

AKAIKE BİLGİ KRİTERİ YÖNTEMİ İLE P- VE S- DALGASI VARIŞ ZAMANLARININ KESTİRİMİ

AUTOMATIC PHASE PICKING USING AKAIKE INFORMATION CRITERIA (AIC)

Yalçın Öztürk ve Gonca Örgülü*

İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa-İstanbul

Yayına Geliş (Recieved): 31.05.2018, Yayına Kabul (Accepted): 17.07.2018

*Sorumlu yazar/Corresponding author: orgulu@itu.edu.tr

Öz

Bir gözlem evinde, sismik dalgaların varış zamanları okunarak, deprem odağının koordinatları ve oluş zamanı sismologlar tarafından saptanır. Sismologlar için rutin hale dönüşmüş bu veri işlem aşamaları, son yıllarda sayısal veri miktarındaki aşırı artış nedeniyle bu işlemin elle gözleme dayalı olarak yapılmasını zorlaştırmıştır. P- ve S-dalgalarının varış zamanlarının otomatik olarak belirlenebilmesi için dünya genelinde bir çok araştırmacı tarafından farklı yöntemlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu yöntemlerden birisi de Akaike Bilgi Kriteri (Akaike Information Criteria, AIC) olup, bu yöntem Batı Anadolu'da meydana gelen 3 deprem için test amaçlı olarak kullanılmıştır. Bu depremlerin P- ve S- dalgası varış zamanları AIC yöntemi ile tespit edilmiş, otomatik olarak elde edilen bu zamanların gözlemlenen varış zamanları ile karşılaştırmaları yapılarak, yöntemin güvenilirliği test edilmiştir. 104 deprem kaydının karşılaştırılması sonucunda, deprem kayıtlarının %85'lik bir kısmı için varış zamanları arasındaki farkın 0 ile ± 0.5 sn arasında dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Geri kalan deprem kayıtları için varış zamanı farkları 0.5 sn'den büyüktür. Varış zamanlarındaki daha büyük farkların nedeni AIC yönteminde P-dalgası varış zamanının yatay bileşenler üzerinden okunması ve deprem kaydının sinyal/gürültü oranı çok düşük ise P-dalgası varış zamanının belirlenmesinin zorlaşması ile ilişkilidir.

Anahtar Kelimeler: sismoloji, otomatik faz okuma, deprem ve yer tespiti

Abstract

In order to estimate source parameters (latitude, longitude, depth and origin time), arrival times of P- and S-waves have been identified/read on seismograms and then processed by a location algorithm. This algorithm requires preparation of an input file consisting of phase readings. Excessive increase in the amount of digital data in recent years has increased workload of seismologists. Thus, many researchers over the world have developed different methods based on automatic phase picking. One of these methods is the Akaike Information Criteria (AIC). Arrival times of P- and S-waves of three earthquakes in this study have been determined by this method and its reliability has been tested by comparing observed arrival times with automatically determined ones. As a result of this comparison consisting of 104 seismograms, 85% of time differences between automatic and manual readings is distributed between 0 and ± 0.5 sn. The reason of larger residuals in time differences is that automatic P-wave arrival times are also picked from horizontal components that are not usually used in manual phase readings of P-waves and determination of arrival times is difficult if the signal to noise ratio is very low in an earthquake record.

Keywords: seismology, automatic phase picking, earthquake and location

1. Giriş

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile sayısal veri toplama çalışmaları her geçen gün hız kazanmaktadır. Bu teknolojik gelişmelerden sismoloji dünyası da payını almış olup, eskiden tambur üzerine kayıt edilen analog veriler, günümüzde sayısal hale dönüştürülerek kaydedilmektedir. Deprem istasyonlarının sayısı zamana bağlı olarak hızla artmaktadır. Şu an için ülkemizde farklı bant genişliğine sahip istasyonlar işletilmektedir. Sadece geniş bantlı istasyonların sayısının 400 civarında olduğu tahmin edilmektedir, bu istasyonların 3 bileşen verisi olduğu düşünülürse, artan veri yükü nedeniyle sismologların iş yükünün artacağı açıkça görülmektedir.

Faz okumalarının otomatik olarak yapılabilmesi için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, sinyal ve gürültü karakteristiğinin birbirinden farklı olmasına dayanır. Uygulanan yöntemlerin genelinde sinyal iki parçaya bölünür ve her iki parçanın istatistiksel özellikleri hesaplanır. Bölünen parçaların, sinyal ile gürültüyü temsil ettiği birleşme noktası, bize en düşük AIC değerini verir ve bu nokta P-dalgasının varış zamanına karşılık gelmektedir.

