



## Güney Ege Bölgesi'nde yapay ve doğal kaynaklı titreşimlerin ayırtılması

### *Discrimination of artificial and natural sourced vibrations in the southern Aegean Region*

**Fadime SERTCELİK, Oral BAŞER**

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ

Geliş (received) : 27 Nisan (April) 2010

Kabul (accepted) : 03 Kasım (November) 2010

#### ÖZ

Güney Ege Bölgesi'nde, Muğla-Aydın arasında kalan kesimde, oluşan sismik olayların kaynak tipinin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada; Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM) tarafından kurulan Bodrum (BODT), Dalyan (DALT), Datça (DAT), Milas (MLSB) ve Yerkesik (YER) geniş bant istasyonlarına ait 148 adet sismik olaya ait veri kullanılmıştır. 37.22°-37.50° K enlem ve 26.70°-28.40° D boylamları arasındaki sismik olayların büyüklüğü  $2 \leq M_d \leq 3$  ve oluş zamanları 08:00-17:00 (GMT) aralığındadır. Çalışmada sismogramlar zaman ve frekans ortamı yöntemleri ile (S/P genlik oranı - S genliği değişimi ile güç-spektral genlik değişimi) analiz edilmiştir. Depremleri patlatmalardan ayırmak için ise, Doğrusal Ayrım Fonksiyon Analizi kullanılmıştır. Yapılan ayırım analizi sonucunda toplam 148 adet sismik olayın 31 tanesi deprem, 117 tanesi patlatma olarak belirlenmiştir. Zaman ve frekans ortamında uygulanan yöntemlerin sonuçları karşılaştırıldığında % 84 oranında tutarlılık görülmüştür. Deprem ve patlatma kayıtlarını ayırt etmek için, farklı iki ya da daha fazla yöntemin ardarda uygulanmasının, elde edilen sonuçların güvenilirliğini arttırdığı saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, doğrusal ayırım fonksiyonu analizi, maden ve taş ocağı patlatmaları, P-S dalga genlikleri.

#### ABSTRACT

In this study, 148 seismic events recorded by Bodrum (BODT), Dalyan (DALT), Datça (DAT), Milas (MLSB) and Yerkesik (YER) broad-band stations of Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI), National Earthquake Monitoring Center (NEMC) are used to identify the source type of seismic events occurred between Muğla and Aydın in the Southern Aegean Region. Epicenters and magnitudes of these events are in 37.22°-37.50° N and 26.70°-28.40° E and  $2 \leq M_d \leq 3$ . Origin times of the events are between 08:00-17:00 (GMT). In this study, time and frequency-domain analysis (variation of S/P waves ratio- S wave amplitude and variation of power- spectral ratio), were applied to seismograms. Linear discrimination function analysis was used to discriminate earthquakes from blasts. As a result of discrimination analysis of 148 seismic events, 31 of events were determined as earthquakes and 117 of events were determined as quarry blasts. When the results of time and frequency-domain analysis were compared %84 similarity on the results was determined. It is supposed that applying more than two methods in succession increases the success rate of discrimination of earthquakes from blasts.

**Key words:** Earthquake, linear discrimination function analysis, mine and quarry blasts, P- S waves amplitudes.

## GİRİŞ

Magnitüdü (büyüklük) düşük olan depremler ile insanlar tarafından belirli amaçlar doğrultusunda yapılan patlatmalar, deprem kataloglarında ayıklanmadan kullanılırsa, bir bölgenin sismik aktivitesinin yanlış değerlendirilmesine yol açabilir. Bir bölgenin sismik risk analizlerinin ve aktif tektoniğinin doğru olarak değerlendirilebilmesi için deprem kataloglarından patlatmalar ayıklanmalıdır (Kafka, 1990; Kim, 1994; Koch, 2002; Ringdal, 1985; Wüster, 1993; Stevens ve Day, 1985; Bonner vd., 2003).

Yıllar içinde sismik olayları tanımlama yöntemleri, kaydedilen verilerin duyarlılığındaki artışa paralel olarak gelişmektedir. Depremler ve patlatmaların ayırt edilmesiyle ilgili farklı yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Su vd. (1991), sismik dalga kodalarının analiz edilmesine dayanan bir patlatma-deprem ayırımı yöntemi üzerine çalışmışlardır. Güney Mojave Çölü (ABD)'nü çevreleyen alandaki 58 deprem ve 48 patlatma bu yöntemin ayırımı gücünü test etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda;  $Q_c^{-1}$  koda azalım oranının, 30 s civarındaki kayma zamanı için düşük frekanslarda (1.5-3 Hz) maden patlatmaları için depremlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç, maden patlatmalarının kaynak derinliğinin sığlığına bağlı olarak ürettikleri yüzey dalgası etkisinin kayıtlar üzerinde baskın olmasına dayandırılmıştır. Horasan vd. (2009), İstanbul ve civarındaki deprem ve taş ocağı patlatmalarının analizinde zaman ve frekans ortamı analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada, zaman ortamında uygulanan yöntemlerin deprem ile patlatmalar arasında çok iyi ayırımı sağladığı görülmüştür. Zhou vd. (2006), depremlerin patlatmalardan ayrılabilmesi için tasarlanmış özel teknikler uygulayarak, bölgesel taş ocağı patlatmalarından elde edilen yüksek frekanslı cisim dalgası büyüklüğü ( $m_p$ ) ve orta periyot yüzey dalgası büyüklüğünü ( $M_s$ ) sismik olayların ayırımı için kullanmışlardır. Kim vd. (1993), deprem ve yapay patlatmaların spektral özelliklerini elde etmek için üç boyutlu spektrogramlar (frekans, zaman ve genlik) kullanmışlardır. Bu spektrogramlar, yerel ve bölgesel uzaklıklar için gözlemlenen tüm sismik dalga formlarını içine alan,

frekans çalışmaları için iyi bir araç olmuştur. FFT (Fast Fourier Transform) kullanılarak logaritmik ortalama spektral genliğini 7 frekans bandı üzerinde hesaplanmıştır (0.5-3, 2-4, 3-5, 4-6, 5-7, 6-8, 8-10 Hz). Depremlerle patlatmalar arasındaki en iyi ayırımı 6-8 Hz arasında yapmıştır. Kore Yarımadası'nda depremler ve patlatmalar arasındaki ilk ayırımı çalışması, Kim vd. (1998) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada depremler, yeraltı patlatmalarından sismik dalgaların karakteristik özelliklerini kullanarak ayrılmış ve sismik sinyallerin ışın yolundan çok kaynak mekanizmasından (çift kuvvet depremler ve tek kuvvet patlatmalar) etkilendiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada, 2008 yılında meydana gelmiş BÜ, KRDAE, UDİM'ne ait geniş band Bodrum (BODT), Milas (MLSB), Yerkesik (YER), Dalyan (DALT) ve Datça (DAT) istasyonlarında kaydedilmiş 148 adet sismik olayın kaynağının belirlenmesinde zaman ve frekans ortamı yöntemleri kullanılmış ve incelenen sismik olaylardan 31 tanesinin deprem, 117 tanesinin patlatma olduğu doğrusal ayırımı fonksiyon analizi yöntemi ile saptanmıştır.

