16	0	0
4 katlı	0	22	1	0
5 katlı	0	23	2	0
6 katlı	0	30	1	1
7 katlı	0	1	0	0
8 katlı	0	0	0	0

Kent Merkezi ve Stadyum profillerin 30 metre derinlikteki S-dalga hızları sırasıyla 227, 197 m/s ve zemin hakim titreşim periyotları sırasıyla 0.52, 0.60 saniyedir. Bu mahallenin S-dalga hız değeri düşük olup, C2 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir. Bu bölgeye ait zemin sınıfı ve titreşim periyoduna göre, binaların daha fazla hasar göreceğini gösterir. Çizelge 5.10'de bu mahallenin hasarlı bina sayısını göstermektedir.

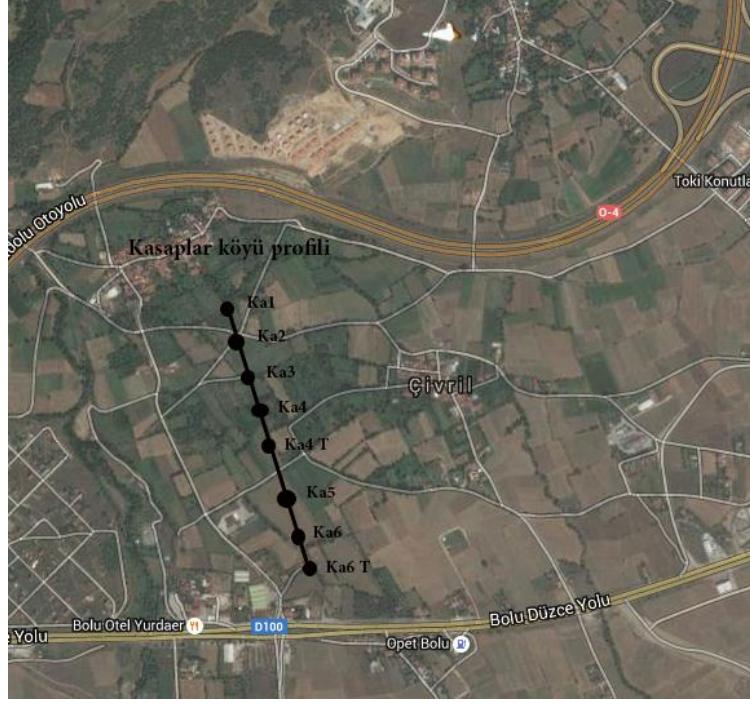


Şekil 5.33 Filiz Makarna profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)

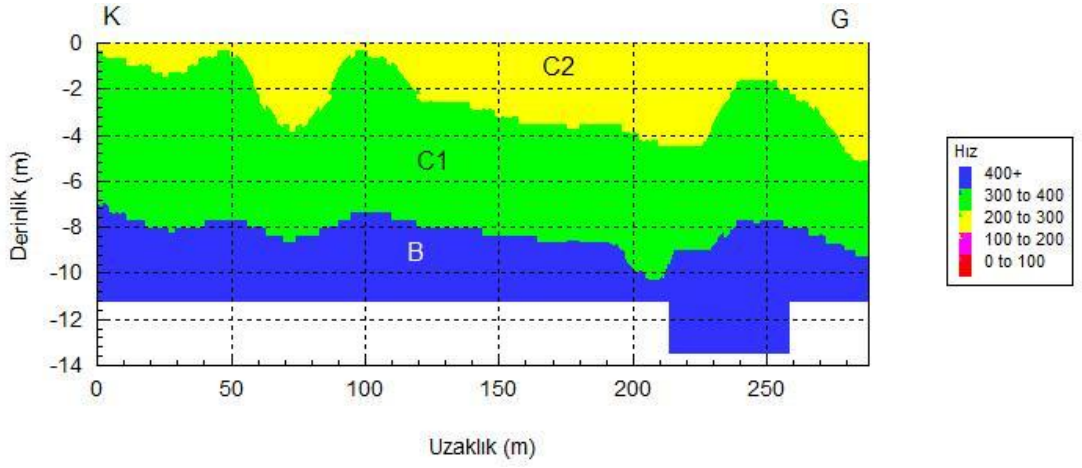


Şekil 5.34 Filiz Makarna profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

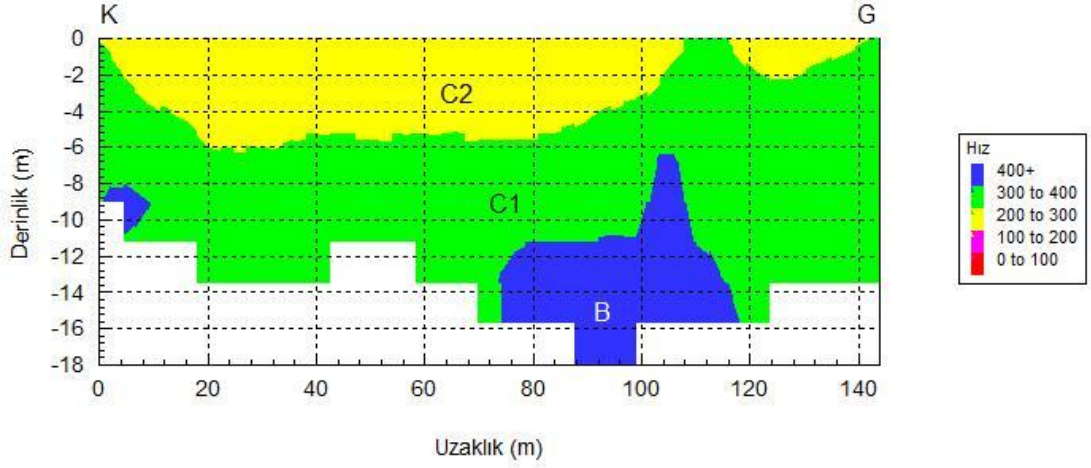
**Filiz Makarna profili** Bolu kent merkezinin doğusunda, Filiz Makarna Fabrikası'nın karşısında ve E-5 karayolunun kuzeyinde iki profilden (FL ve FZ) oluşmuştur (Şekil 5.33). Bu profilin ilk 5 metresi C2 grubu zemini ve daha derinlerde C1 ve B grubu zemini göstermektedir (Şekil 5.34). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalgası hızı 359 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.33 saniyedir. Bu bölgede S-dalgası hızı değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.



Şekil 5.35 Kasaplar Köyü profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.36 Kasaplar Köyü 1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması



Şekil 5.37 Kasaplar Köyü 2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**Kasaplar Köyü profili** Kasaplar Köyünde kuzeyden güneye doğru biri 4 serim ve 288 m uzunluğunda ve diğeri 2 serim ve uzunluğu 144 metreden oluşmuştur. İkinci profil, birinci profilin bittiği noktadan araya kanal girmesi nedeni ile 30 metre güneyden tekrar başlamak üzere ölçülmüştür (Şekil 5.35).

