

ESKİEHİR BASENİ SİSMİK KALİTE FAKTÖRÜNÜN DEĞERLENMESİ

M.Tün¹, E.Pekkan², S.Mutlu³, B.Ecevit⁴

¹ Yardımcı Doçent Doktor, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir

² Yardımcı Doçent Doktor, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir

³ Araştırma Görevlisi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir

⁴ Profesör Doktor, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir

Email: mtun@anadolu.edu.tr

ÖZET:

Deprem kaynaklı kuvvetli yer hareketleri, çeşitli dalga biçimlerinde, deprem kaynak etkisi ve olumsuzlukları ortamın jeolojik yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterirler. Yerin dispersif yapısının ve ortamın sönümlenme etkisinin, fay kırılma hareketi sonrasında oluşan cisim dalgaları ve yüzey dalgaları gibi bir depremin farklı fazlarında etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca diğer tüm faktörler aynı olmasına karşın, toprak zemin üzerindeki hareket miktarı kaya zemin üzerindeki hareket miktarından büyük olduğu kuvvetli hareket deprem kayıtlarından görülmüştür. Genellikle yer tepkisi hesaplamaları aletsel kayıtlardan elde edilebilir. Yer tepkisini tahmin etmek için H/V metodu, dizilim kayıtları ile 2 boyutlu hız yapısı ve standart spektral oran (SSR-reference station method) metodları kullanılır. Bu çalışmada, Eskişehir ili kent merkezinde bir deprem sonrası ölçülen kuvvetli yer hareketi kayıtları ve yapay kaynak kullanılarak ölçülen kayıtlar kullanılarak Eskişehir baseni için sönümlenme etkisi tartışılmıştır. Q-Faktörü hesabı, yakın ve uzak kayıtçılar tarafından kaydedilen sismik sinyallerin varış zamanlarının ölçülmesini gerektirir. Sismik kalite faktörü yakın ve uzak istasyonlar arasında kat edilen yola aittir. Yakın ve uzak istasyon, spektral oranının doğal logaritmasından elde edilen eğrinin, yerleştirilen doğru parçası boyunca olan salınımları, rezonans frekansları gibi zemin özellikleri hakkında değerli bilgileri içermektedir. Elde edilen sonuçlar, bir deprem sonrası ölçülen en yüksek ivme değerleri ve kaynak-alıcı boyunca ortamın sönümlenme etkisi değerleri karşılaştırılarak tartışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Q-Faktör, HVSR, SSR, ivme, ANA-NET.

1. GİRİŞ :

Zeminlerin plastik davranışı, depremlerin yapılar üzerindeki tahribatın en önemli nedenlerinden olduğu önceki çalışmalarından bilinmektedir. 1999 Kocaeli Depremi'nde, Avcılar'da meydana gelen yapısal hasarlar (Ergin et al., 2004) bu problem ile karşılaşılmıştır. Ayrıca yerel zemin koşullarının, kuvvetli yer hareketi kayıtlarından elde edilen spektral ivmeye olan etkisinin tartışıldığı birçok çalışmada bulunmaktadır (Yılmaz ve Haşim, 2012) 1970'li yıllardan beri bilinen Sismik Kalite Faktörü Q (Ricker, 1940), deprem-zemin etkisi hakkında önemli bilgiler sağladığı halde, ölçümündeki zorluklar nedeniyle popülerlik kazanmamıştır. Q-Faktörü, deprem dalgalarının kat ettiği zeminlerin ne kadar sönümlenmiş oldukları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Q-Faktörü değerinin düşük olması, içinde yol aldığı zeminin anelastik özelliklerinin önemini vurgular. Bu anelastik özellikler kayalık türlerine bağlı olarak, fay ve ezilme zonlarını, yeraltı su seviyesinin yüksekliği, ortamdaki çatlak-kırık ve heyelan durumunu, zeminin sıvılaşma potansiyelini, alüvyal ve bataklık zeminlerini, insan yapısı dolgu ve atık alanlarını da ifade etmektedir. Q-Faktörünün düşük olduğu zeminlerde, deprem dalgaları, elastik enerjilerinin bir bölümünü, plastik deformasyon ekinde kat ettikleri zemine bırakırlar.