## YÖNTEM

Bu çalışmada, biri zaman diğeri frekans ortamında uygulanan iki yöntem kullanılmıştır. Zaman ortamında uygulanan yöntemde, düşey bileşen kayıtlarında en büyük S/P dalgası genlik oranları ile en büyük S- dalgası genliklerinin logaritmaları arasındaki doğrusal ilişki (S/P-logS) kullanılmıştır (Wüster, 1993; Baumgardt ve Young, 1990). Aynı büyüklüklü depremlerle karşılaştırıldığında, patlatmalarda S-dalgası enerjisinden daha fazla P dalgası enerjisi ortaya çıktığı gözlenmektedir (Horasan vd., 2009).

Frekans ortamında uygulanan yöntemde ise, sinyalin iki zaman penceresindeki (P- dalgası varış zamanı -2 s, 2-4 s) güçlerinin oranları (Complexity, C) ile düşey bileşen hız sismogramlarının spektrumlarının düşük (1-5 Hz) ve yüksek frekanslı (5-10 Hz) kısımlarının spektral oranları (Sr) arasındaki doğrusal ilişki (C-Sr) kullanılmıştır (Arai ve Yosida, 2004; Gitterman ve Shapira, 1993). C ve Sr aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C = \frac{\int_{t_1}^{t_2} s^2(t) dt}{\int_{t_0}^{t_1} s^2(t) dt} \quad (1)$$

$$Sr = \frac{\int_{h_1}^{h_2} a(f) df}{\int_{l_1}^{l_2} a(f) df} \quad (2)$$

Bu bağıntılarda  $s(t)$  sinyali,  $a(f)$  ise spektral genliği göstermektedir. Sismogramların genlik spektrumunun hesaplanması için FFT kullanılmıştır. C integralinin limitleri, aynı büyüklüklü deprem ve patlatmaların her ikisi için de en uygun C değerlerini elde etmek için deneme-yenilme yöntemiyle belirlenir. Örneğin; patlatmaların ve depremlerin C değerleri,  $t_0=0$  s,  $t_1=2$  s,  $t_2=4$  s olarak seçilen zaman penceresinde 0.59 ve 11'dir. Seçilen zaman penceresi uzunluğu arttıkça, patlatmaların C değerleri artar ( $t_0=0$  s,  $t_1=2$  s,  $t_2=4$  s için  $C=0.59$  ve  $t_0=0$  s,  $t_1=2$  s,  $t_2=5$  s için  $C=0.62$ ). Bu nedenle, depremlerin patlatmalardan ayrılmasına uygun olan ideal zaman penceresi uzunluğu, hesaplanan C değerine bağlı olarak seçilmelidir. Sr için spektral genliklerin hesaplanmasında kullanılan integral limitleri ( $h_1, h_2, l_1, l_2$ ) depremlerle patlatmaların spektrumları karşılaştırılarak belirlenir.

## ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ VE TEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Muğla'da, farklı jeolojik dönemlere ait oluşumlara rastlanır (Şekil 1). İldeki Prekambriyen serileri, Yatağan ve Milas ilçelerinin kuzeyindeki dağlık kesimden başlayıp, kuzeye doğru geniş alanlarla yayılan gnays, mikaşist, ince taneli şist ve kuvarsit gibi kaya türleridir. Bu yapı, daha ileride kuzeybatıdan-güneydoğuya doğru uzanmaktadır. Muğla'nın doğusundaki dağlık kesimin temelini oluşturan gre, konglomera ve bitki fosilli kalkerler ile Göktepe'deki Permien'e ait

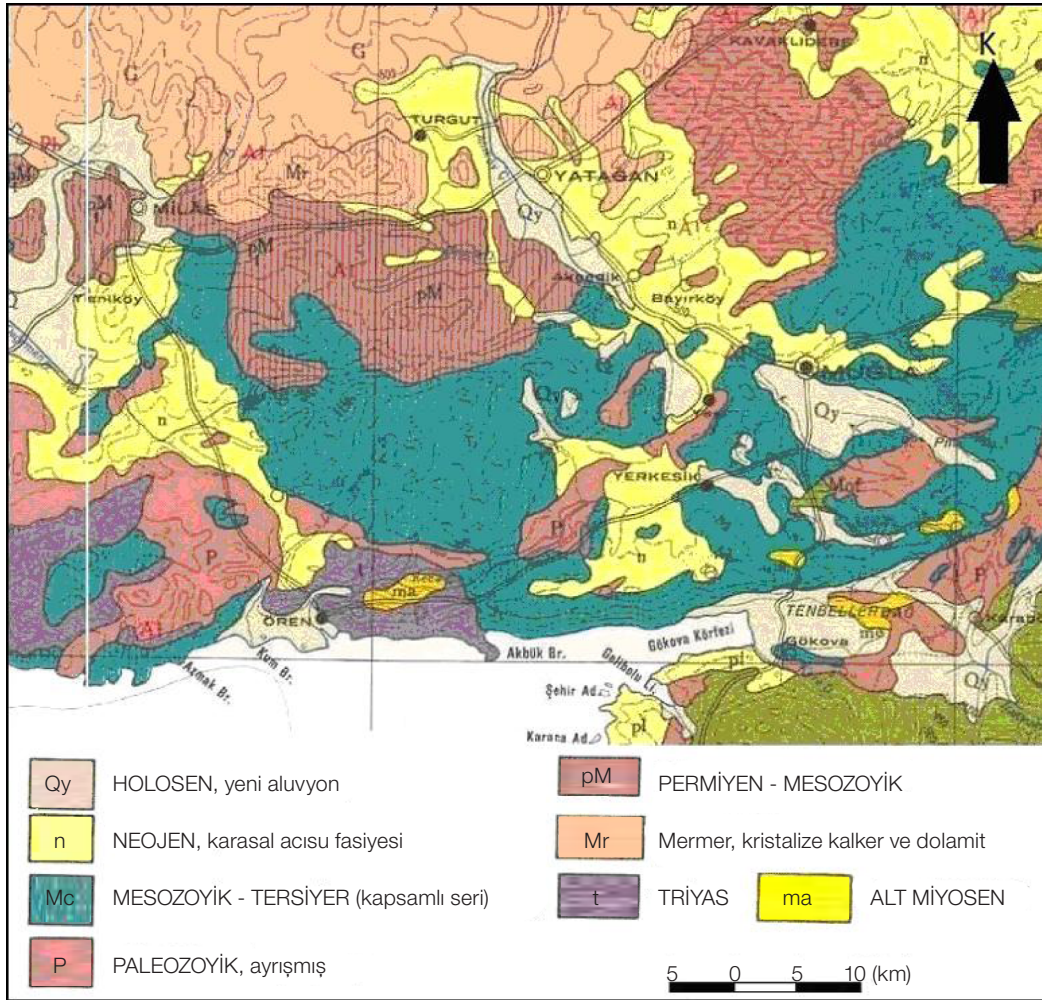
tabakalar altında yer alan koyu renkli mikaşistler ise ilk zaman oluşumlarıdır. Batı Anadolu'da geniş bir yayılım gösteren "Menderes Masifi" ve çevresindeki kaya birimleri yüzeylenmektedir. Çalışma alanında Menderes Masifi'nin birbiriyle uyumsuz bir ilişkiye sahip üç grubunun kayaçları ve bunların üzerindeki Neojen örtü ve Kuaterner yaşlı alüvyonlar, bunlara ek olarak batı kesimde yüzeylenen Dilek yarımadası-Selçuk-Tire zonu bulunmaktadır (Şenyürek, 2004).