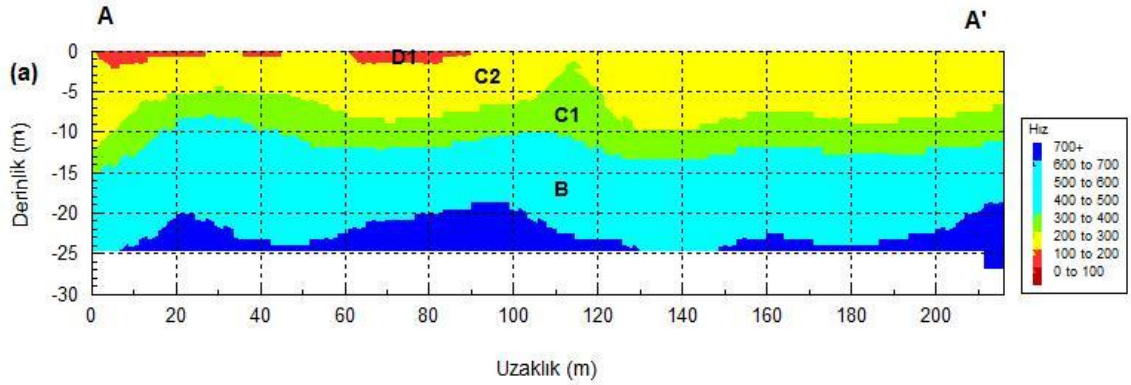
**Kasaplar Köyü 1 profilin** 1 metreden 4 metre derinliğe ulaşan birinci tabaka C2 grubu zemini göstermektedir. Bu tabakanın altında 8 metreye kadar ulaşan C1 grubu zemin ve daha derinlerde B grubu zemini göstermektedir (Şekil 5.36). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 399 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.30 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.

**Kasaplar Köyü 2 profilin** ilk tabaka 2 ve 6 metre arasında değişen C2 grubu zemini göstermektedir. İkinci tabaka 12 metreye kadar C1 grubu ve daha derinlerde B grubunu göstermektedir (Şekil 5.37). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 370 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.32 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.



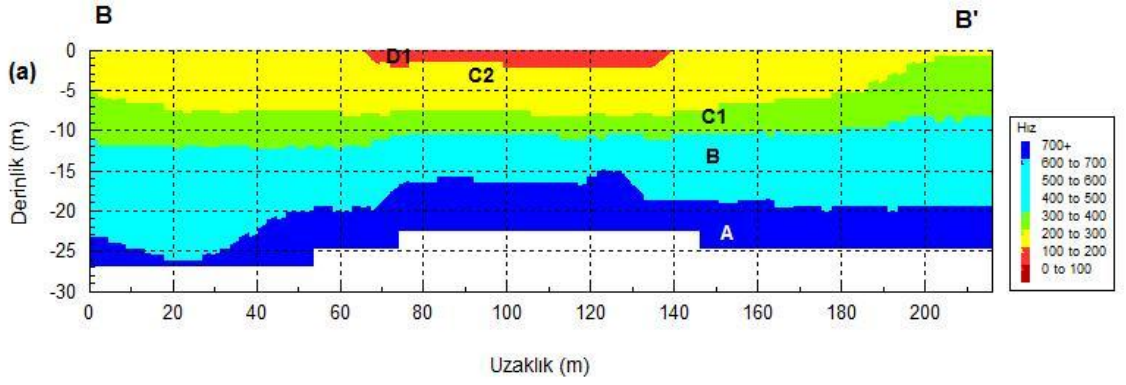


Şekil 5.38 A\* ve B\* profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



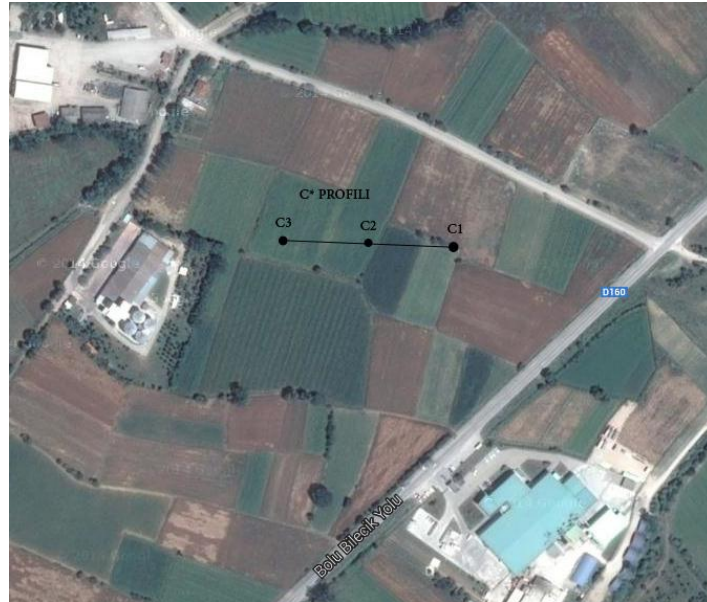
Şekil 5.39 A\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**A\* profili** 216 metrelik uzunluğu toplam 3 serimden oluşmuş ve Gököy Barajı ve Sultan Bey Köyü'nün arasında yer almaktadır (Şekil 5.38). Bu profil 12 metre derinliğe kadar C grubu zemini ve daha derinlerde B grubu zemin özelliğini göstermektedir. İlk 3 metrelik derinlikte ise yer yer D1 grubu zemin görülmektedir (Şekil 5.39). A\* profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 377 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.31 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.

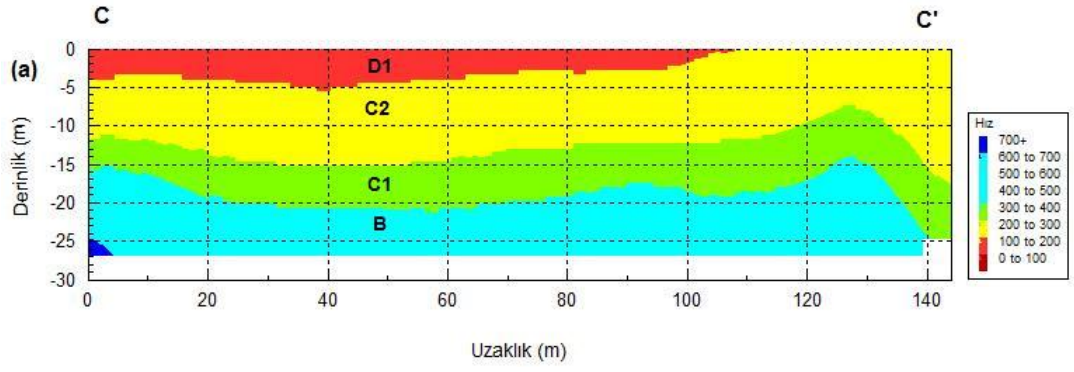


Şekil 5.40 B\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**B\* profili** 360 metrelik toplam 5 serimden oluşmuş ve A\* profilin kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 5.38). Bu profil 10 metreye kadar C grubu ve sonraki 10 metre kalınlıkta B grup hızını ve daha derinlerde A grubu zemin özelliğini göstermektedir (Şekil 5.40). Profilin orta kısmında ise ilk 3 metreye kadar D1 grubu zemin yer almaktadır. Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 407 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.29 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, B grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.