P- ve S- dalgalarının varış zamanlarının otomatik olarak belirlenmesi (Takanami ve Kitagawa, 1991; Sleeman ve Eck, 1999; Leonard and Kennet, 1999; Leonard, 2000; Zhang ve diğ., 2003), depremin yeri ve oluşum mekanizması hakkındaki bilgilerin hızlı bir şekilde tespit edilmesinde giderek önem kazanmaktadır.

2. Deprem fazlarının otomatik olarak belirlenmesi

Deprem kayıtlarından faz okumalarının otomatik olarak yapılabilmesi için bazı algoritmalar geliştirildi. Bu yöntemlerden biri, Short Term Average / Long Term Average (STA/LTA) oranına dayanmaktadır (Allen, 1978). Bu yöntemde, P varışı istasyona ulaştığında sinyalin hem genliğinde hemde frekansında bir değişimi hesaba katan karakteristik bir fonksiyon öngörülür. Tanımlanan bu karakteristik fonksiyon kullanılarak kısa dönemli ve uzun dönemli iki ardışık kayan pencere içindeki bir sismik sinyalin mutlak genliğine ilişkin ortalama değerlerin oranları hesaplanır. Uzun dönemli pencere (LTA) sismik gürültünün zamana bağlı değişimini, kısa dönemli pencere (STA) ise sismolojik olaylar hakkında bilgi sağladığı bilinmektedir.

Otoregresif - Akaike Bilgi Kriteri (Autoregressive - Akaike Information Criteria) kısaca AR- AIC yaklaşımı olarak bilinen ikinci yöntemde sismogram yine iki farklı zaman serisine bölünür (Sleeman ve

Eck, 1999; Leonard ve Kennet, 1999; Leonard, 2000). Durağan süreç olarak varsayılan her bir bölüm otoregresif bir süreçle modellenir ve modelin mertebesi saptanır. Otoregresif sürecin mertebesi belirlendiğinde, 1 no'lu bağıntı kullanılarak AIC fonksiyonu hesaplanır. Bu fonksiyonun en düşük olduğu nokta, durağan sayılan iki zaman serisinin en uygun ayırımını verir. N uzunluğunda bir sismogram için iki ayrı zaman aralığı modeline ait AIC değeri (1), k birleşme noktasının fonksiyonu olarak tanımlanır.

M değeri veriye uyum gösteren otoregresif modelin derecesini, C_2 sabit bir değeri, k durağan iki zaman serisinin birleşme noktasını, N sismogramın uzunluğunu, $\sigma_{1,max}^2$ ve $\sigma_{2,max}^2$ sırasıyla iki zaman dilimindeki sismogram bölümlerinin varyansını göstermektedir. Öncelikle, AR modelinin mertebesi deneme yanılma yöntemi ile saptanmalıdır. Modelin mertebesi saptandıktan sonra, AR katsayıları Yule-Walker denklemleri (Haykin, 1996) ile saptanabilir ve 1 No'lu bağıntı kullanılarak AIC fonksiyonu hesaplanabilir.

Otoregresif - Akaike Bilgi Kriteri (AR-AIC) yönteminin aksine, AIC fonksiyonu doğrudan sismogramlar üzerinden de hesaplanabilir (Maeda 1985). Bu yaklaşımda, otoregresif bir model kullanılmadığı için AR katsayılarının hesaplanmasına gerek duyulmayacaktır. Depremin başlangıç noktası yine AIC fonksiyonunun en düşük olduğu noktaya karşılık gelecektir. Bu yaklaşım, Akaike Bilgi Kriteri (AIC) olarak bilinir. N uzunluğuna sahip bir sismogram için AIC fonksiyonu (2) aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$AIC(k) = k \cdot \log\{\text{var}(x[1:k])\} + (N - k - 1) \cdot \log\{\text{var}(x[k+1:N])\} \quad (2)$$