Bölgede belli başlı üç adet fay zonu vardır. Bunlar Karaova-Milas, Muğla-Yatağan ve Ula-Ören fay zonlarıdır (Şekil 2). Karaova-Milas fay zonu, Karaova ve Milas arasında yüzeylenen metamorfik kayaçlarda izlenebilen KB-GD doğrultulu birbirine paralel fay takımlarından oluşmaktadır. Yaklaşık 20 km genişlikte olan fay zonu, morfolojiyi denetlemesi nedeniyle olası diri fay olarak kabul edilmiştir. Ula-Ören fay zonu, Muğla'nın doğusunda Muğla-Yatağan fay zonundan dar bir açı yapacak şekilde ayrılarak B-GB doğrultusunda uzanır. Bu fay zonunun karadaki toplam uzunluğu 60 km civarında olup, Ören'in batısında denize girerek İstanköy Adası'nın güneyini izleyerek batıya doğru devam etmektedir. Bu fay zonu, K74D 77GD yönelime sahip olup, listrik normal fay karakteri taşımaktadır. Bu faylanma sonucu güney blok kuzeyine göre 500 m civarında aşağıya doğru kaymıştır (<http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Deprem/Raporlar.aspx>).

Bu alanda birçok maden ve taş ocağı da bulunmaktadır. Bir kısmı TKİ- Güney Ege Linyit İşletmeleri (GELİ)'ne ait olan kömür ocaklarının yanı sıra, bir kısmı ise irili ufaklı taş, kömür ve mermer ocakları da bulunmaktadır (Şekil 3) ([www.geli.gov.tr](http://www.geli.gov.tr)).

## VERİLERİN ÖZELLİKLERİ

Güney Ege Bölgesi'nde, Muğla-Aydın arasında kalan alandaki deprem ve patlatmaların ayırt edilmesinin amaçlandığı bu çalışmada; BÜ, KRDAE, UDİM tarafından kurulan Bodrum (BODT), Dalyan (DALT), Datça (DAT), Milas (MLSB) ve Yerkesik (YER) geniş bant istasyonlarına ait 2008 yılında gerçekleşen 148 adet sismik olay verisi kullanılmıştır (<http://www.koeri.boun.edu.tr>). İstasyonlar hakkında ayrıntılı bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. 37.22°-37.50° K

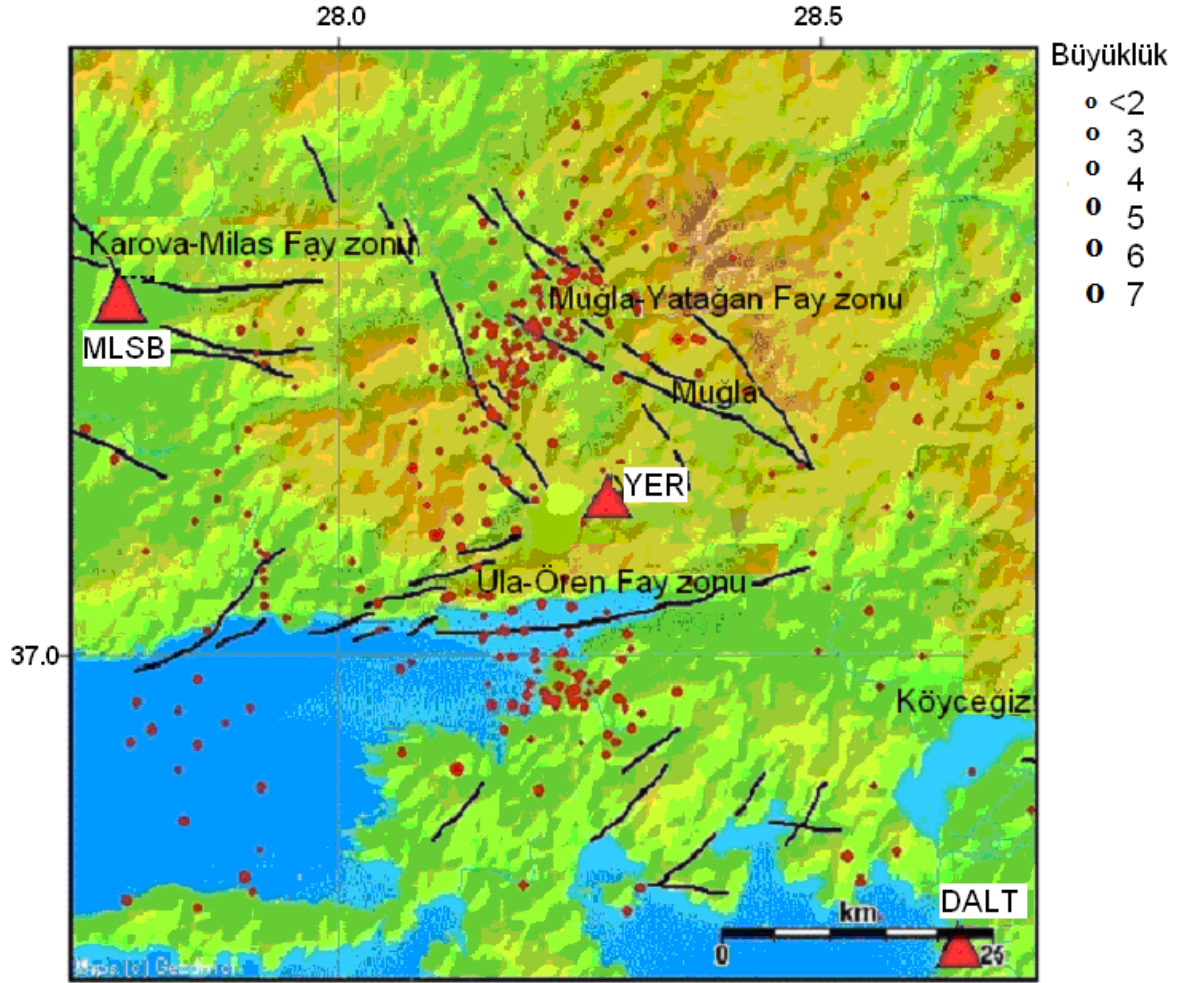


Şekil 1. Çalışma alanının (Muğla-Aydın) jeolojik haritası (<http://www.mta.gov.tr>).  
Figure 1. Geological map of the study area (Muğla-Aydın) (<http://www.mta.gov.tr>)

enlem ve  $26.70^{\circ}$ - $28.40^{\circ}$  D boylamları arasında meydana gelen sismik olayların merkez üstü koordinatları ve büyüklükleri Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından belirlenmiştir. Maden çıkarmak amaçlı yapılan patlatmaların enerjileri küçük olduğundan, çalışma  $2 \leq M_d \leq 3$  aralığında olan sismik olayları kapsamaktadır. Sismik olayların, istasyonların ve bölgedeki taş ocaklarının dağılımı Şekil 3'de görülmektedir.