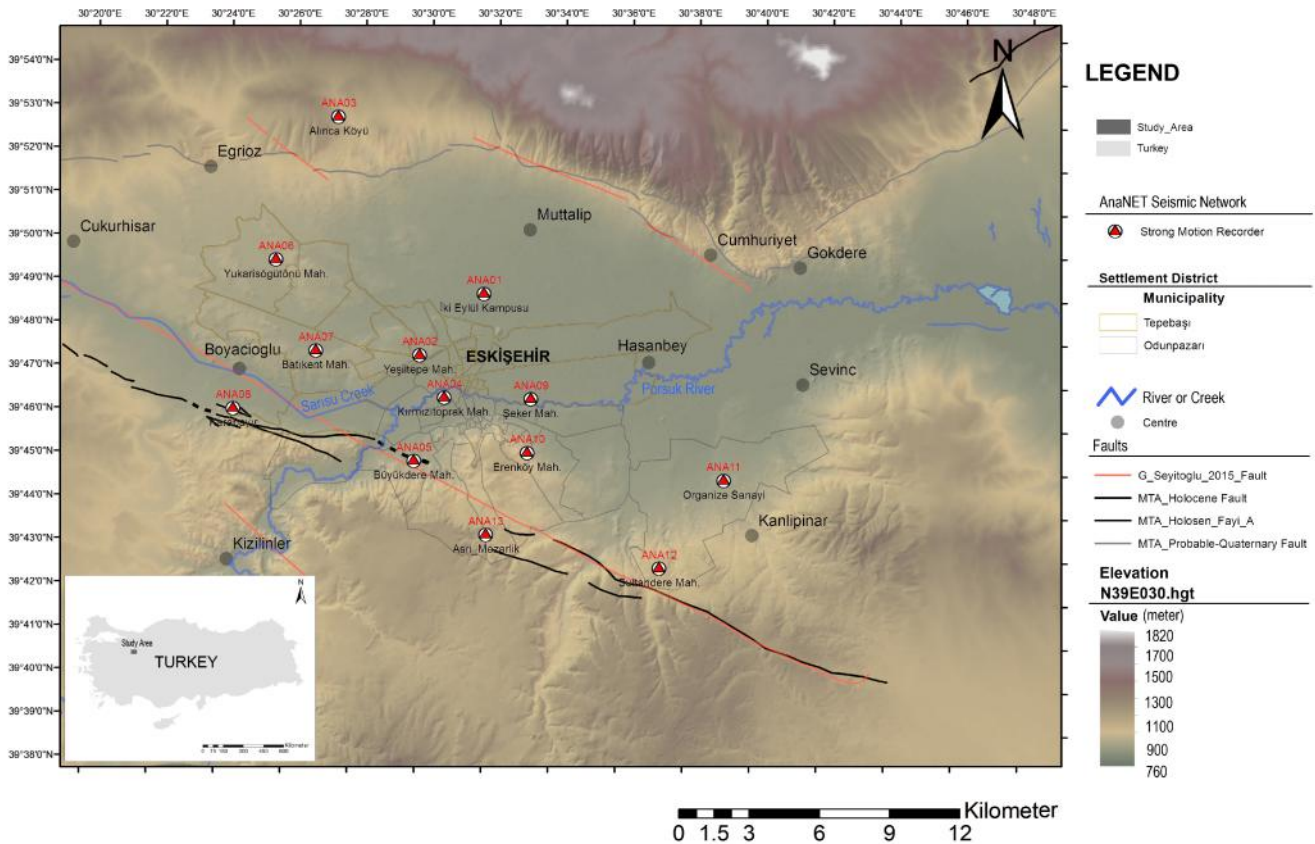
Deprem dalgaları geçerken, ortamda, denge konumları civarında titreşen parçacıklar, dalgalar geçtikten sonra tekrar eski denge konumlarına geri dönerlerse (elastik davranış), az bir tahribat olacaktır. Bu tür ortamlar yüksek Q-Faktörü değerlerine sahiptirler. Q-Faktörünün ölçülmesindeki zorluk, hesaplamaların frekans ortamında yapılması gerektiğine dayanmaktadır.

Bu çalışmadaki amaç Eskişehir Basenindeki ölçülen ivme değerleri ile hesaplanan Q-Faktörü değerlerinin, bölgesel jeolojik ve geoteknik yapı özellikleri ile etkisinin tartışılmasıdır. Depremlerde beklenen zemin davranışını ifade eden yer tepkisi, genellikle aletsel kayıtlardan elde edilebilir. Bu amaçla, yakın ve uzak

istasyonlardan elde edilen deprem kayıtlarının genlik spektrumlarının oranın do al logaritması alınır. Elde edilen e ri üzerine bir do ru parçası yerleştirilir. Bu do ru parçasının e iminden Sismik Kalite Faktörü Q hesaplanır. Elde edilen e rinin gürültü olması, e ri üzerinde bir ön yumu atma i lemi yapılmasını gerektirmektedir.

2. ÇALI MA ALANI ve ANANET S SM KA I

Eski ehir baseni, Türkiye'nin kuzeybatısında, 39°31'-39°56' N enlemi ve 30°17'-30°45' E boylamında yer alır (ekil 1). Eski ehir, Türkiye'de, Orta Anadolu Bölgesi'nin batısında yer alan, yüksek hızla kentleşen ve endüstriyel alanlardan biridir. Eski ehir 2014 nüfusu 812.320 kişidir. Eski ehir Ovası'nın doğuda Gökdere'ye doğru hızla daraldığı ve ardından daha dar bir kuşak halinde Alpu Ovası'na doğru uzanır. Basen içinde ve yakın çevresinde, Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü (YUBE) tarafından işletilmekte olan AnaNet Sismik A1 kapsamında toplam 13 adet ivme kayıtcısı bulunmaktadır. Çalışma alanı için arazi topoğrafyasını haritalamak amacıyla 3 (~90m) çözünürlüklü Türkiye Sayısal Yükseklik Modeli (TSYM3) kullanılmıştır. Yerel yükseklik bilgileriyle desteklenmiş SRTM Verileri kullanılarak, Türkiye için 3"x3" Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli oluşturulmuştur (Bildirici et al., 2008). Bu verilere dayanarak, çalışma alanında yüksekliğin 780-1200 m aralığında değiştiği görülmektedir (ekil 1).