Şekil 5.41 C\* profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)

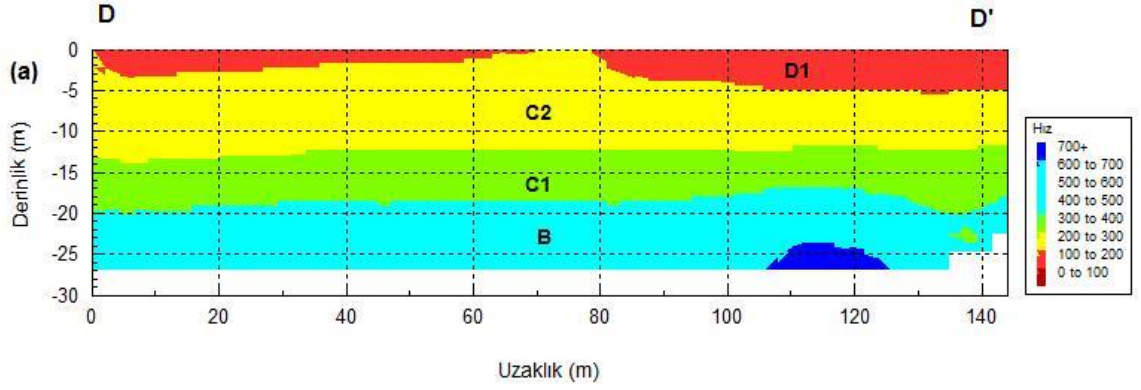


Şekil 5.42 C\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**C\* profili** toplam uzunluğu 144 metre 2 serimden Gököy Barajı ve Sultan Bey Köyü'nün arasında oluşmuştur (Şekil 5.41). C\* profilinin S-dalga hızı 5 metre derinliğe kadar 100 m/s gibi çok düşük bir değere sahiptir. Sonraki 15 metre kalınlıkta ise C grup hızını ve daha derinlerde B grubu zemin özelliğini göstermektedir (Şekil 5.42). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 305 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.39 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.



Şekil 5.43 D\*, E\*, F\* ve G\* profillerinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)

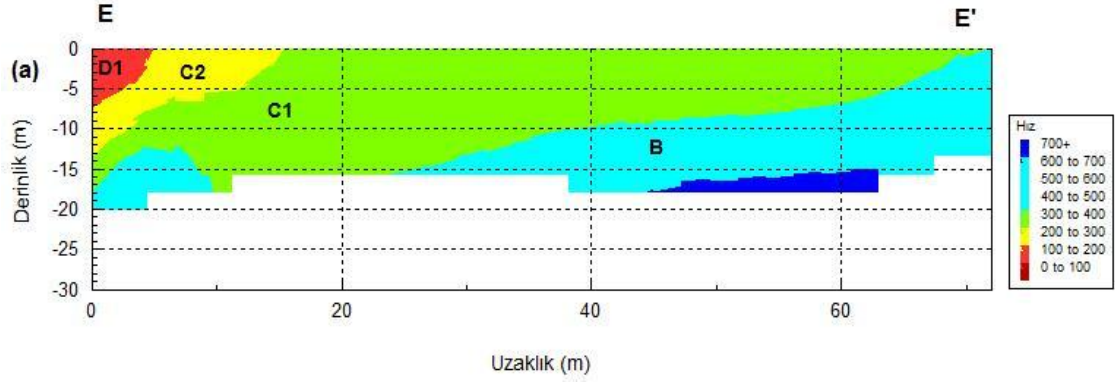


Şekil 5.44 D\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**D\* profili** toplam uzunluğu 288 metre 4 serimden oluşmuş ve Gölköy Barajı ve Sultan Bey Köyü'nün arasında yer almaktadır (Şekil 5.43). D\* profili, C\* profili gibi S-dalga hızları 5 metre derinliğe kadar 100 m/s gibi çok düşük bir değerdedir. 15 metre kalınlıkta C grup hızı ve daha derinlerde B grubu zemin özelliğini göstermektedir (Şekil 5.44). D\* profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 281 m/s ve zemin hakim titreşim

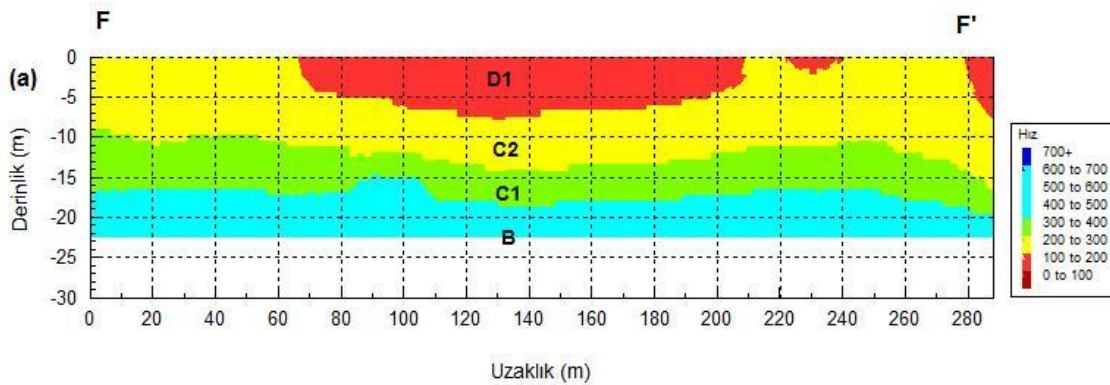


periyodu 0.42 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri düşük olup, C2 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir.



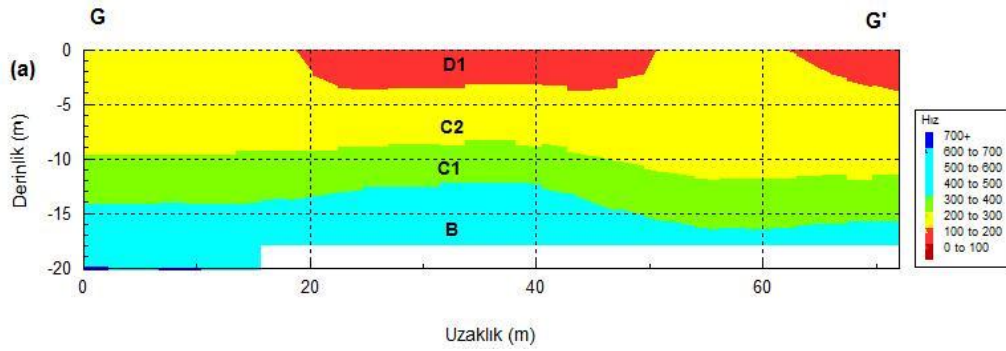
Şekil 5.45 E\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**E\* profili** 72 metrelik bir serimden oluşmuş ve Gölköy Barajı ve Sultan Bey Köyü'nün arasında, D\* profilin kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 5.43). E\* profili 10 metre uzaklığa kadar daha düşük hız ve ondan sonra 15 metre derinliğe kadar C grubu ve daha derinlerde B grubu zemin özelliğini göstermektedir (Şekil 5.45). E\* profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı ilk 10 metre mesafede 271 m/s ve sonrası için 435 m/s dir. Zemin hakim titreşim periyodu bu profil için sırasıyla 0.44 ve 0.27 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri kuzeyden güneye doğru yükselip, C2 grubu zeminden (yumuşak zemin) B grubu zemine (sert zemini) geçiş yapmaktadır.



Şekil 5.46 F\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**F\* profili** toplam uzunluğu 288 metre 4 serimden oluşmuş ve Gököy Barajı ve Sultan Bey Köyü'nün arasında, E\* profilin kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 5.43). F\* profili ilk tabaka 10 metre derinliği ile C2 grubu ve ikinci tabaka 5 metre derinliği ile C1 grubu ve daha derinlerde B grubu zemin özelliğini göstermektedir. Profilin 70 ve 210 metre arasındaki mesafede 6 metre derinliği ile bir D1 grubu zemin bulunmaktadır. Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 355 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.33 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.