### VERİLERİN SEÇİLMESİ VE İŞLENMESİ

Bu çalışmada kullanılan verilerin seçilme işlemi birkaç aşamada yapılmıştır. Öncelikle deprem ve patlatmaların ayırt edilmesi çalışmanın temel amacı olduğundan, çalışma alanı ile maden ve taş ocaklarının faal olduğu ve tektonik yönden aktif olan bir bölge olması gerekmektedir. Aynı zamanda bölgede yeterli sayıda deprem kayıt istasyonu olmalıdır. Türkiye maden yatakları haritası ([www.mta.gov.tr](http://www.mta.gov.tr)) üzerinde yapılan inceleme sonucunda bu tür bir çalışmanın



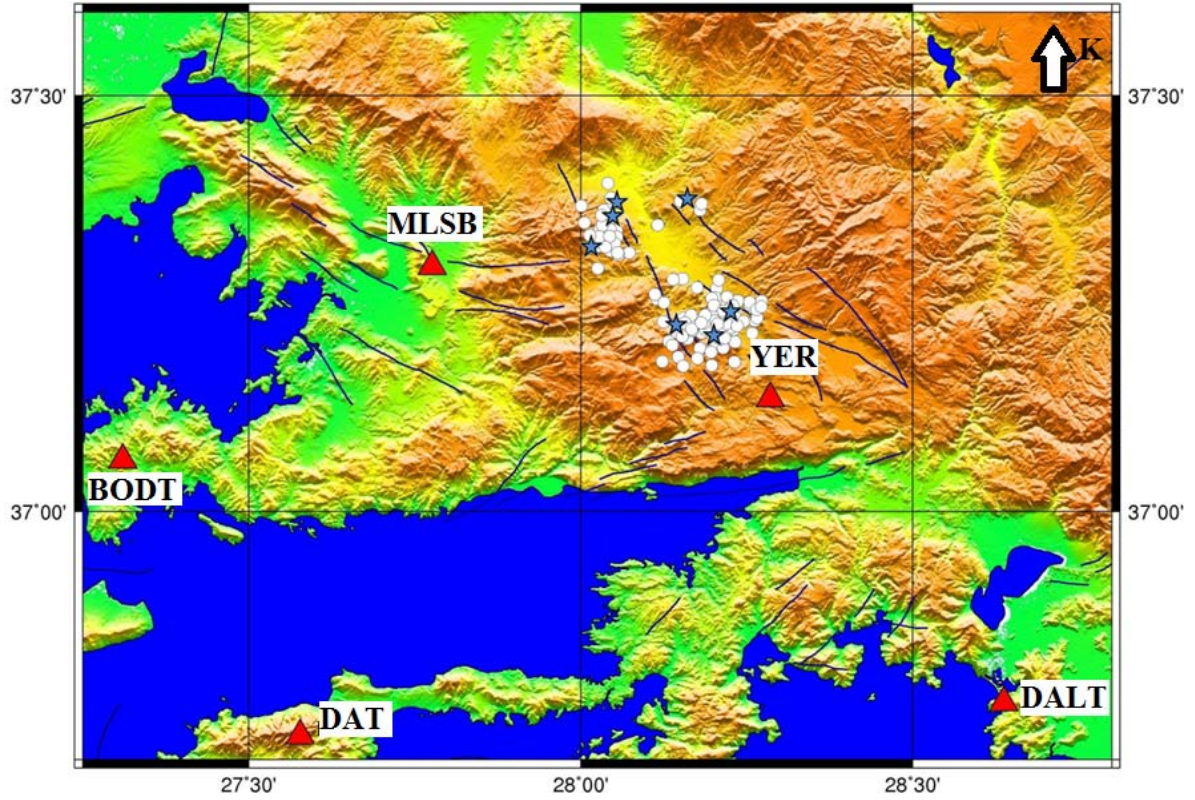
Şekil 2. Çalışma alanındaki faylar (kalın çizgiler), istasyonlar (üçgenler) ve 2009 yılında meydana gelen içerisindeki sismik olaylara ait lokasyonlar (daireler) (<http://www.koeri.boun.edu.tr>).

Figure 2. Faults (dark lines), stations (triangles) and seismic events (circles) occurred in 2009 in the study area (<http://koeri.boun.edu.tr>).

yapılabilmesi için istasyon sayısı ve depremsellik açısından Güney Ege Bölgesi'nin uygun olduğu saptanmıştır. Bölge maden taş ocakları açısından oldukça zengindir. Sonuç olarak Güney Ege Bölgesi (Muğla-Aydın illeri arası) çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bölgedeki maden ve taş ocaklarındaki uygulamalar göz önüne alındığında, seçilecek sismik olayların büyüklüğü  $2 \leq M_d \leq 3$  olarak belirlenmiştir. Sismik olayların yıllara göre dağılımına da bakılmıştır. Şekil 4'de görüldüğü gibi, sismik aktivitenin en yoğun olduğu 2008 yılı, istasyon kuruluş zamanlarına da bakıldığında (Çizelge 1), seçilmesi en uygun olan zaman aralığı olarak görülmüştür.

2005, 2006 ve 2007 yıllarında yaklaşık 100 sismik olay kaydedilmişken, bu sayı 2008 yılı için 200'den fazladır.

Eldeki verilerin gün içerisinde zamana göre dağılımı Şekil 5'de verilmiştir. Sismik olayların dağılımı incelendiğinde, saat 08:00 ile 17:00 arasındaki yoğunluk göze çarpmaktadır. Veriler seçilirken bu zaman dilimi göz önünde bulundurulmuş ve 182 adet olay belirlenmiştir. Bu 182 sismik olayın sayısal verileri BÜ, KRDAE, UDİM web sitesinden sağlanmış ve 34 adet verinin kayıtları gürültülü olduğu için, bu veriler dikkate alınmamıştır. Sonuç olarak;  $37.22^{\circ}$ - $37.50^{\circ}$  K enlem ve  $26.70^{\circ}$ - $28.40^{\circ}$  D boylamları arasında



Şekil 3. Çalışmada incelenen sismik olayları (daireler), istasyonları (üçgenler) ve taş ve maden ocaklarını (yıldızlar) gösteren harita (GMT; Wessel ve Smith, 1998) (Topoğrafya sayısal bilgileri <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>’den alınmıştır).

Figure 3. Map showing the locations of investigated seismic events (circles), stations (triangles) and the mines and quarries (stars) in the study (GMT; Wessel and Smith, 1998) (Digital information topography was taken by <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>).