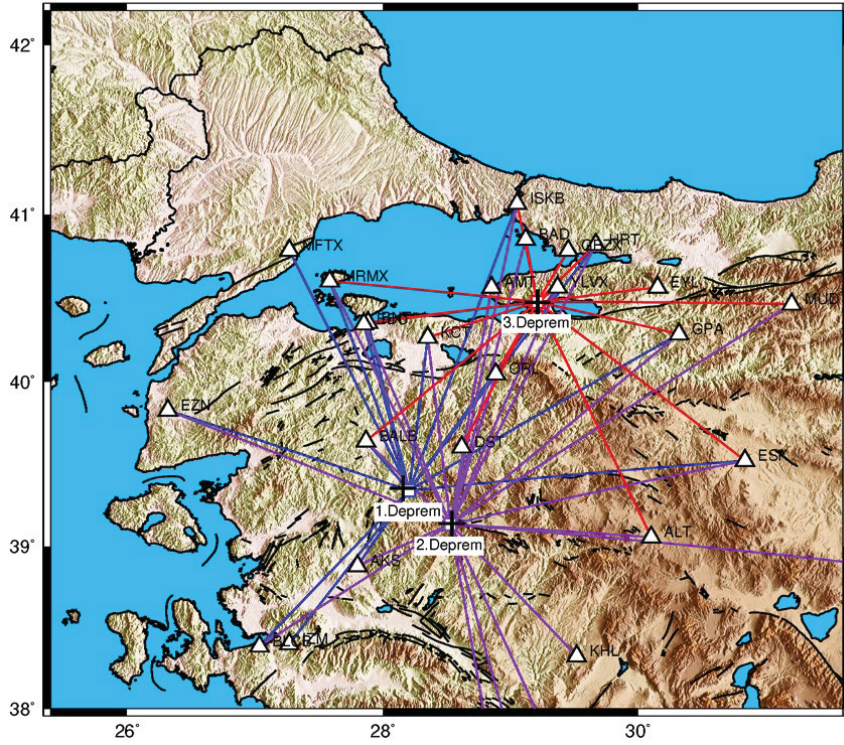
Formülde görülen x kullanılan sismogramı, N sismogramın uzunluğu, k ise sismogramda alınacak iki pencerenin sınırını belirleyen bir katsayıdır. Bu çalışmada, AIC fonksiyonu doğrudan sismogramlar üzerinden hesaplanan 2 nolu bağıntı ile elde edilmiştir. AIC fonksiyonunu hesaplayarak herhangi bir sismogramda bir başlangıç noktası elde edebilir. Bu sebeple, inceleyeceğimiz sismogramda bir zaman penceresi seçilmesi daha mantıklıdır. Deprem kaydının başından maximum genliğe ve P-dalgası faz okumasından maximum genliğe kadar olan süreler, sırasıyla P- ve S-dalgası için seçilen zaman pencereleridir. Seçtiğimiz zaman penceresinde AIC fonksiyonu daha doğru bir değer vermekte ve P/S dalgasının varış zamanı net bir şekilde görüntülenmektedir. Ele aldığımız sismogramda sinyal/gürültü (S/G) oranı yüksek ve P veya S fazı net bir şekilde

seçilebiliyorsa en düşük AIC değeri doğru olarak elde edilir. Fakat S/G oranı düşük sismogramlarda ve faz belirgin değilse AIC değeri birden fazla noktada lokal minimum değerler vermektedir (Zhang ve diğ., 2003). Buna rağmen, AIC fonksiyonun en küçük değeri çoğu zaman P dalgasının varış zamanını göstermektedir.

3. AIC fonksiyonunun sismogramlar üzerinde test edilmesi

Bu algoritma, farklı istasyonlarda kayıt edilen 3 depremden elde edilen 104 sismogram üzerinde test edildi. Test edilen depremlere ilişkin parametrik bilgiler Tablo 1’ de verilmiştir. Deprem yerlerinin otomatik olmayan bir yöntemle belirlenmesi için öncelikle, her bir depremi kayıt eden sismogramlar tek tek görüntülenerek P/S dalgalarına ait varış zamanlarının okunması, daha sonra elde edilen bu

bilgilerin, deprem yerlerini belirlemek için kullanılan “Hypocenter” programına (Lienert 1994) girişi verisi olarak uygun formatta tanıtılması gerekmektedir. Bu işlem, AIC fonksiyonu kullanılarak elde edilecek varış zamanlarından bağımsızdır. P/S dalgası varış zamanlarının elle okunmasının nedeni, AIC fonksiyonu ile elde edilen varış zamanlarını karşılaştırmak içindir. Bu çalışmada Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü- Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi tarafından Batı Anadolu için önerilen kabuk modeli (Kalafat vd., 1987) kullanılarak, gözlemlen ve otomatik olarak elde edilen varış zamanlarından deprem yerleri tespit edilmiştir. Depremlerin yerleri ve bu depremleri kaydeden istasyonların dağılımları Şekil 1’de her bir deprem için ayrı ayrı gösterilmiştir.