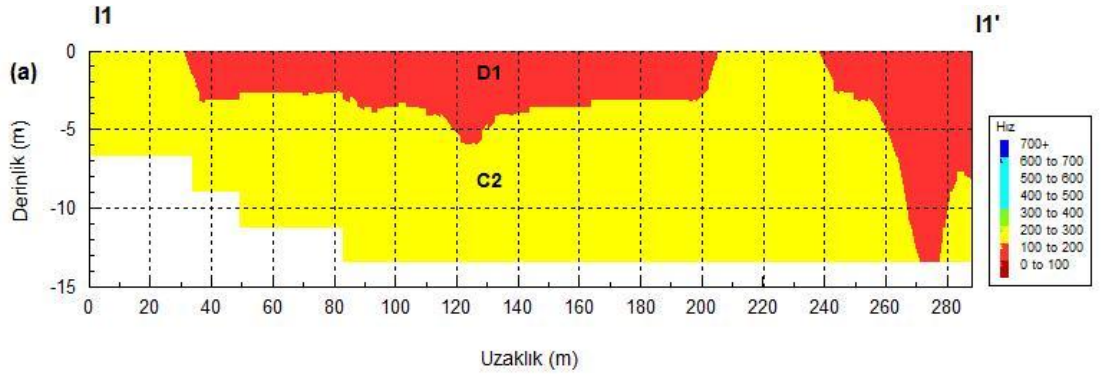


Şekil 5.47 G\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

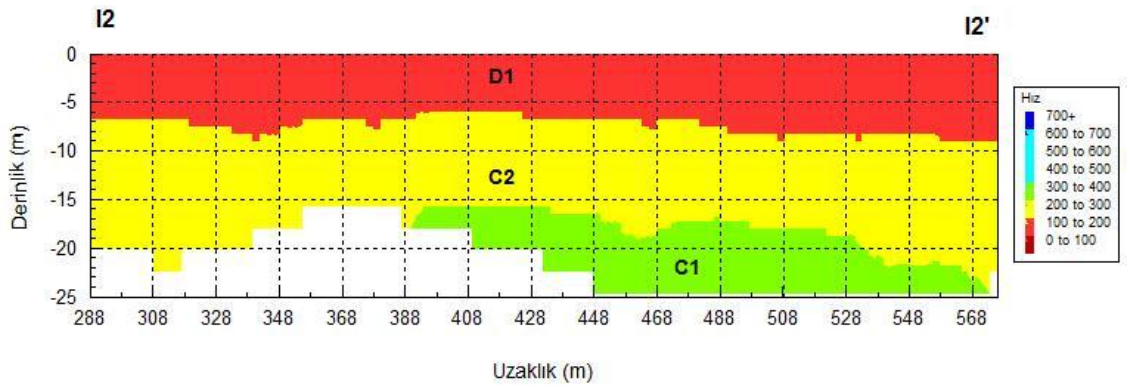
**G\* profili** 72 metrelik bir serimden oluşmuş ve Gököy Barajı ve Sultan Bey Köyü'nün arasında, F\* profilin kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 5.43). G\* profilinin ilk tabakası 10 metrelik kalınlıkta C2 grubu, ikinci tabakası 5 metre kalınlıkta C1 grubu ve daha derinlerde B grubu zemin özelliğini göstermektedir. Profilin 20 ve 50 metre arasındaki 4 metre derinlikte D1 grubu zemin bulunmaktadır (Şekil 5.47). G\* profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 355 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.33 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.



Şekil 5.48 I\* profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.49 I\*1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması



Şekil 5.50 I\*2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**I\* profili** toplam uzunluğu 576 metre 8 serimden oluğu ve Köprücüler Köyü yakınlarında yer almaktadır (Şekil 5.48).

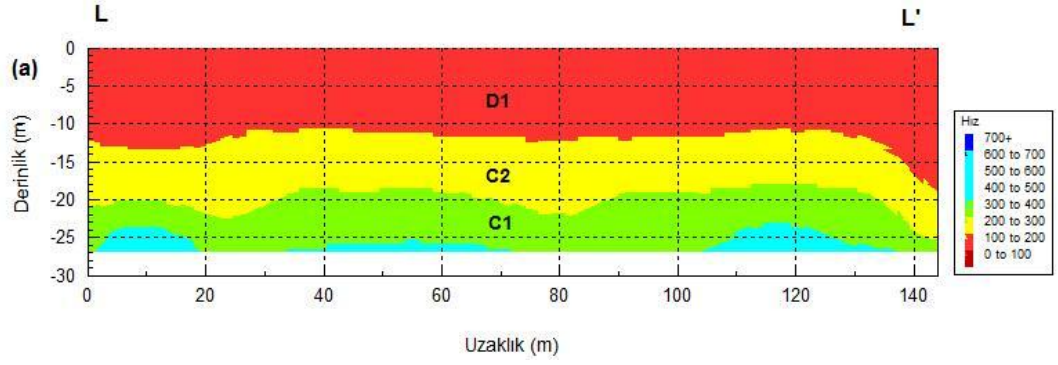
**I\*1 profili** C2 grubu zemini göstermektedir. Profilin 30 ve 200 metre arasındaki 4 metre derinlikte D1 grubu zemin yer almaktadır. 240 metre uzaklıktan sonra zemin, 15 metre derinliğe kadar 100 m/s gibi çok düşük hızdadır (Şekil 5.49). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı yaklaşık 230 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.52 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri düşük olup, C2 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir.

**I\*2 profili** 12 metre derinliğe kadar 100 m/s gibi çok düşük hızı göstermekte ve 12 metreden daha derinlerde ise C grubu zemin yer almaktadır (Şekil 5.50). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 235 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.50 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri düşük olup, C2 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir.



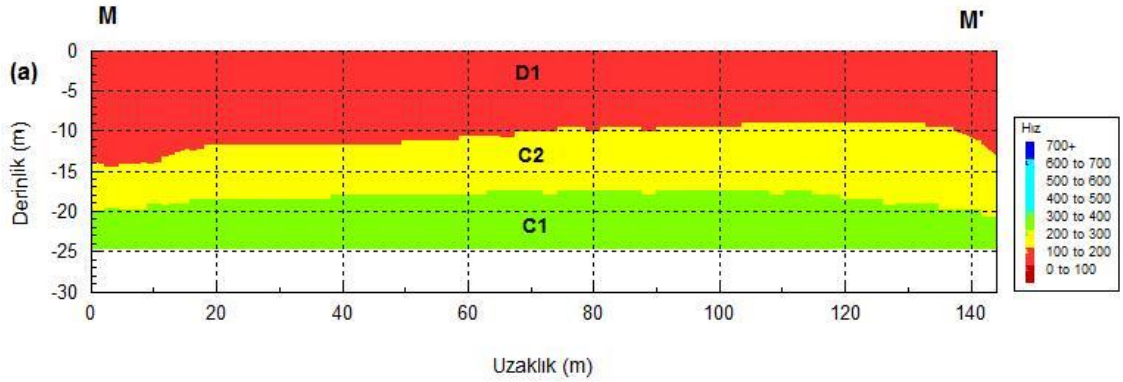
Şekil 5.51 L\* ve M\* profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)





Şekil 5.52 L\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**L\* profili** toplam uzunluğu 144 metre 2 serimden oluşmuş ve Köprücüler Köyü'nün yakınında yer almaktadır (Şekil 5.51). L\* profili 13 metre derinliğe kadar 100 m/s gibi çok düşük hızı göstermekte ve 12 metreden daha derinlerde ise C2 grubu zemin yer almaktadır. Daha derinlerde ise C1 grubu zemin bulunmaktadır (Şekil 5.52). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 216 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.55 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri düşük olup, C2 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir.