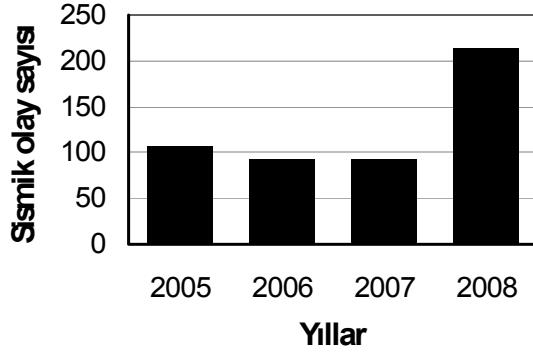
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan istasyonlar hakkında genel bilgiler.

Table 1. General information about the stations used in the study.

İstasyon	Enlem (°K)	Boylam (°D)	İstasyon tipi	Cihaz modeli	Çalışmaya başladığı yıl
BODT(Bodrum)	37.0622	27.3103	Geniş-band	CMG 3ESPD	2005
DALT(Dalyan)	36.7692	28.6372	Geniş -band	CMG-3TD	2004
DAT(Datça)	36.7290	27.5778	Geniş -band	CMG-3ESPD	2005
MLSB(Milas)	37.2953	27.7765	Geniş -band	CMG-40TD	1998
YER(Yerkesik)	37.1362	28.2858	Geniş -band	CMG-3TD	2006

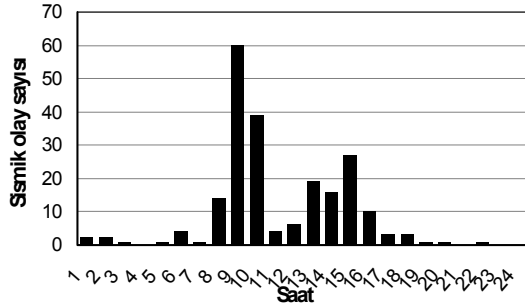
kalan bölgede, 2008 yılında ve 8:00-17:00 (GMT) saatleri arasında meydana gelen 148 sismik olay üzerinde çalışılmasına karar verilmiştir. Bu sismik olayların her birine ait beş istasyon kaydı (BODT, DALT, DAT, MLSB, YER) veri tabanına kaydedilmiştir. Çalışma esnasında 304

adet düşey bileşen kaydı incelenmiştir (Şekil 6). Bu kayıtlara band geçişli 1-15 Hz frekans aralığında filtre uygulanarak, ayırım analizine uygun hale getirilmiştir.



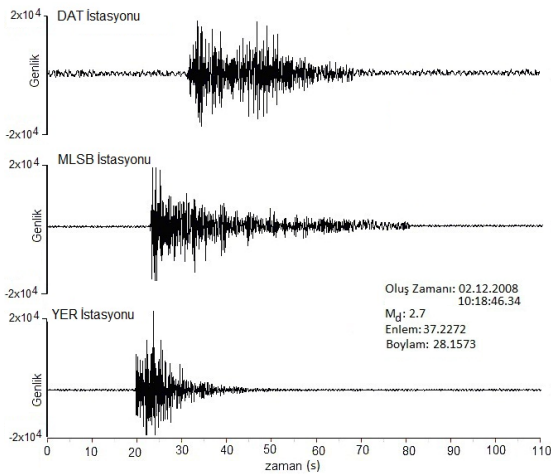
Şekil 4. Çalışılan bölgedeki sismik olayların 2005-2008 yılları arasındaki dağılımı.

Figure 4. The distribution of the seismic events between 2005 and 2008 in the study area.



Şekil 5. Sismik olayların gün içerisinde saatlik dağılımı (2008).

Figure 5. Distribution of the seismic events by time of day in the study area (2008).



Şekil 6. Çalışmada kullanılan deprem kayıtlarından bir örnek.

Figure 6. An example from the seismograms used in the study.

### S/P – LogS Ayrımı

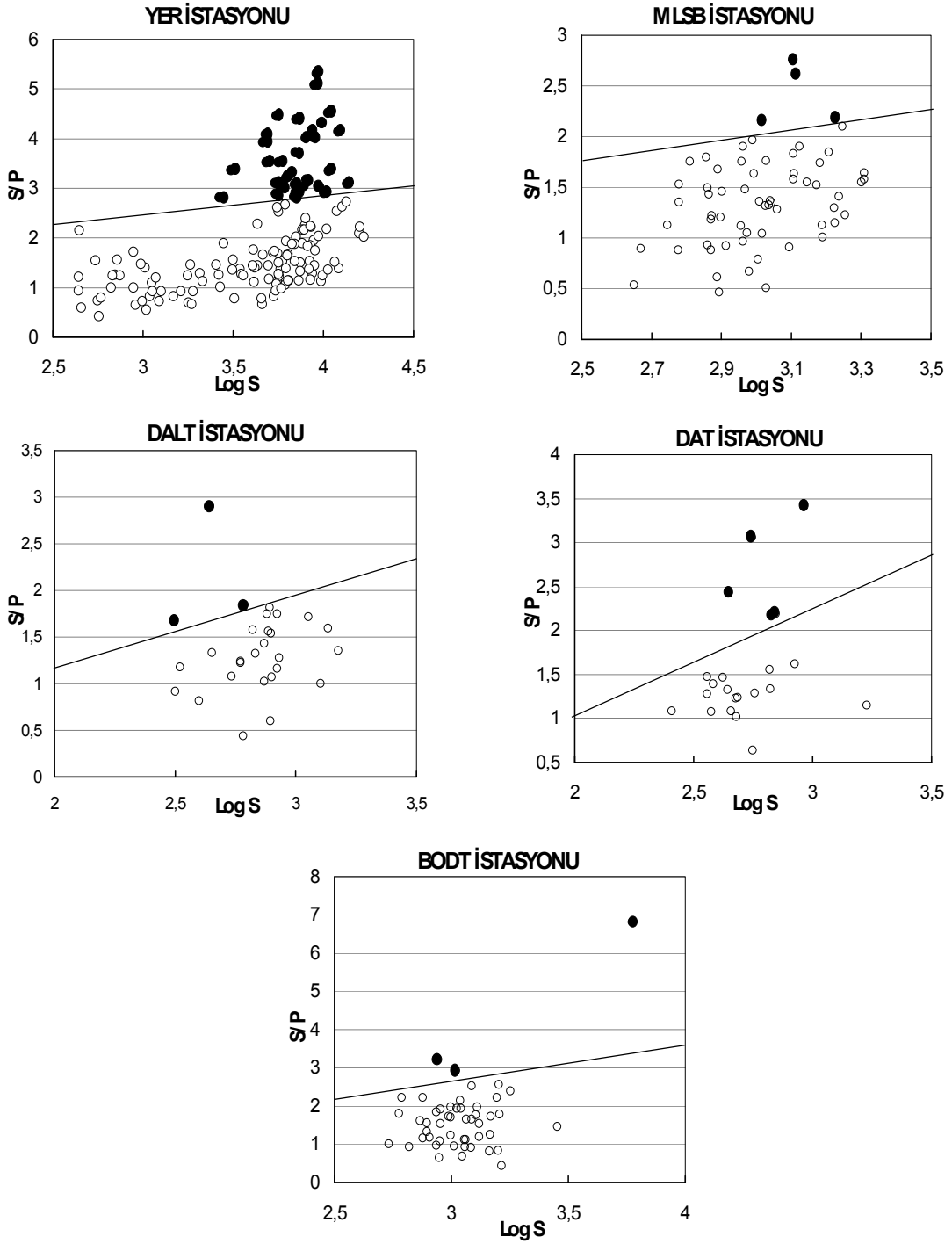
BODT, DALT, DAT, MLSB ve YER istasyonlarında kaydedilen 148 sismik olayın düşey bileşen kayıtlarının (304 kayıt) P- ve S- dalgaları en büyük genlikleri okunmuştur. En büyük S- dalga genliklerinin, en büyük P- dalga genliklerine oranları (S/P) ve en büyük S- dalga genliklerinin logaritmaları (log S) hesaplanmıştır.