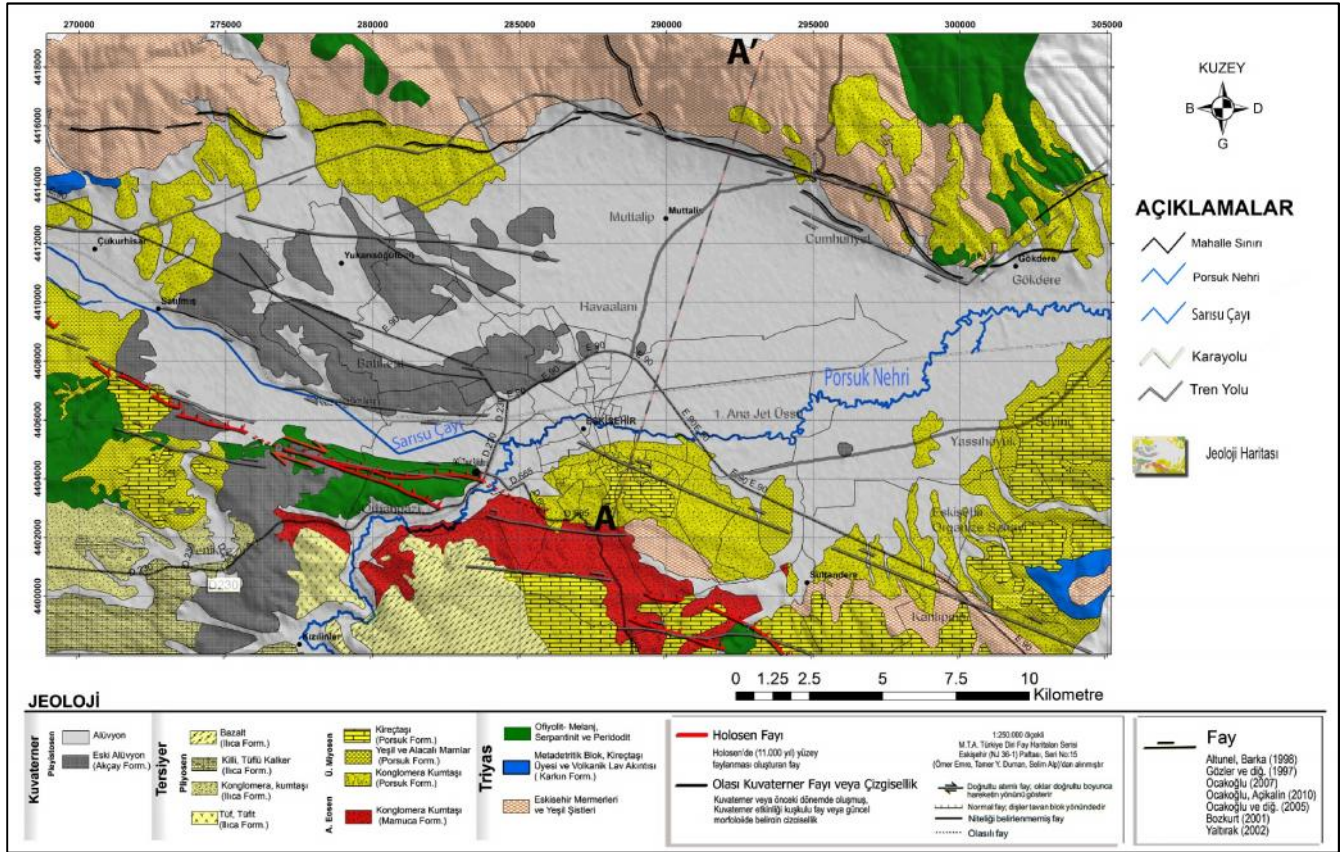


ekil 1. Çalışma alanı ve AnaNet Sismik A1 kuvvetli yer hareketi istasyon yerlerini gösteren harita.

2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Eski ehir ovasının jeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla günümüze kadar birçok çalışma ve derleme yapılmıştır (Esen et al., 1976, Gözler et al., 1985, Ölmez and Yücel, 1985, Yıldırım and Gürsoy, 1985, Ölmez et al., 1986, Yücel, 1986, Sarıöz and Oruç, 1989, Gözler et al., 1996, Altunel and Barka, 1998, Ocakolu et al., 2005). Bu çalışmalara göre, Eski ehir ili sınırlarında bulunan formasyonlar; gençten yaşlıya doğru, Alüvyon, Akçay Formasyonu, Ilıca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Mamuca Formasyonu ve Karkın Formasyonu'dur (ekil 1.c). Eski ehir baseninde; Pleyistosen yaşlı çakıl, kum, silt, kil içeren alüvyon, Akçay Formasyonu, konglomera-kumtaşı, marn, kireçtaşı içeren Üst Miyosen yaşlı Porsuk Formasyonu ve bazalt, tüf, killi tüflü

kalker, konglomera-kumta ı içeren Pliyosen ya lı Ilıca Formasyonu bulunmaktadır. Porsuk Formasyonunda, Pliyosen ya lı Ilıca Formasyonuna ait killi tüflü kalkerli seviyelerin mostra verdi i görülmektedir (ekil 2). Eski ehir Grabeni, içinde en derin 100 m kadarlık bir Kuvaterner çökeli (Alüvyon, Eski Alüvyon) bulundu u bilinmektedir. (Açıkalın and Ocako lu, 2005). Çalı ma alanının temelini, ye il, mavi, kirli sarı renkte glokofan ist, muskovit ist, serizit ist ve ince kumta ı, silta ı arakatklı fillitler ile üste do ru masif mermerlerle sona eren Triyas ya lı metamorfik kayalar olu turur (Gözler et al., 1985, Yücel, 1986). nceleme alanının en büyük akarsuyu Porsuk Nehri'dir. Bu nehir çalı ma alanına güney-batıdan girerek, do udan çıkmaktadır. Sarısu çayı batı-do u do rultuda akar ve Porsuk nehrine ba lanır (ekil 2).