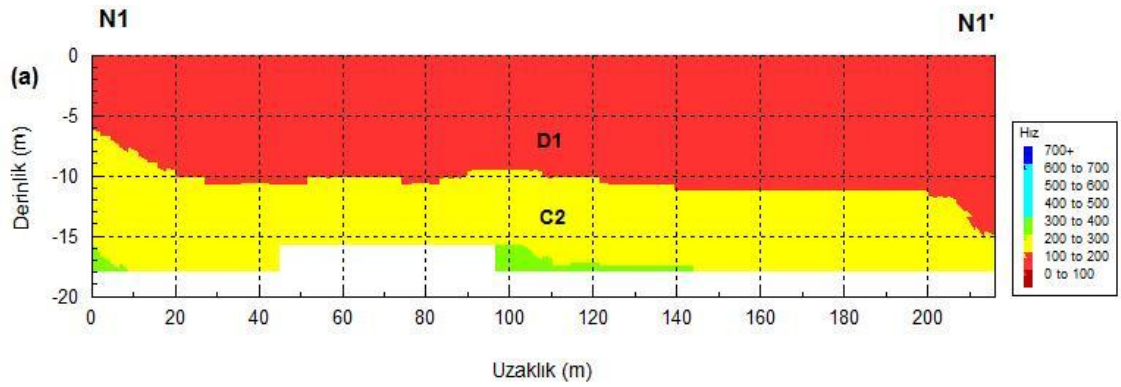
Şekil 5.53 M\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

**M\* profili** 72 metrelik bir serimden oluşmuş ve L\* profilinin kuzeyinde, Köprücüler Köyü'nün yakınında yer almaktadır (Şekil 5.51). M\* Profili 15 metre derinliği ile başlayan ve gittikçe 10 metreye düşen ilk tabaka 100 m/s gibi çok düşük hızı göstermekte ve bunun altındaki tabaka ise C2 grubu zemin yer almaktadır. Daha derinlerde ise C1 grubu zemin bulunmaktadır (Şekil 5.53). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 209

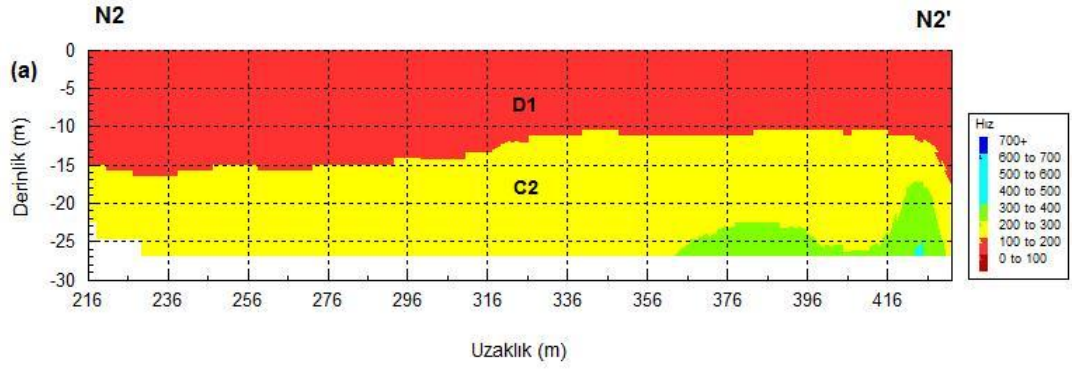
m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.57 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri düşük olup, C2 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir.



Şekil 5.54 N\* profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.55 N\*1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması



Şekil 5.56 N\*2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

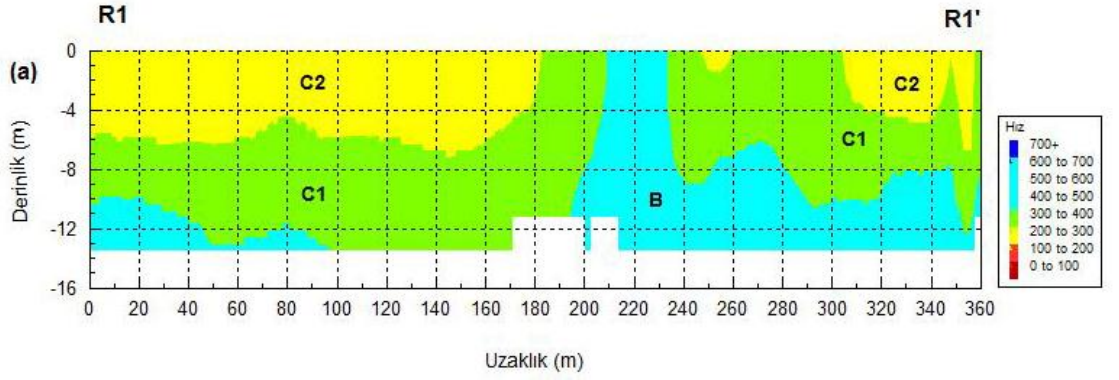
**N\* profili** toplam uzunluğu 432 metre 6 serimden Örencik Köyün solunda oluşmuştur (Şekil 5.54).

**N\*1 profili** 5 metre derinliği ile başlayan gittikçe 15 metreye gelen ilk tabaka 100 m/s gibi çok düşük hızı göstermekte ve ikinci tabaka ise C2 zemin grubunda yer almaktadır (Şekil 5.55). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 209 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.57 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri düşük olup, C2 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir.

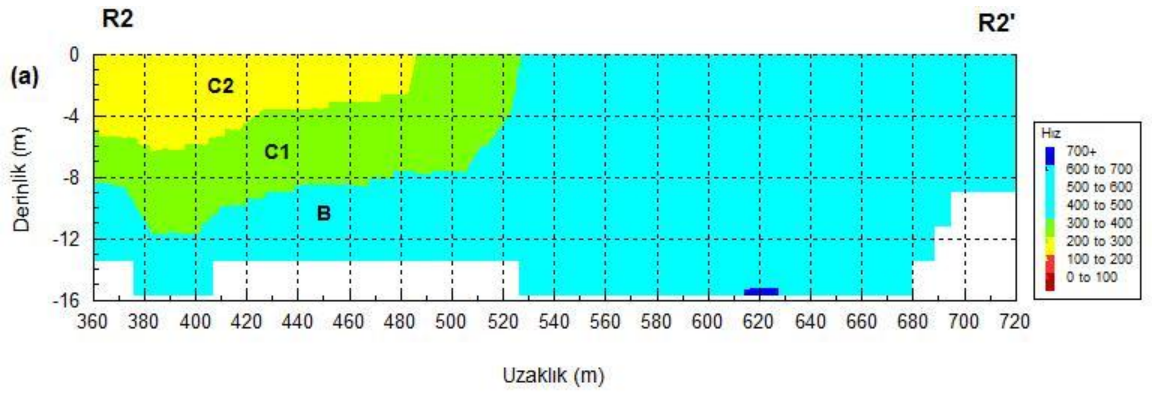
**N\*2 profili** 15 metre derinliği ile başlayan gittikçe 10 metreye gelen ilk tabaka 100 m/s gibi çok düşük hızı göstermekte ve ikinci tabaka ise C2 zemin grubunda yer almaktadır (Şekil 5.56). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 194 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.61 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri düşük olup, D1 grubu zemin (yumuşak zemini) özelliğini göstermektedir.