Depremlerin patlatmalardan ayırt edilmesi için doğrusal ayırım fonksiyonu analizi (Linear Discrimination Function, LDF) uygulanmıştır (Fisher, 1936). Doğrusal ayırım fonksiyonu analizi için SPSS istatistik paketi kullanılmıştır (SPSS, 2005). İşlemlere, iki gruptan ayırım unsurlarının seçilmesiyle başlanmıştır. Ayırım işlemi, gruplar arasındaki farkları en iyi şekilde karakterize eden sayısal değişkenlerin lineer bir kombinasyonunu tanımlamak için kullanılmıştır. Değişkenlerin doğrusal kombinasyonu (ayırım fonksiyonu) katsayılarla çarpılan değişkenlerin toplamı olup, ayırım işlemi katsayılarını hesaplar ve sonuç fonksiyonu yeni grupları sınıflandırmak için kullanılır.

Şekil 7'de çalışma alanında meydana gelen sismik olayların hız sismogramlarının düşey bileşen kayıtları için zaman ortamındaki S/P-logS ilişkisi görülmektedir. Çalışma, 148 sismik olayın 5 farklı istasyondaki düşey bileşen kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BODT, DALT, DAT, MLSB ve YER istasyonlarında incelenen sismik olayların sırasıyla, %94, 89, 77, 94 ve 79'unun patlatma olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). İstasyon bazında deprem ve patlatma ayırımı yapıldıktan sonra deprem olarak belirlenen kayıtların tutarlılığı karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda toplam 148 adet sismik olayın 31 tanesi deprem, 117 tanesi patlatma olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, yöntemin depremler ve patlatmalar arasında çok iyi ayırım sağladığını ortaya koymuştur. Şekil 8'de, çalışmada deprem olduğu belirlenen kayıtlar ile patlatma olduğu belirlenen kayıtlara örnek verilmiştir.

### C-Sr Ayrımı (Karmaşıklık-Spektral Oran)

Bu ayırım yöntemini kullanabilmek için MATLAB yazılımındaki bir programdan yararlanılarak tüm verilerin karmaşıklık (C) ve spektral oran



Şekil 7. YER, MLSB, DAT, DALT ve BODT istasyonlarında kaydedilen sismik olayların S/P oranına karşın logS değişimi (daireler depremleri, eşkenar dörtgen patlatmaları göstermektedir).

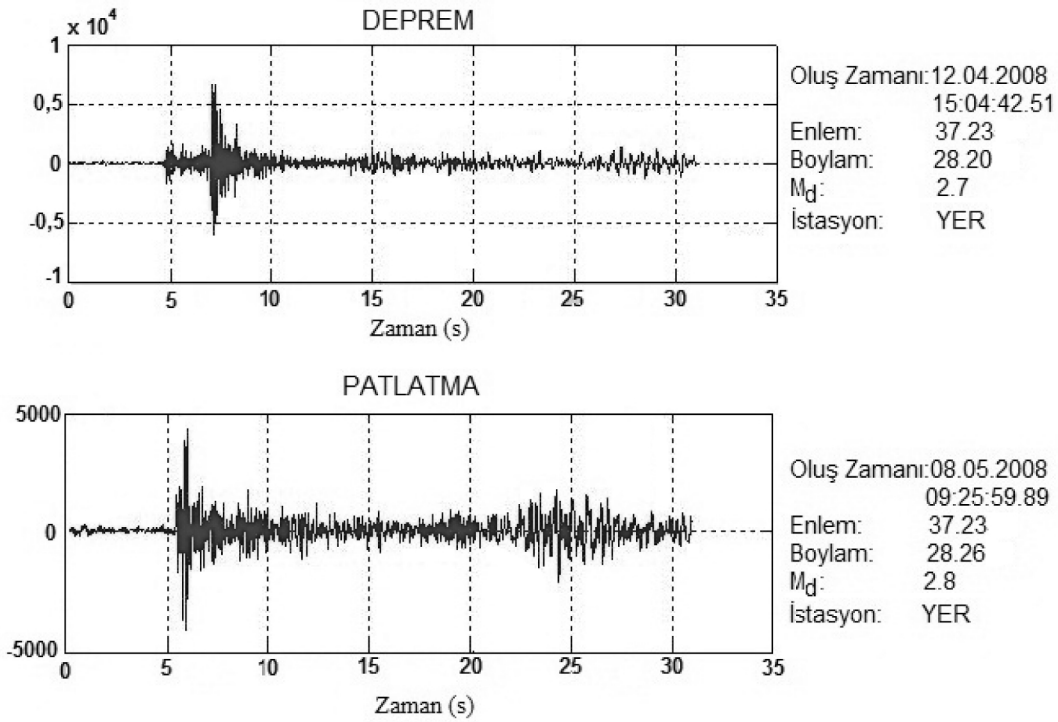
Figure 7. Variation of S/P-logS determined from the records of YER, MLSB, DALT, DAT and BODT stations (circles and diamonds show earthquakes and blasts, respectively).



Çizelge 2. İstasyonlara (BODT, DALT, DAT, MLSB ve YER) göre sismik olayların dağılımı.

Table 2. The distribution of the seismic events recorded at stations (BODT, DALT, DAT, MLSB and YER).

İstasyon	Deprem	Patlatma	Toplam
BODT	3	46	49
DALT	3	25	28
DAT	5	17	22
MLSB	4	58	62
YER	31	115	146

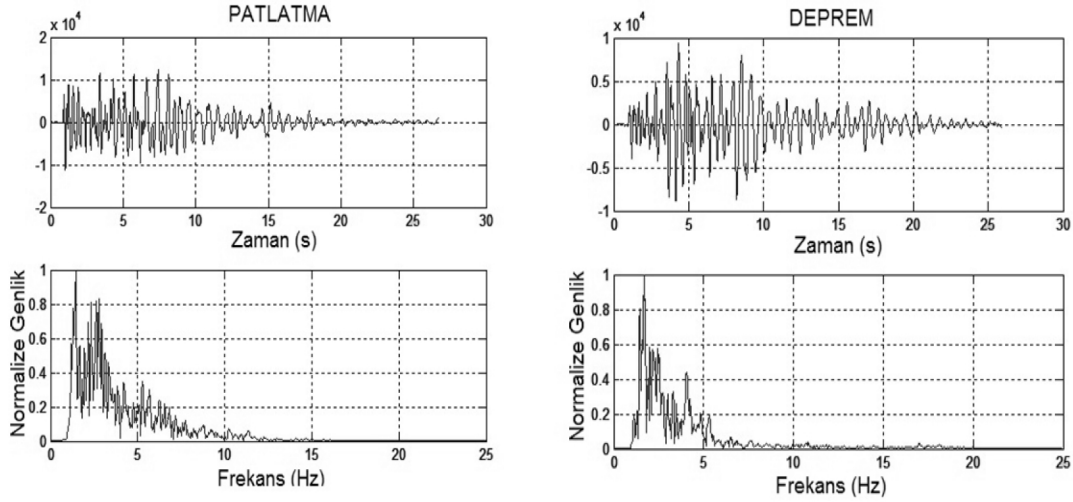


Şekil 8. Patlatma ve deprem kayıt örneği.  
Figure 8. An example for blast and earthquake records.