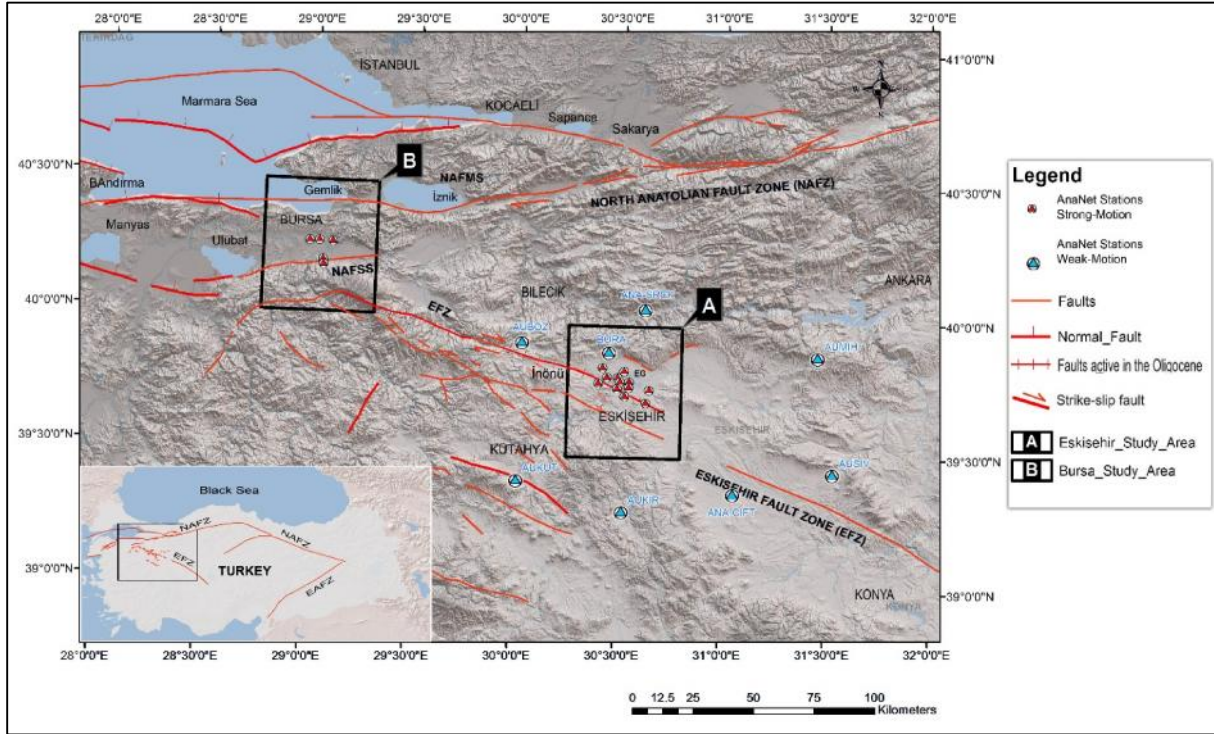


ekil 2. Çalı ma alanı jeoloji haritası (MTA Raporları, (Esen et al., 1976)'dan geli tirilmi tir).

Eski ehir, Türkiye deprem tehlikesi haritasına göre 2. Derece deprem bölgesinde yer alır (AFAD, 1996). Bu nedenle sismik tehlike derecesinin dü ük ve kar ıla ılabilecek risklerin az olabilece i dü ünülür. Ancak Eski ehir ilinde ($M=5$ ve $M=7$ arasındaki) orta büyüklükte tarihsel depremler meydana gelmi tir. 20. yy'da EFZ üzerinde, büyüklü ü ($M=4$) olan en az 15 deprem oldu u bilinmektedir ve aletsel dönemde en büyük sismik olay 20 ubat 1956'da, $M_s=6.4$ büyüklü ündeki Eski ehir depremidir (Öcal, 1959, McKenzie, 1972). Literatürde ana okun episentırı halen tartı ma konusudur (Ocako lu and Açıkalın, 2010). Barka ve di . (1995)'de, Eski ehir Fayı'mı, batıda Bursa'dan ba latıp, do uda Sivrihisar do usuna kadar uzatmı ; büyük bir bölgesel önem yükleyerek, bu fayın, do rultu atımlı faylarla karakteristik Orta Anadolu'yu, geni lemenin daha büyük ve normal faylarla gerçekle ti i, Batı Anadolu ve Ege Bölgesi'nden ayıran bir ana jeolojik eleman olarak belirtmi lerdir. (Altunel and Barka, 1998) Bursa'dan Kaymaz'a kadar uzanan bu hattı ilk olarak "Eski ehir Fay Zonu (EFZ)" olarak adlandırmı lardır (ekil 3). (Ocako lu et al., 2005) tarafından yapılan çalı ma EFZ, ortalama 15 km geni li inde bir ku ak ekinde BKB do rultusunda alanı katetti i ifade edilmi tir.

2.2. AnaNet Sismik A 1

AnaNet Sismik a 1 Eskişehir Fay Zonu'nun (EFZ) Eskişehir Baseni ve Bursa kent merkezi boyunca kurulmuş 18 adet ivme ölçer istasyonu, Eskişehir ili ve yakın çevresinde kurulan 8 adet hız ölçer istasyonundan oluşmaktadır (ekil 3).



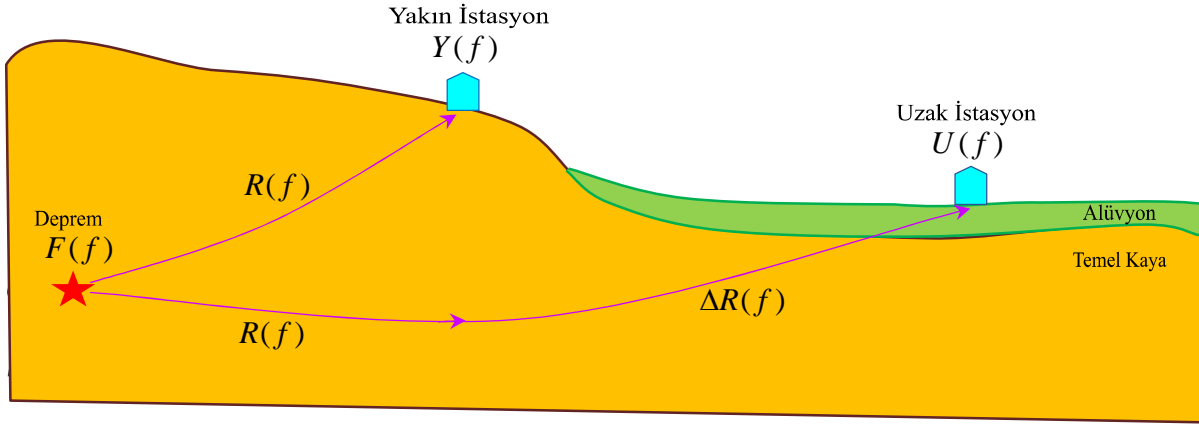
ekil 3. Çalı ma Alanı ve yakın çevresi diri fay haritası ve AnaNet Sismik A 1 istasyon yerlerini gösteren harita

3. DEPREM DALGA FAZLARI VE Q-FAKTÖRÜ

So rulma olayı tüm deprem fazlarında etkili olmaktadır. Biz bu çalı mada, depremlerdeki en tahripkar dalgalar olan, deprem yüzey dalgalarının (özellikle Rayleigh dalgalarının) so rulması üzerinde duraca ız. Cisim dalgalarının so rulması da ölçülmektedir. Bu durumda zaman analiz penceresinin, ilgili cisim dalgası üzerine yerle tirilmesi gerekir. Q-Faktörü hesabı, yakın ve uzak istasyonlardaki yolculuk süresinin de bilinmesini gerektirmektedir. Sismik kayıtlarda, cisim dalgalarının (özellikle P-fazının) varı zamanlarını ölçmek kolay oldu u halde, yüzey dalgalarının varı zamanlarını belirlemek zordur. Yüzey dalgaları dispersif (sismik hızın frekans ba ımlı olması) oldukları için ilk gelen yüzey dalgasına ait faz hızının ölçülmesi zordur. Bir ba ka zorlukta, yüzey dalgalarından önce gelen cisim dalgalarının sismik kayıtları kalabalıkla tırarak, yüzey dalgalarına ait varı zamanı okumalarını güçle tirmesidir.