Şekil 5.57 R\* profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.58 R\*1 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması



Şekil 5.59 R\*2 profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması



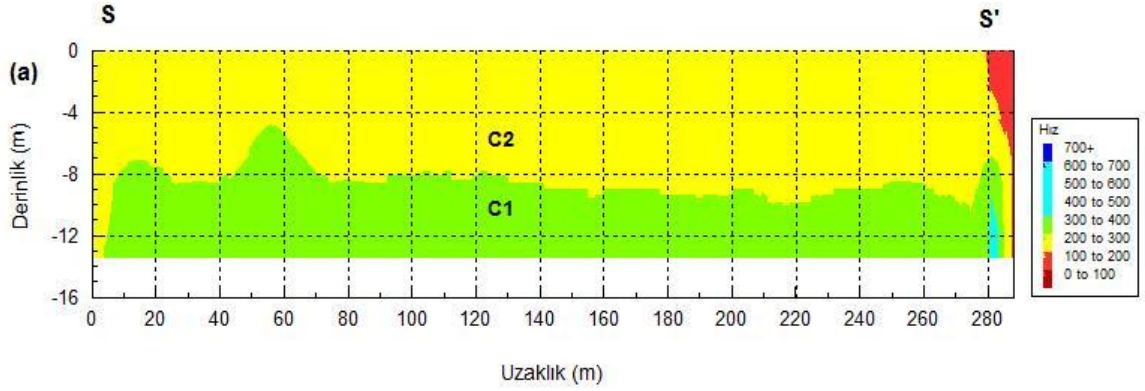
**R\* profili** toplam uzunluğu 720 metre 10 serimden oluşmuştur (şekil 5.57).

**R\*1 profili**, R\* profilinin ilk 5 seriminden oluşmaktadır. İlk tabaka 5-6 m derinliğe kadar C2 grubu zemini göstermektedir. Onun altında 5 metrelik ikinci tabaka ise C1 grubu zemini göstermektedir. Daha derinlerde B grubu zemin özelliğini göstermektedir (şekil 5.58). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 403 m/s ve titreşim periyodu 0.29 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, B grubu zemin (sert zemini) zelliğini göstermektedir.

**R\*2 profili**, R\* profilinin ikinci 5 serimidir. İlk 120 metre mesafesinde 6 metre derinliğe kadar C2 grubu zemini ve onun altında 4 metre kalınlığında, 160 m uzunluğunda C2 grubu zemini göstermektedir. Diğer yerler B grubu zemin özelliğini göstermektedir (şekil 5.59). Bu profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 500 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.24 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, B grubu zemin (sert zemini) zelliğini göstermektedir.

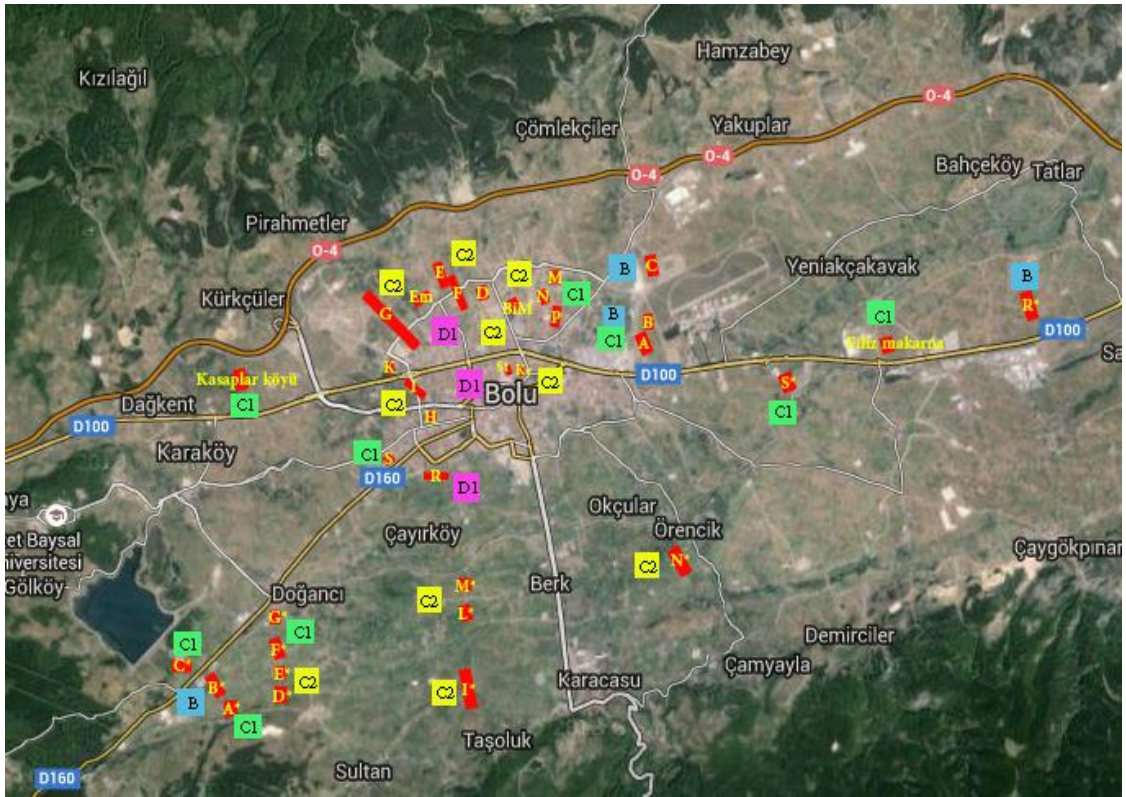


şekil 5.60 S\* profilinin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)