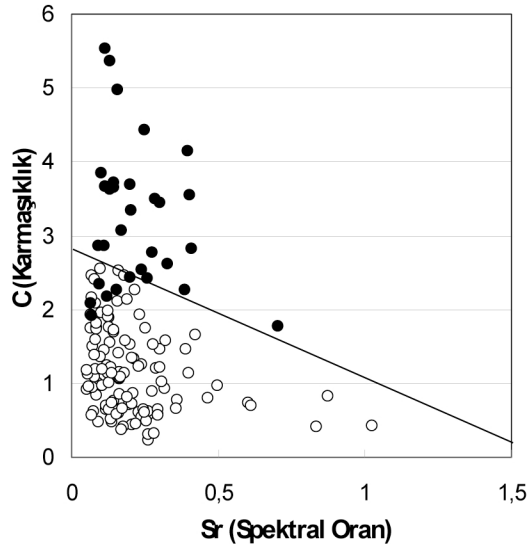
(Sr) katsayıları hesaplanmıştır (Eşitlik 1, 2). Yazılan bu programda çizdirilen sismik olayların genlik spektrumları Şekil 9'da verilmiştir. C ve Sr'nin hesaplanmasında kullanılan zaman pencereleri;  $t_1-t_2$ :2-4 s,  $t_0-t_1$ :P dalgası başlangıç zamanı-2 s ve frekans bantları;  $h_1-h_2$ :5-10 Hz,  $l_1-l_2$ :1-5 Hz'dir.

Elde edilen tüm katsayıların grafikleri çizildiğinde, zaman ortamı analiz yönteminde deprem olarak belirlenen 31 adet sismik olayın 26 tanesinin bu yöntemde de deprem olduğu ortaya

konulmuştur. Kalan 5 adet sismik olayın kayıtları tekrar incelenerek; ilk hareket yönlerine, dalga şekillerine ve frekans içeriklerine bakılmış ve deprem olarak kabul edilmiştir. Şekil 10'da, C-Sr ilişkisi görülmektedir. İlk uygulama sonucunda deprem olarak belirlenen olayların ikinci uygulama ile tutarlığı % 84 olarak belirlenmiştir. Şekil 11'de zaman ve frekans ortamı analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 9. Patlatma ve deprem kayıtlarının genlik spektrumları.  
Figure 9. Amplitude spectra of the seismic and blasting records.



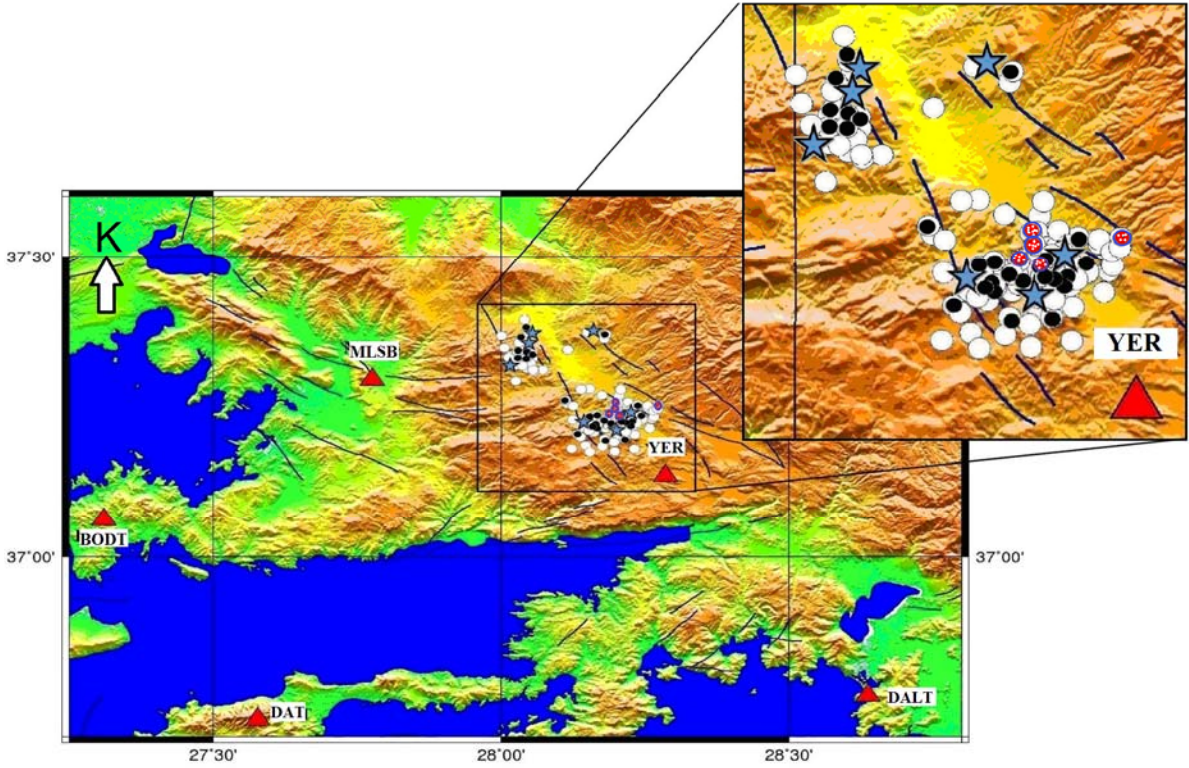
Şekil 10. C-Sr dağılımı (daireler depremleri, eşkenar dörtgenler ise patlatmaları göstermektedir).  
Figure 10. Distribution of complexity (C) versus spectral ratio of the records (SR) (circles and diamonds show earthquakes and blasts, respectively).

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, BÜ, KRDAE, UDİM'nin BODT, DALT, DAT, MLSB ve YER istasyonlarına ait veriler kullanılarak deprem ve patlatmalara ait sismogramlar birbirinden ayırt edilmiştir.

Çalışmada verilerin seçilmesinden sonra, S/P-logS ve C-Sr analizleri ile lineer ayırım fonksiyonu analizi kullanılarak, inceleme alanında gerçekleşen 148 adet sismik olayın kaynak tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı birçok maden ve taş ocağının bulunduğu, tektonik yönden de aktif bir bölgedir.