3.1. Yakın-Uzak stasyon Spektral-Oran Yöntemi

Yakın-Uzak stasyon Spektral-Oran Yöntemi (ekil 4), ilk olarak Borchardt tarafından Nevada bölgesinde nükleer patlatmaları kullanarak, San Francisco Körfezi yakınlarındaki 37 farklı noktadaki büyütme de erlerinin belirlenmesinde, Standart Spektral Oran (SSR) yöntemi ismiyle kullanılmı tır (Borchardt, 1970). Zemin büyütme oranlarının, jeolojik zemin özelliklerine ba lı olarak de i ti i belirlenmi tir. Bu yöntem daha sonraki yıllarda farklı bölgelerde farklı ara tırmacılar tarafından kullanılmı tır (Field and Jacob, 1993, Yalcinkaya and Alptekin, 2005, Gök, 2011)



ekil 4. Yakın-uzak istasyon spektral-oran yöntemi

f	Frekans
$F(f)$	Deprem kaynak fonksiyonu
$Y(f)$	Yakın istasyonu fonksiyonu
$U(f)$	Uzak istasyonu fonksiyonu
$R(f)$	Deprem ile yakın istasyon arasındaki yol fonksiyonu
$\Delta R(f)$	Yakın istasyonu ile uzak istasyonu arasındaki yol fonksiyonu

$$Y(f) = F(f) R(f) \quad (1)$$

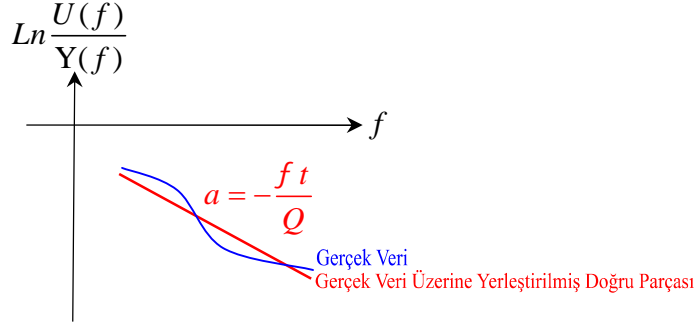
$$U(f) = F(f) R(f) \Delta R(f) \quad (2)$$

$$\Delta R(f) = \frac{U(f)}{Y(f)} \quad (3)$$

Yakın ve uzak istasyon fonksiyonları (1) ve (2) denklemleri ile verilmişlerdir. Yakın ve uzak istasyonlar arasındaki yol fonksiyonu (3) denklemi ile verilmiştir. (3) denklemi, alüvyon içinde oluşan ve zemin büyütmesine neden olan rezonans etkisini içermektedir. Buradaki varsayım, yakın istasyon yol fonksiyonu ile, uzak istasyon yol fonksiyonunun yakın istasyona kadar olan bölümünün eşit olduğu şeklindedir.

3.2. Sismik Kalite Faktörü Q'nün Hesaplanması

Öncelikle, spektral oranın doğal logaritmasını aldığımızda elde edilen grafiğin eğimi ölçülür (ekil 5).



ekil 5. Eimin ölçülmesi

t	Yolculuk Süresi (s)
Q	Sismik Kalite Faktörü
a	Eimin (s)
f	Frekans (Hz)
$Y(f)$	Yakın istasyonu fonksiyonu
$U(f)$	Uzak istasyon fonksiyonu

Sozulma denklemi

$$U(f) = Y(f) e^{-\frac{ft}{Q}} = Y(f) e^{-af} \quad (4)$$

olarak verilir. Burada eimin

$$a = -\frac{ft}{Q} \quad (5)$$

eklinde tanımlanmıştır.