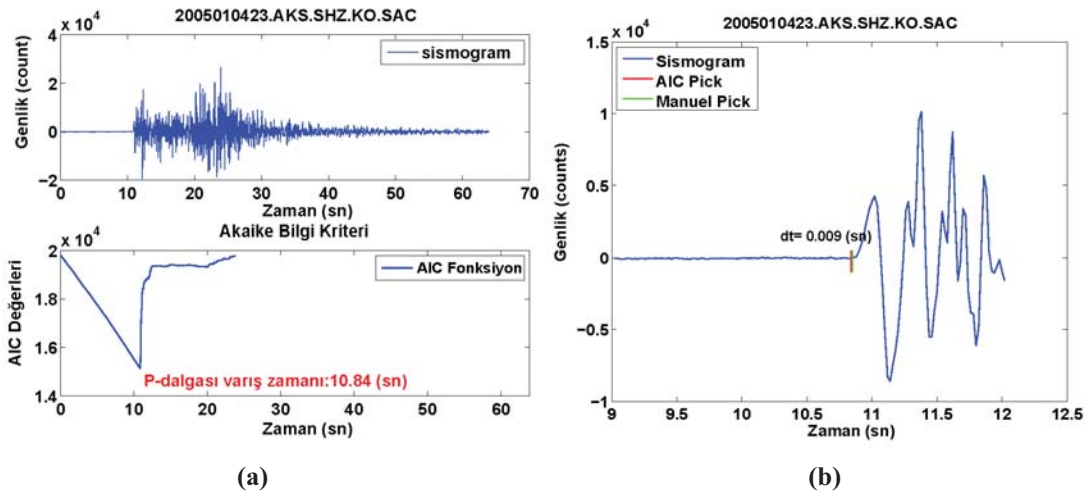
Şekil 1. Bu çalışmada test edilen depremler (kareler) ve bu depremleri kayıt eden istasyonların (üçgenler) dağılımı. AIC yöntemi kullanılarak elde edilen varış zamanlarından saptanan deprem yerleri artı sembolü ile gösterilmiştir.

Figure 1. Distribution of earthquakes (squares) tested in this study and stations with various bandwidths (triangles) recording these events. Earthquake epicenters determined from automatic arrival times are shown with + symbol.

Table 1. Bu çalışmada test edilen depremlere ait kaynak parametreleri. Siyah ve kırmızı renk ile gösterilen değerler sırasıyla gözleme dayalı ve AIC yöntemiyle otomatik olarak elde edilen faz okumaları kullanılarak elde edilen deprem bilgilerini göstermektedir. MD: Depremin büyüklüğünü, RMS: Deprem yerlerinin elde edilmesindeki hata miktarı, #NFAZ: Deprem yerlerinin tespit edilebilmesi için kullanılan P- ve S- dalgası faz sayısını.

Table 1. Source parameters of earthquakes tested in this study. Phase readings and earthquake locations are revised for this study. Values in black and red color show earthquake source parameters obtained from observed and automatic phase readings respectively. MD:Duration Magnitude, RMS:Root Mean Square, #NFAZ:Number of phase readings for P- and S-waves.

	Tarih (gün-ay-yıl)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	RMS	#NFAZ	M_D
1. Deprem	04.01.05	23:42:31.0	39.340	28.204	3.0	0.3	17P,8S	3.3
		23:42:31.3	39.354	28.156	1.5	0.6	17P,7S	
2. Deprem	14.01.05	02:19:25.8	39.134	28.528	7.0	0.5	24P,2S	3.5
		02:19:26.1	39.139	28.540	7.9	0.5	22P,2S	
3. Deprem	20.02.05	21:02:07.3	40.478	29.208	2.4	0.5	19P,10S	3.4
		21:02:06.9	40.477	29.211	0.0	0.5	18P,9S	



Şekil 2. (a) 1 No'lu depremin AKS istasyonundaki kaydı ve AIC fonksiyonunun P dalgası penceresi içinde almış olduğu değerleri. AIC fonksiyonun en düşük değeri, P- dalgası varış zamanına tekabül etmektedir. (b) P dalgası etrafında tanımlanan pencere üzerinde gözlemlenme ve AIC yöntemiyle elde edilen varış zamanlarının işaretlenmesi. İşaretlenen varış zamanları arasındaki fark 0.009sn' dir.