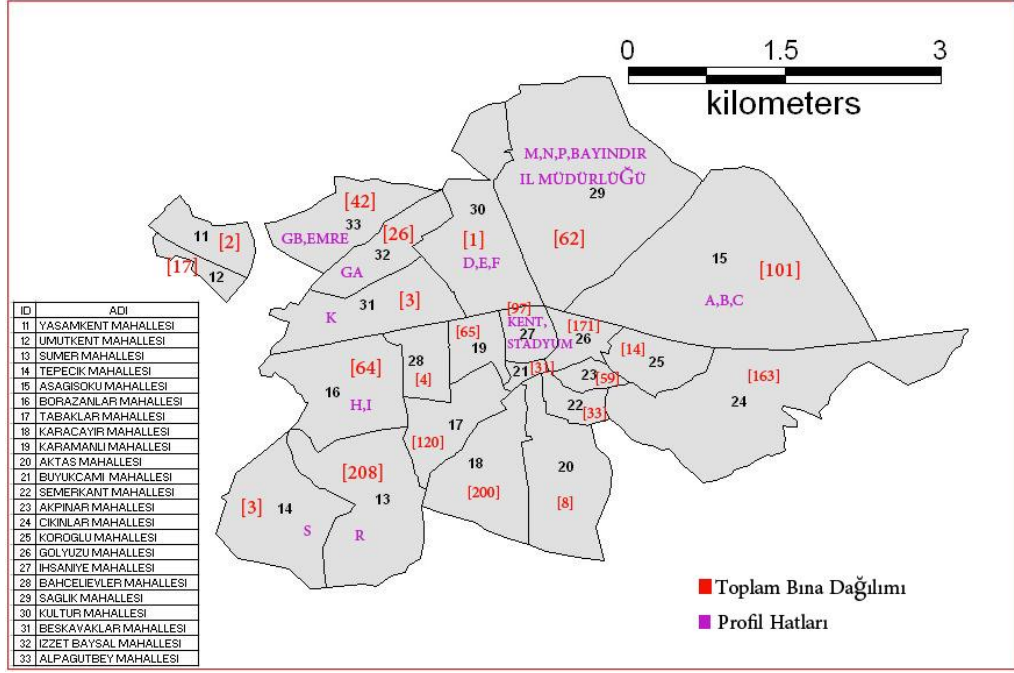


Şekil 5.61 S\* profilinin kayma dalgası (S) zemin gruplaması

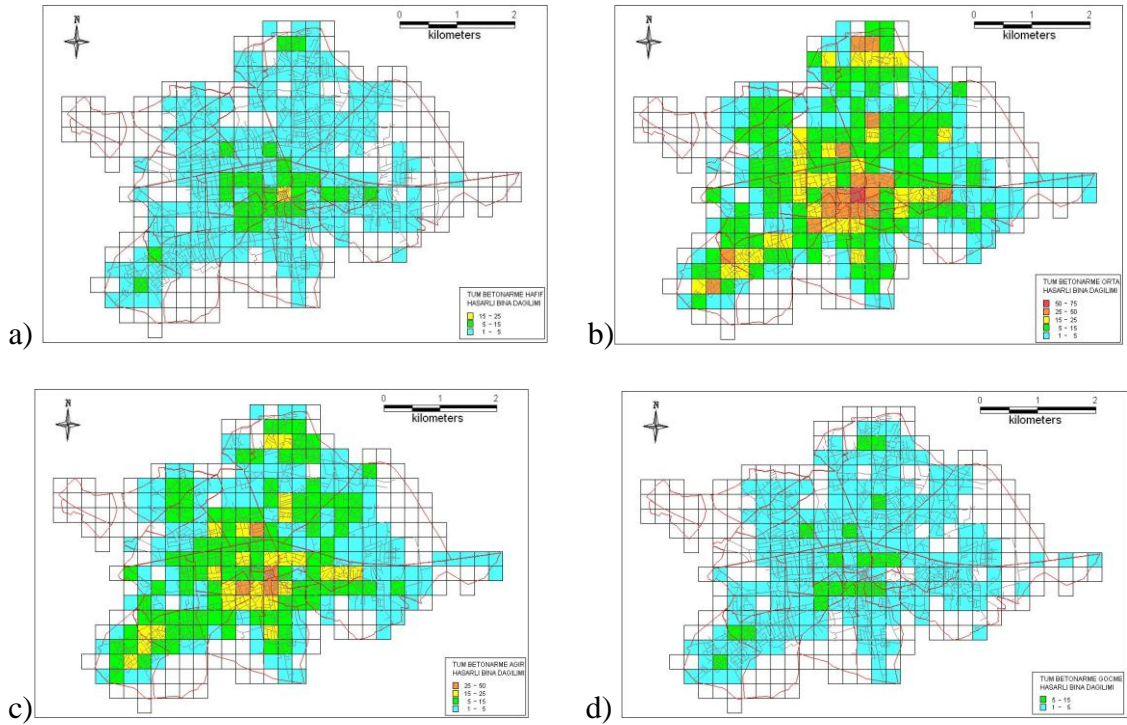
S\* profili 288 metre 4 serimden oluşmakta ve Yenigeçitveren Köyü'nün kuzeyinde ölçülmüştür (Şekil 5.60). Bu profilin ilk 8 metreye kadar C2 grubu ve daha derinlerde C1 grup zemin bulunduğu gözlemlenmektedir (şekil 5.61). S\* profilin 30 metre derinlikteki S-dalga hızı 354 m/s ve zemin hakim titreşim periyodu 0.33 saniyedir. Bu bölgede S-dalga hız değeri yüksek olup, C1 grubu zemin (sert zemini) özelliğini göstermektedir.



Şekil 5.62 Bütün profillerin konumu (harita <https://www.google.com/maps> sitesinden alınmıştır)



Şekil 5.63 Bolu şehir merkezin mahalleler ve profillerin konumu (Aydınöglü ve Tüzün 2007)



Şekil 5.64 Bolu için: a. az hasarlı, b. Orta hasarlı, c. ağır hasarlı, d. göçme hasarlı bina dağılımı (Aydınöglü ve Tüzün 2007)



Çizelge 5.10 Profillere ait titreşim periyotları ve  $V_{S30}$  tablo ile gösterimi

PROFİLLER	T(periyot) s	$V_{S30} \frac{m}{s}$
A (0-60m)	0.27	430
(60-220m)	0.36	330
C (0-70m)	0.27	434
(70-140m)	0.27	431
D	0.49	243
E	0.50	236
FA	0.52	228
FB	0.50	235
FC	0.57	207
FD	0.60	199
GA	0.68	175
GB1	0.50	240
GB2	0.44	271
GB3	0.42	282
HA	0.42	281
HB	0.48	246
IA	0.45	265
IB	0.47	251
KA	0.48	246
KB	0.54	221
M	0.30	393
N	0.33	362
PA	0.32	369
PB	0.35	342
RA	0.61	194
RB	0.67	179
Bayındır	0.41	290
Emre sitesi	0.53	226
Stadyum	0.60	197
Kent merkezi	0.52	227
Filiz Makarna	0.33	359
Kasaplar köyü 1	0.30	399
Kasaplar köyü 2	0.32	369

Çizelge 5.11 Profillere ait titreşim periyotları ve  $V_{S30}$  tablo ile gösterimi

PROFİLLER	T(periyot) s	$V_{S30} \frac{m}{s}$
A*	0.31	377
B*	0.29	407
C*	0.39	305
D*	0.42	281
E* (0-10)	0.44	271
(10-70)	0.27	435
F* (0-70)	0.34	352
(70-210)	0.39	307
(210-280)	0.33	355
G*	0.33	355
I*1 (0-200)	0.53	225
(200-240)	0.48	250
I*2	0.50	235
L*	0.55	216
M*	0.57	209
N*1	0.54	221
N*2	0.61	194
S*	0.33	354
R* (360-520)	0.29	403
(520-720)	0.24	500

## 6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında Bolu kent merkezinde yapılan çok sayıda kırılma verisinden yararlanılarak, zeminlerin sınıflaması ve istatistiksel dağılımı yapılmıştır. Ayrıca 1999 Düzce depremi nedeni ile oluşan yapı hasarlarının, hangi tür zemin sınıflarında olduğu ve zemin koşulları ile ilişkisi araştırılmıştır. Bu tez, deprem nedeni ile oluşacak hasarların en az indirilmesinde önemli bir araç sunmaktadır.