S/P-logS yönteminin sonucu olarak incelenen 148 adet sismik olayın 31 tanesi deprem, 117 tanesi patlatma olarak ayırtlanmıştır. Bu ayırtlamanın doğruluğunu pekiştirmek amacıyla verilere diğer bir ayırım yöntemi olan C-Sr uygulanmış ve bir önceki yöntemde saptanan 31 adet depremin 26 tanesinin bu yöntemde de deprem olarak belirlendiği ve sonuçlarda % 84 oranında tutarlılık sağlandığı saptanmıştır. Kalan 5 adet sismik olayın kayıtları tekrar incelenerek ilk hareket yönlerine, dalga şekillerine ve frekans içeriklerine bakılmış ve bunlarında deprem olduğu sonucuna varılmıştır. Depremlerle, patlatmaların ayırımı yapıldığı çalışmalar incelendiğinde, %80-90 sismik olayın kaynağının başarı ile belirlendiği, diğer kalan bölüm için tam bir sonuca varılamadığı görülmüştür. Musil ve Plesinger (1996) deprem fırtınası olarak tanımlanan olaylar arasından patlatmaları ayırdıkları çalışmalarında, %20 kaynağının kesinleşmediği sismik olaylara dikkat çekmişlerdir.



Şekil 11. Deprem ve patlatmaları gösteren harita (üçgenler deprem istasyonlarını, yıldızlar ocakları, beyaz daireler patlatmaları, siyah daireler depremleri, içi noktalı daireler ise kaynağı tanımlanamayan sismik olayların yerlerini göstermektedir).

Figure 11. The map showing the earthquakes and blasts (triangles, blue stars, white circles black circles and interior-point circles show seismic stations, quarries, earthquakes and unidentified seismic events, respectively).

Allmann vd. (2008) ise, Kaliforniya'da yaptıkları çalışmada S-P genlik oran yöntemini kullanmışlar ve sismik olayların %90'ı için kaynak tanımlamasını doğru belirlemişlerdir. Horasan vd. (2009)'nin çalışmasında ise, istasyonlara göre doğru sınıflandırma yüzdesi değişiklik göstermekle birlikte, ortalama tutarlılık %95'in üzerindedir. Yapılan bu çalışmada ise, yöntemler arası tutarlılık %84 olup, daha önceki çalışmaların sonuçlarıyla uyum içerisindedir. Bu nedenle, kaynak tipi ayrımı analizlerinde başarı oranını yükseltmek için birden fazla yöntemin ardarda uygulanması önerilmektedir. Uygulanan yöntem sayısının artması, verinin seçilmesinde ve işlenmesinde yapılan hataları da en aza indirecektir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan sismik olayların %78'inin deprem değil, patlatmalara ait sarsıntılar olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, herhangi bir sismik ağda kaydedilen sismik olayların deprem kataloglarına hatalı

geçmemesi için, deprem ve patlatma ayırma analizlerinin kesinlikle yapılması önerilmektedir. Patlatma yapan kurumların patlatma miktar, yer ve zaman bilgilerini düzenli olarak arşivleyip bildirmeleri de bilimsel içerikli çalışmalarda yanlışlıkların azalmasına önemli düzeyde katkı sağlayacaktır.

### KATKI BELİRTME

Yazarlar, sayısal verilerin alındığı Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü, Ulusal Deprem İzleme Merkezi'ne, katalog bilgilerinin alındığı Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı'na ve eserlerinden faydalanılan yazarlara teşekkürlerini sunarlar.

**KAYNAKLAR**

- Allmann, B.P., Shearer, P. M., and Hauksson, E., 2008. Spectral discrimination between quarry blasts and earthquakes in southern California. *Bulletin Seismological Society of America*, 98, 2073-2079.
- Arai, N., and Yosida, Y., 2004. Discrimination by short-period seismograms. *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute (IISEE). Lecture note, Global Course, Tsukuba, Japan*, p10.
- Baumgardt, D. R., and Young, G. B., 1990. Regional seismic waveform discriminates and case-based event identification using regional arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80, 1874-1892.
- Bonner, J. L., Harkrider, D. G., and Herrin, E. T., 2003. Evaluation of short-period, near-regional  $M_s$  scales for the Nevada test site. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93 (4), 1773-1791.
- Fisher, R.A., 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics*, 7, 179-188.
- Gitterman, Y., and Shapira, A., 1993. Spectral discrimination of underwater explosions. *Israel Journal Earth Science*, 42, 37-44.
- Horasan, G., Güney, B. A., Küsmezer, A., Bekler, F., and Ögütçü, Z., 2009. Contamination of seismicity catalogs by quarry blast: An example from İstanbul and its vicinity, Northwestern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 90-99.
- Kafka, A. L., 1990.  $R_g$  as a depth discrimination for earthquakes and explosions: A case study in New England. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (2), 373-394.
- Kim, S. G., 1994. Discrimination of underground explosions from micro earthquakes through the pure-continental path. *Journal of Engineering Geology*, 4, 29-42.
- Kim, S. G., Park, Y. C., and Kim, W. Y., 1998. Discrimination of small earthquakes and artificial explosions in the Korean Peninsula using  $P_g/L_g$  ratios. *Geophysical Journal International*, 134, 267-276.
- Kim, W. Y., Sipmson, D. W., and Richards, P. G., 1993. Discrimination of earthquakes and explosions in the Eastern United States using regional high-frequency data. *Geophysical Research Letters*, 20 (14), 1507-1510.
- Koch, K., 2002. Seismic event identification of earthquake and explosions in Germany using spectral  $L_g$  ratios. *Pure and Applied Geophysics*, 159, 759-778.
- Musil, M., and Plesinger, A., 1996. Discrimination between local microearthquakes and quarry blast by multi-layer perceptrons and Kohonen maps. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86, 1077-1090.
- Ringdal, F., 1985. Seismological verification of comprehensive test ban treaty. *Workshop on Seismological Verification of a Comprehensive Test Ban Treaty, Oslo, Norway*.
- SPSS, 2005. *SPSS V.14.0 for Windows*. SPSS Inc. Chicago, USA.
- Stevens, J.L., and Day, S.M., 1985. The Physical basis of  $m_b:M_s$  and variable magnitude methods for earthquake/explosion discrimination. *Journal of Geophysical Research*, 90 (B4), 3009-3020.
- Su, F., Aki, K., and Biswas, N. N., 1991. Discriminating quarry blasts from earthquakes using Coda waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81 (1), 162-178.
- Şenyürek, B., 2004. Muğla ili çevre durum raporu (Jeolojik yapı ve stratigrafi bölümü). T.C. Muğla Valiliği Çevre ve Orman Müdürlüğü, s. 27-32.
- Wessel, P., and Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the generic mapping tools released, EOS. *Transactions - American Geophysical Union*, 79, 579.
- Wüster, J., 1993. Discrimination of chemical explosions and earthquakes in Central

Europe – A case study. Bulletin of the Seismological Society of America, 83 (4), 184-1212.

Zhou, R. M., Stump, B. W., and Hayward, C. T., 2006.  $M_s:m_b$  discrimination study of mining explosions in Wyoming, USA, and in QianAn, China. Bulletin of the Seismological Society of America, 96 (5), 1742-1752.