Figure 2. (a) Seismic record of the event 1 at AKS station and values of the AIC function within P-wave window. Minimum value of the AIC function corresponds to the P-wave arrival time. (b) Arrival times obtained from manual and automatic (the AIC method) picks are marked on a time window that is defined around the P wave. Time difference between marked arrival times is 0.009 seconds.

P/S dalga fazlarını içine alan bir zaman penceresi öngörülerek, MATLAB tabanlı yazılan bir program aracılığıyla AIC fonksiyonu hesaplanmıştır. AIC fonksiyonun en düşük olduğu değere karşılık gelen nokta, P/S dalgası fazlarının başlangıç noktası olarak tespit edilmiştir. AKS istasyonunda kayıt edilen kısa periyotlu bir sismogramın görüntüsü ve öngörülen pencere içinde her bir örnekleme noktasında elde edilen AIC fonksiyonunun dağılımı Şekil 2a'da gösterilmektedir. P-dalgası için öngörülen pencere aralığı içinde elde edilen en düşük AIC fonksiyon değeri 10.84sn 'ye karşılık gelmektedir, bu nokta P-dalgası varış zamanı olarak belirlenmiştir. Bu kaydın, P dalgası varış zamanı etrafındaki ayrıntılı görüntüsü Şekil 2b'de verilmiştir. Gözlemlenme ve

otomatik olarak AIC yöntemiyle hesaplanan varış zamanları sismogram üzerinde işaretlenmiştir. Gözlemlenen P dalgası varış zamanı ile AIC yöntemi ile otomatik olarak hesaplanan varış zamanı arasındaki fark yaklaşık 0.009sn' dir.

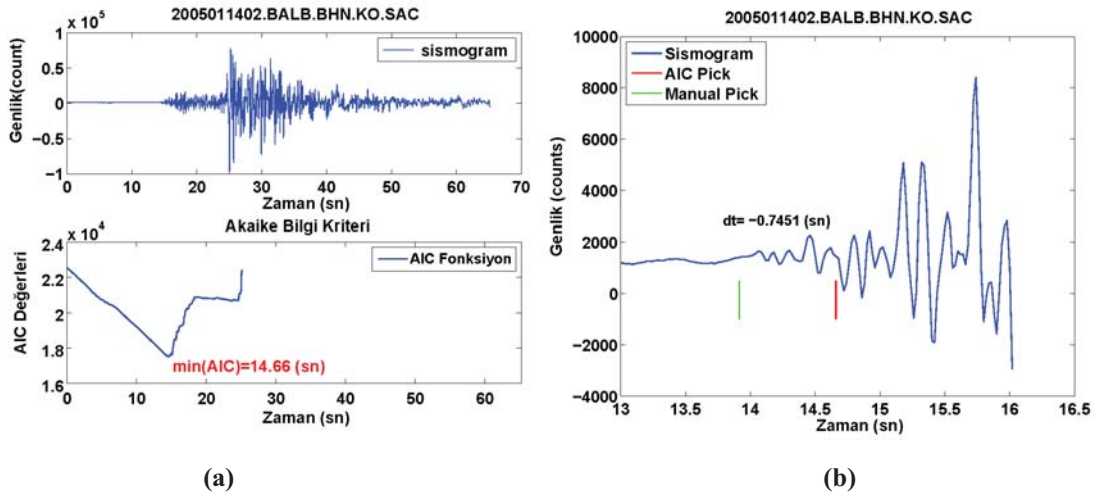
2 No'lu depremin yakın alandaki başka bir görüntüsü BALB istasyonunda kayıt edilmiştir. Bu istasyonun KG bileşenli kaydı incelendiğinde (Şekil 3), istasyona ulaşan P dalgası genliğinin küçük olmasından dolayı bu fazın otomatik olarak kestirimi hata içermektedir. Bilindiği üzere, P dalgası varış zamanları genellikle düşey bileşen kayıtlarından okunur, bu nedenle AIC fonksiyonu ile kestirilen varış zamanları da sadece düşey bileşen kayıtlarından elde edilebilir. Sismik dalga düşeye yakın bir

açıda istasyona ulaştığından, P dalgası enerjisinin büyük bir bölümü düşey bileşen kayıtlarına yansımaktadır.