Bu çalışmalara göre şehrin orta (İhsaniye Mahallesi), batı (Borazanlar Mahallesi ve Beşkavaklar Mahallesi), kuzeybatı (Kültür Mahallesi ve Alpağutbey Mahallesi) ve Köprücüler Köyü'nün doğusunda M\*, L\* ve I\* ve Örencik Köyü'nün güneyinde N\* profillerin bulunduğu yerler, 200-300 m/s düşük hız değerleri göstermektedir. Bu yerlerde zeminler C2 grubunda ve yumuşak zemin özelliğindedir. Zemin hakim titreşim periyodu 0.42 ve 0.65 saniye civarındadır. Bu zeminlerde çok katlı binaların zarar görme ihtimali daha fazladır ve bu nedenle az katlı olmalıdır. Kuzey (Sağlık Mahallesi), doğu (S\* ve Filiz Makarna) ve Sultan Bey Köyü'nün batısında A\*,C\*,F\* ve G\* profillerin bulunduğu yerlerde, zemin 300-400 m/s yüksek bir hıza sahiptir. Bu yerlerde zeminler C1 grubu zemin özelliğine göstermekte ve zemin hakim titreşim periyotları 0.25-0.39 civarındadır. Bu sert zeminlerin üstünde, katları daha yüksek binalar uygundur.

Zemin sınıflandırılması bina hasar dağılımıyla (Şekil 5.64) karşılaştırıldığımızda, Bolu'nun ortası ve batı kısmı D1 ve C2 grubuna ait zeminden oluştuğu görülmektedir. Yani, zemin bu bölgelerde daha yumuşaktır ve bina hasarları bu bölgelerde daha fazladır. Bolu'nun doğusunda zeminler daha sert ve C1 ve B grubu zeminlerdir. Bu zeminler daha sağlam olduğu için üstündeki binalar az hasar görmüştür. Bu yüzden şehrin daha çok doğu tarafa doğru büyümesi sağlanmalıdır. Zemin hakim titreşim periyotları ve bina periyotları göz önüne alındığında en fazla rezonans yaşayan ve tahribata yol açan binalar 3 ve 7 kat arasındadır.

## KAYNAKLAR

- Anonim. 1999. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.
- Anonymous. 1994. NEHRP recommended provisions for the development of seismic regulations for new buildings. Building Seismic Safety Council, Washington. D.C.
- Anonymous. 2011. Mikenorton. Web Sitesi:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/North\\_Anatolian\\_Fault](https://en.wikipedia.org/wiki/North_Anatolian_Fault), Erişim Tarihi: 05.9.2015.
- Ayan, T. Y. 2009. Kaynak kısıtlı çoklu proje programlama problemi için tavlama benzetimi algoritması. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23(2), 101-118.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H. and Tuncay, E. 2000. Site investigation and engineering evaluation of the Düzce-Bolu earthquake of November 12, 1999. TDV / DR 09-51, Türkiye.
- Aydınöglü, M.N. ve Tüzün, C. 2007. Bolu il merkezi deprem tehlikesi ve mikrobölgeleme çalışmaları, hasar tahminleri ve bina performans değerlendirmeleri (Bölüm 3 ve bölüm 4), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bolu Belediyesi, 72-150.
- Basokur, A.T. 2014. Correlation between S-wave velocities and building damage distribution in Bolu (Turkey) During The 1999 Düzce Earthquake. 20th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 14-18 September, Athens, Greece.

- Bayülke, N.1978. Tuğla yığma yapıların depremlerdeki davranışları. Deprem araştırma enstitüsü bülteni, 22, 26-42.
- Bayülke, N. 1989. Çok katlı yapılar ve deprem (Çok katlı yapılar sempozyumu). T.M.M.O.B İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 187-226.
- Buğdaycı, İ. 1999. Depremin dili sismoloji. Bilim ve Teknik Dergisi, 26-29.
- Busetti, F. 2003. Simulated annealing overview. JP Morgan, 10, Italy.
- Dewey, J. W. 1976. Seismicity of Northern Anatolian. Bull. Seismol. Soc. Am., 66, 843–868.
- Gencoğlu, S. 1986. Deprem Kataloğu (Yayınlanmamış).
- Gökten, E., Kılıç, R., Başokur, A. T., Varol, V., Sonel, N., Koçbay, A., Bilgehan, P., Emin Candansayar, E., Ulamış, K. ve Engin Tokgöz, E. 2001. Bolu İli (II. Etap) Yerleşim Alanının Jeolojik, Jeofizik ve Jeoteknik İncelemesi, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji ve Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Gökten, E., Çemen, İ., Varol, B., Pinar, A. and Özaksoy, V. 2002. The 17 August 1999 Gölcük (Kocaeli)- Arifiye (Adapazarı) and 12 November 1999 Düzce Earthquakes, NW Turkey: Their Mechanisms and Tectonic Significance. Integration of Earth science Research on the Turkish and creek 1999 Earthquakes (kluwer academic publisher), 9, 1-15.
- Keçeli, A. 1990. Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, 4 (2), 83-92.
- Ketin, I. 1948. Son on yılda Türkiye’de meydana gelen büyük depremlerin tektonik ve mekanik neticeleri hakkında. TJK Bülteni, vol 2.



- Ketin, İ. 1969. Kuzey Anadolu Fayı Hakkında Maden Tetkik ve Arama Dergisi.72:1-27
- Özer, E. 2005. betonarme binaların deprem performansının belirlenmesi için bir yaklaşım. 1-9.
- Özmen, B. 2000. Düzce-Bolu Bölgesi'nin Jeolojisi, Diri Fayları ve Hasar Yapan Depremleri. s:1-14, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu (Editör: Bülent ÖZMEN ve Günruh BAĞCI), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara
- Taşman, C. 1944. Gerede-Bolu zelzelesi hakkında rapor. DAD/At.46.
- Varol, V., Gökten, E., Başokur, A.T., Kılıç, R., Koçbay, A., Bilgehan, P., Ulaş, K., Kuyucu, U., İleri, Ö., Tokgöz, Ö., Üçöz, E., Ata, D., Değimencioğlu, E., Aktaş, K., Gürbüz, M. Kılıç, T., Altıntaş, M. ve Arman, N. 2000. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Sonrası Sürekli İskan Alanlarının Belirlenmesinde Bolu ve Çevresi için Jeoloji-Jeoteknik ve Jeofizik Araştırmaları (TÜBİTAK 985-Deprem sonrası acil araştırma programı).
- Wasti, S. T. 2001. UBC hesap esasları ve yeni türkiye deprem yönetmeliği (UBC Hesap Esasları Işığında 1997 Türkiye Deprem Yönetmeliği). ODTÜ-OGÜ Yapı Mekaniği Semineri 2001, s.1-29.
- Yalçınkaya, E. 2010. Zemin Neden Bu Kadar Önemli? Jeofizik Bülteni, 77-80.
- Zeevaert, L. 1967. Free vibration torsion tests to determine the shear modulus of elasticity of soils. Proc. 3rd panam. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Caracas, 1, 111-138.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elnaz KARIMI MAZIDI

Doğum Yeri : SHIRAZ - IRAN

Doğum Tarihi : 05.09.1986

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : Farsça : Anadil

Azerice : Çok İyi

Türkçe : Çok İyi

İngilizce : Çok İyi

### Eğitim Durumu

Lise : Alzahra Lisesi, Urmia, IRAN (2004)

Lisans : İslamik Azad Üniversitesi, Urmia-İran, Fen Fakültesi,  
Fizik Bölümü (2010)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2011- Kasım 2015)

### Staj Bilgileri

KIT (Karlsruhe Institute of Technology), Karlsruhe – Almanya  
(Erasmus+ Stajyer 2015)