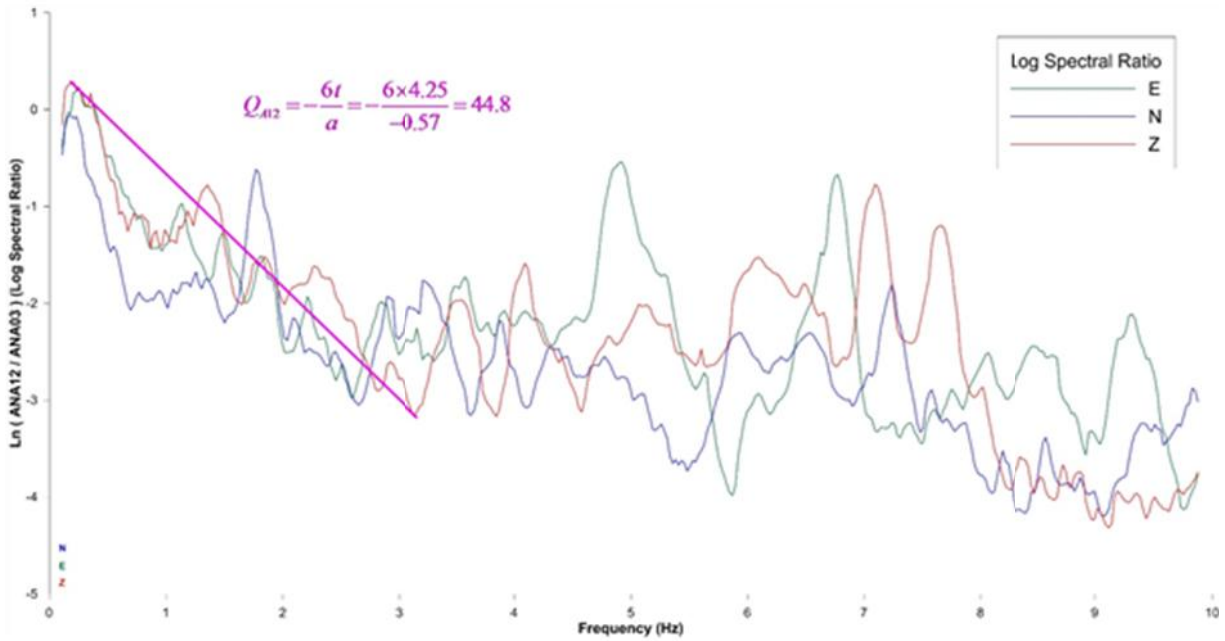
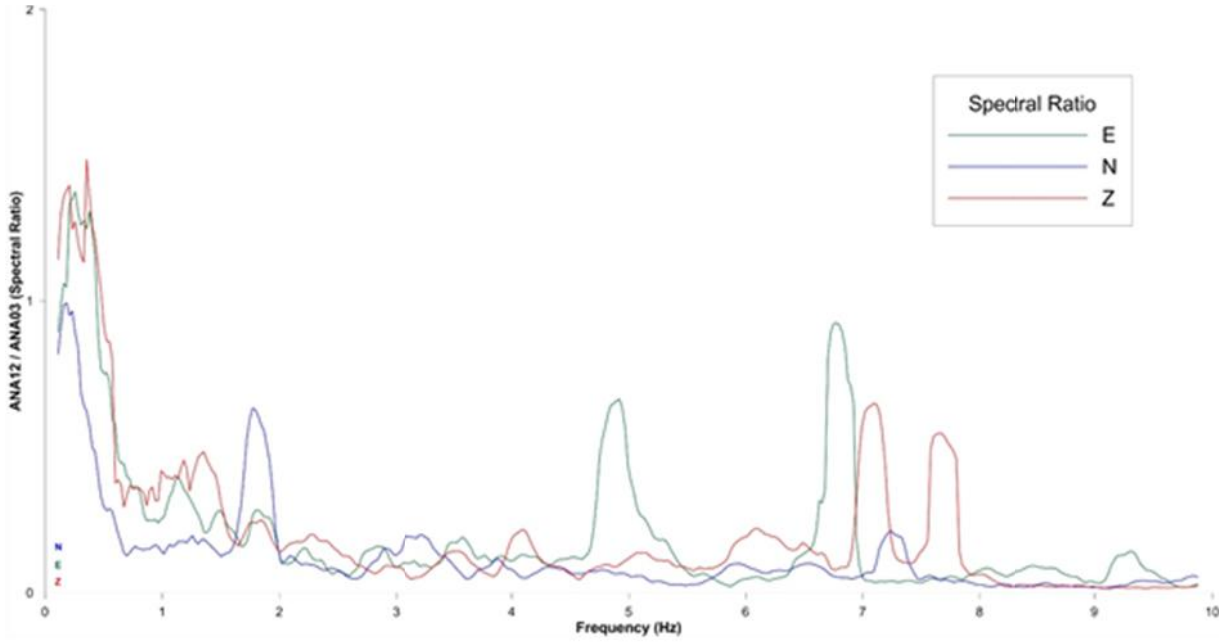
Yukarıdaki (3) denkleminde ve uzak, yakın istasyon fonksiyonları oranının doğal logaritmasından

$$\ln \Delta R(f) = \ln \frac{U(f)}{Y(f)} = -\frac{ft}{Q} = -af \quad (6)$$

bulunur. Buradan:

$$Q = -\frac{ft}{a} \quad (7)$$

elde edilir. Ekil 6'da M=4.3, 17.01.2015 Eskisehir Depremi ANA12, ANA03 istasyonları için örnek bir hesaplama verilmiştir.



ekil 6. M=4.3, 17.01.2015 Eskisehir Depremi ANA12/ANA03 spektral oran ve Q-Faktör Hesabı

3.3. Sismik Kalite Faktörü Q Hesabında Yolculuk Süresi Kavramı

Rayleigh dalgalarına ait Q -Faktörünü hesaplamak için, Rayleigh dalgalarının varı zamanlarının bilinmesi gerekir. Rayleigh dalgaları dispersif oldu undan, varı zamanları, Rayleigh dalgalarının en erken gelen fazının v_R hızına ba lıdır. Rayleigh dalgalarından önce cisim dalgaları geldi inden, Rayleigh dalgalarının varı zamanlarının okunması zordur. Bu nedenle, Rayleigh dalgalarının varı zamanları, P -dalgasının v_P hızına ba lı olarak hesaplanabilir.

$$Q = -\frac{fx}{av_R} = -\frac{fx}{av_P r \sqrt{\frac{0.5-\nu}{1-\nu}}} \approx -\frac{fx}{av_P 0.92 \sqrt{\frac{0.5-0.26}{1-0.26}}} = -\frac{6x}{av_P} = -\frac{6t}{a} \quad (8)$$

Yukarıdaki Q -hesabı formülünde görüldüğü gibi, kuru kayalarda yaygın olan $\nu = 0.26$ Poisson oranı için 6 (altı) çarpanı uygun bir değerdir. Benzer şekilde, yukarıdaki formülden, $\nu = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3$ ve 0.4 değerleri için sırasıyla 4.8, 5.1, 5.6, 6.4 ve 8.4 çarpanları bulunur. Formüldeki $r = 0.92$ çarpanı V_R / V_S oranıdır. Burada V_S S-dalga hızını göstermektedir.

Rayleigh dalgaları, (6) denkleminin düşük frekanslarını içerir. Örneklerimizde bu frekans aralıkları, depremler için 1-5 Hz, yapay sismik kaynaklar için 1-15 Hz'dir. Söz konusu aralıklarda, sozulma frekansının birinci kuvvetine bağlıdır ve Q frekans bağımsızdır. Dolayısıyla, seçilen zaman analiz penceresi, tüm sismik fazları kapsasın da Q hesabı, (6) denkleminin, Rayleigh dalgalarının hakim olduğu düşük frekanslarında yapılmaktadır.