Sinyal/gürültü seviyesi daha düşük olan bir sismogram için, 3 no'lu depremin EYL istasyonundaki kaydı örnek olarak verilebilir (Şekil 4). Bu kayıt incelendiğinde, P-dalgası varışı öncesinde farklı zaman aralıkları ile tekrarlanan periyodik gürültüler görülmektedir. Sinyal öncesi gözlemlenen bu gürültülerden dolayı AIC yönteminin başarısının düşebileceği varsayılsa da, AIC yöntemi ile elde edilen varış zamanı, gözlemci tarafından okunan varış zamanına 0.02sn'lik bir fark ile doğru kestirim yapıldığı gözlemlenmiştir. Sismogram içinde düzenli aralıklarla gürültüler bulursa da, P dalgasının, bir sismolog için gürültü içinden seçilebilir olabilmesi (yani yüksek genlikli belirgin bir P-dalgası fazına sahip olması), AIC yönteminin bu tarz verilerde uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu tarz kayıtlar için sinyal/gürültü oranı düşük olsa da, AIC

yöntemi başarılı sonuçlar üretebilir.

Küperkoch (2010) çalışmasına göre; AIC yöntemiyle P fazının kestiriminin yapılmasının yanı sıra, S dalgasının varış zamanlarının da otomatik olarak elde edilebileceği ortaya konmuştur. P fazında olduğu gibi S fazında da bir pencereleme işlemi uygulanmaktadır. Bu pencereleme işlemi veri kalabalığını engelleyerek, hızlı bir şekilde AIC yöntemi ile daha güvenilir S-dalgası varış zamanları işaretlemek amacıyla kullanılmıştır. Sadece S-dalgası fazı okunan istasyonlar için, AIC yöntemi ile S varış zamanları test edilmiştir. 1 No'lu depremin BLCB istasyonun yatay bileşenlerinden biri üzerinde S-dalgası varış zamanı AIC yöntemi ile tespit edilmiştir (Şekil 5). Bu istasyonda AIC fonksiyonunun minimum olduğu noktaya tekabül eden zaman 41.76sn olarak belirlenmiştir. Bu zaman S-dalgası varış zamanı olarak işaretlenmiştir. Gözlemlenen S-dalgasının varış zamanı ile AIC yöntemi kullanılarak elde edilen varış zamanı

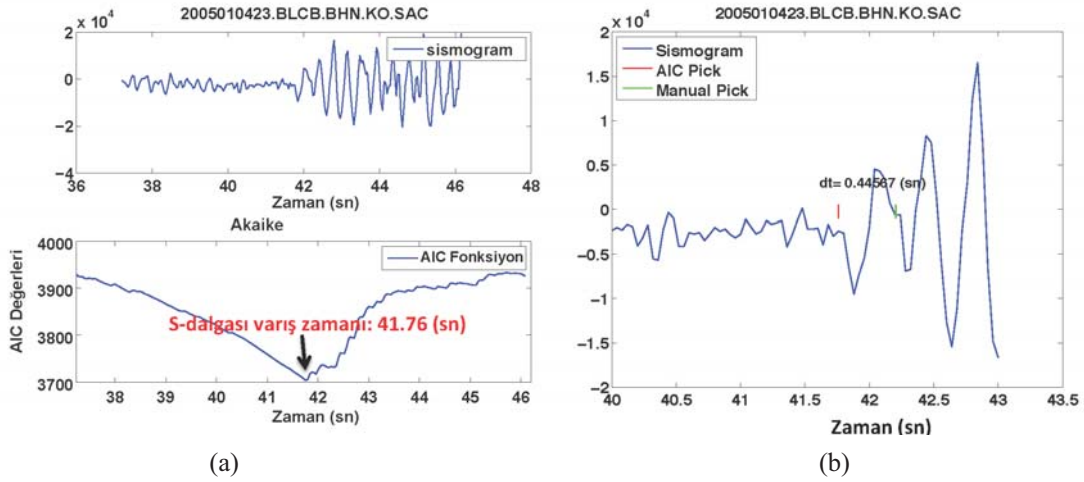


Şekil 4. (a) 3 No'lu depremin kısa periyotlu düşey bileşen EYL istasyonundaki kaydı ve AIC fonksiyonunun aldığı değerler. (b) Gözlemlenen ve AIC yöntemiyle elde edilen varış zamanlarının, P dalgası etrafında tanımlanan pencere için sismogram üzerinde işaretlenmesi. Bu istasyonda, S/G oranı düşük olduğu halde AIC fonksiyonu ile elde edilen varış zamanı gözlemlenen faz okuması ile uyumludur. Varış zamanları arasındaki fark 0.02 sn civarındadır.