3.4. Dispersiyonun Q -hesabına Etkisi

$$\ln \left| \frac{U(f)}{Y(f)} \right| = -af \quad ; \quad -a = \frac{ft}{Q} \quad ; \quad Q = -\frac{ft}{a} \approx -\frac{6t}{a} \quad (9)$$

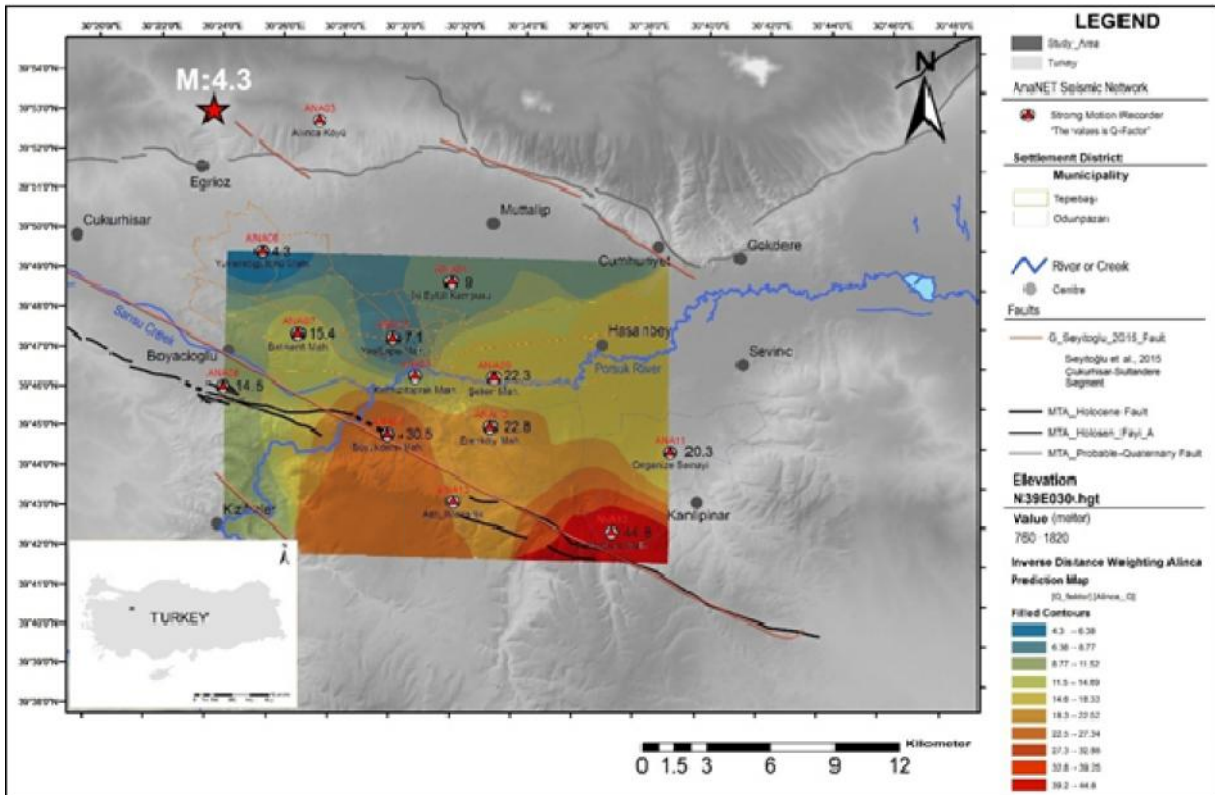
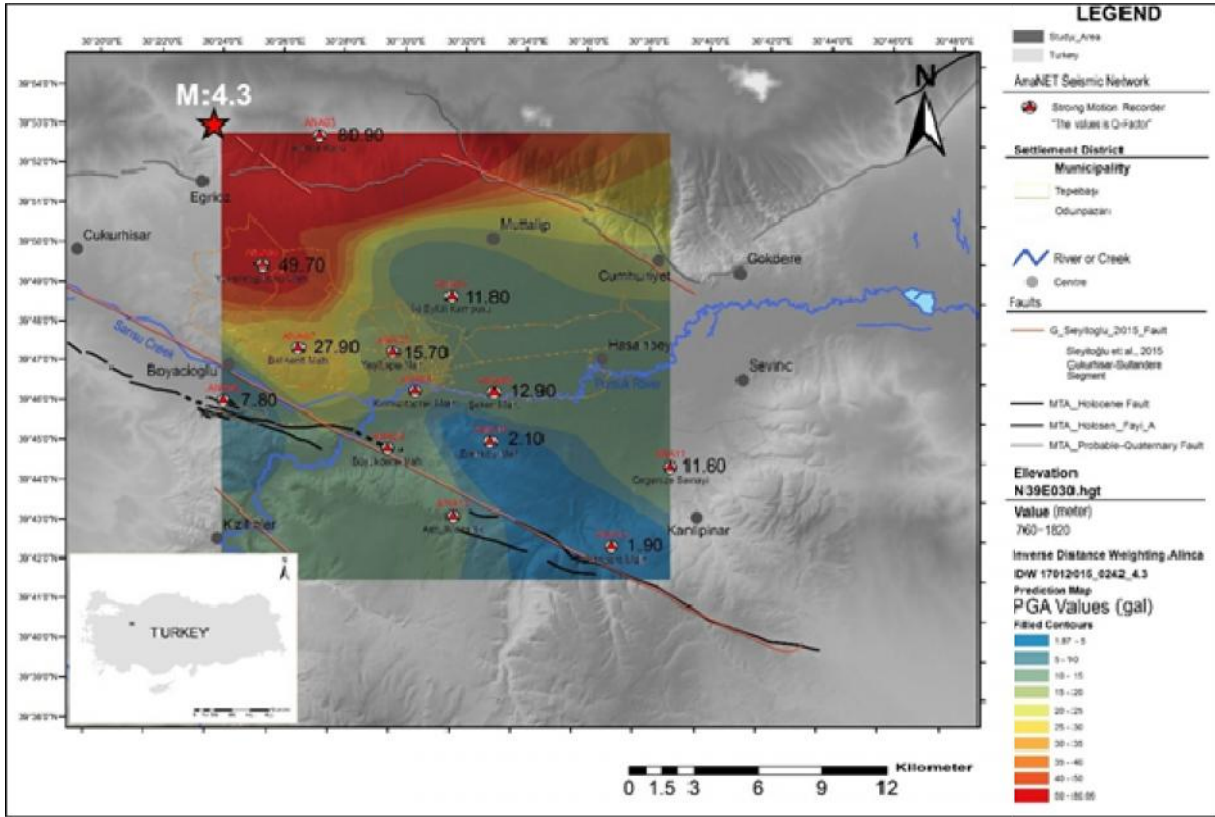
$$G(f) = F(f) \times e^{-\frac{ft}{Q}} e^{-i\frac{ft}{Q}H(f)} e^{-i\frac{2fx}{v(f)}} \quad (10)$$

Frekans Bağımlı v

Sozulma ve dispersiyon olaylarının her ikisi de sismik dalga formlarını etkilerler. Sozulma olayı sadece gerçel fonksiyonlar (genlik spektrumları) üzerinde etkilidir. Dispersiyon olayı ise sadece sanal fonksiyonlar (faz spektrumları) üzerinde etkilidir. Yukarıdaki (9) denkleminde görüldüğü gibi, Q -Faktörü hesabı gerçel fonksiyonlar üzerinde yapılmaktadır. (10) denkleminde görülen ve i ile başlayan sanal fonksiyonlar, gerçel fonksiyonları etkilemezler. Dolayısıyla Q -hesabında da etkileri yoktur. Bu nedenle Q -hesabı, yüzey dalgalarının hız dispersiyonundan etkilenmez. Bununla beraber, zaman analiz penceresinin tüm yüzey dalgalarını kapsayacak şekilde seçilmesi gerekir. (10) denkleminde, spektral ortamda, ' $G(f)$ ' karmaık çıktı fonksiyonunu, ' $F(f)$ ' karmaık girdi fonksiyonunu, ' X ' frekans bağımsız tüm katsayıları, ' H ' nedenselliği sağlayan Hilbert dönüşümünü, ' x ' kat edilen yolu, ' $v(f)$ ' ise dispersif sismik hızı göstermektedir.

SONUÇ

M=4.3, 17.01.2015 Eskişehir Depremi için ANA03 istasyonu yakın istasyon ve diğer istasyonlar uzak istasyon olarak alınmıştır. Eskişehir Baseninin hemen kuzey sınırında sağlam kaya üzerinde meydana gelen depremin, basen boyunca meydana getirdiği kuvvetli hareket miktarları ölçülmüştü ve alansal deprem haritası ekil 7'de verilmiştir. Yakın istasyon olarak alınan ANA03 istasyonu kullanılarak diğer istasyonlar için hesaplanan Q -Faktör değerleri deprem haritasında ekil 7b'de görülmektedir. Bu haritaya göre Eskişehir Baseninin güney sınırları boyunca doğu-batı yönlü uzanan sağlam kaya zemine doğru Q -Faktörü değerlerinin artması bölgenin jeolojik yapısıyla olan uyumlu olduğu gözlenmiştir. Basen içindeki düşük Q -Faktör değerlerinin ise bu alandaki büyütmelerin nedenini açıkça ortaya koyduğu görülmüştür.



ekil 7. M=4.3, 17.01.2015 Eskişehir Depremi PGA ve Q-Faktör değerleri dağılım haritası

KAYNAKLAR

- Açıklan, S., Ocakolu, F., 2005. 20 Şubat 1956 Eskişehir Depremi Hangi Faydan Kaynaklandı Olabilir? In: Eskişehir Fay Zonu ve Yerel Sistemlerin Depremselliği Çalışmaları
- AFAD, 1996. Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası
- Altunel, E., Barka, A., 1998. Eskişehir fay zonunun önü-Sultandere arasında neotektonik aktivitesi. *Geological Bulletin of Turkey*, 41(2): 41-52
- Bildirici, İ. Ö., Üstün, A., Uluoğuz, N., et al., 2008. Obtaining of Digital Elevation Model For Turkey in 3"x3" Resolution Using SRTM Dataset Supported with Local Elevation Data. (106Y130): 54
- Borcherdt, R. D., 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60(1): 29-61
- Ergin, M., Özalaybey, S., Aktar, M., et al., 2004. Site amplification at Avcılar, İstanbul. *Tectonophysics*, 391(1): 335-346
- Esen, E., Yakal, M., Gökçen, M., et al., 1976. Eskişehir ve önü Ovaları Hidrojeoloji Haritası.
- Field, E. H., Jacob, K., 1993. The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise. *Geophys. Res. Lett.*(20-24): 2925-2928
- Gök, E., 2011. Investigation Of Earthquake Hazard And Seismic Site Characteristic In The Examples Of Bursa And Izmir. Doktora Tezi, DEÜ. *Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 130s*
- Gözler, M. Z., Cevher, F., Küçükyaman, A., 1985. Eskişehir ve Civarının Jeolojisi ve Sıcak Su Kaynakları.
- Gözler, M. Z., Cevher, F., Ergül, E., et al., 1996. Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi. (9973): 49
- Yılmaz, R., Haşim, M. E., 2012. Zemin büyütmesi ve yerel koşulların spektral ivmeye etkisi. *TÜDERG S /d*, 10(4)
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30(2): 109-185
- Ocakolu, F., Altunel, E., Yalçın, Ç., 2005. Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimentolojik gelişimi. *Final Raporu*: 122
- Ocakolu, F., Açıklan, S., 2010. Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskişehir earthquake in the NW Anatolia. *Journal of earth system science*, 119(6): 841-851
- Öcal, N., 1959. 20 Şubat 1956 Eskişehir Zلزeli'nin Makro ve Mikrosismik Etüdü. (9): 45
- Ölmez, E., Yücel, B., 1985. Eskişehir ve Yöresinin Jeotermal Enerji Olanakları.
- Ölmez, E., Demirel, Z., Uzel, Ö. F., 1986. ESKİŞEHİR ES-1 ve ES-2 SICAKSU SONDAJLARI KUYU BİTİRME RAPORU. (8142)
- Ricker, N., 1940. The form and nature of seismic waves and the structure of seismograms. *Geophysics*, 5(4): 348-366
- Sarıöz, K., Oruç, N., 1989. Eskişehir Yöresi'nin Jeolojisi ve Jeotermal Özellikleri. *Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, C.V, S.2: 59-81
- Yalcinkaya, E., Alptekin, O., 2005. Site effect and its relationship to the intensity and damage observed in the June 27, 1998 Adana-Ceyhan earthquake. *pure and applied geophysics*, 162(5): 913-930
- Yıldırım, A., Gürsoy, T., 1985. Eskişehir İl Merkezi ve Yakın Çevresi Detay Jeotermal Gravite Etüdü. 18
- Yücel, B., 1986. Eskişehir Sıcaksu Sondajı (ES-3) Kuyu Bitirme Raporu.