Figure 4. (a) Seismic record of the event 3 at EYL station with short period and values of the AIC function. (b) Arrival times obtained from manual and automatic (the AIC method) picks are marked on a time window that is defined around the P wave. Despite the S/N ratio is low at this station, manual and automatic AIC picks are compatible. Time difference between these picks is about 0.02 seconds.

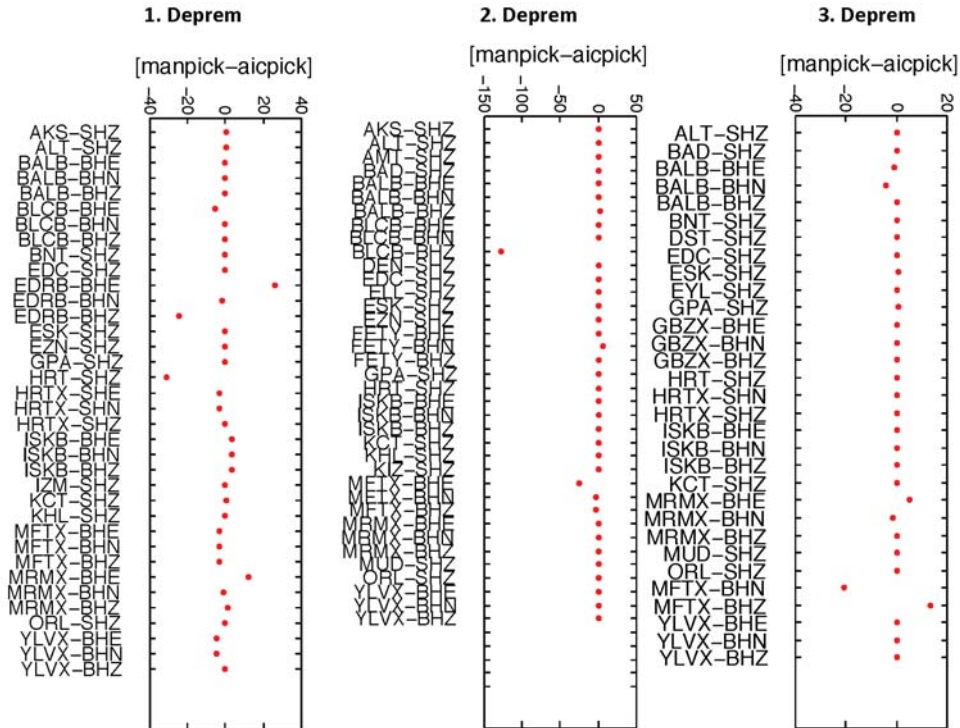
zamanı arasında 0.45sn fark saptanmıştır. Bu kaydı yeniden incelediğimizde gözlemlenen S-dalgası okumasının 0.45sn hatalı olabileceği kanaatine vardık. bu da AIC yönteminin S-dalgası için varış zamanlarının kestiriminde de başarılı olduğunu göstermektedir. Gözlemlenen P dalgası varış za-

manları ile AIC yöntemi ile otomatik olarak elde edilen P-dalgası varış zamanları arasındaki farklar, bu çalışmada test edilen her bir deprem setindeki, tek ve üç bileşenli tüm istasyonlar için Şekil 6'da topluca verilmiştir.



Şekil 5. (a) 1 No'lu depremin geniş bantlı KG bileşenli BLCB istasyonundaki kaydı ve AIC fonksiyonunun S dalgası penceresi için aldığı değerler. (b) Gözlemlenme ve AIC yöntemiyle elde edilen varış zamanlarının sismogram üzerinde işaretlenmesi. Bu istasyonda, sinyal/gürültü oranı düşük olduğu halde AIC fonksiyonu ile elde edilen varış zamanı gözlemlenen faz okuması arasındaki fark 0.45 sn civarındadır.

Figure 5. (a) Seismic record of the event 1 on the NS component of the BLCB broadband station values of the AIC function for the S-wave window. (b) Arrival times are marked both manually and by the AIC method on this seismogram. Time difference between manual and automatic (AIC) picks are about 0.45 seconds since the S/N ratio is low at this station.



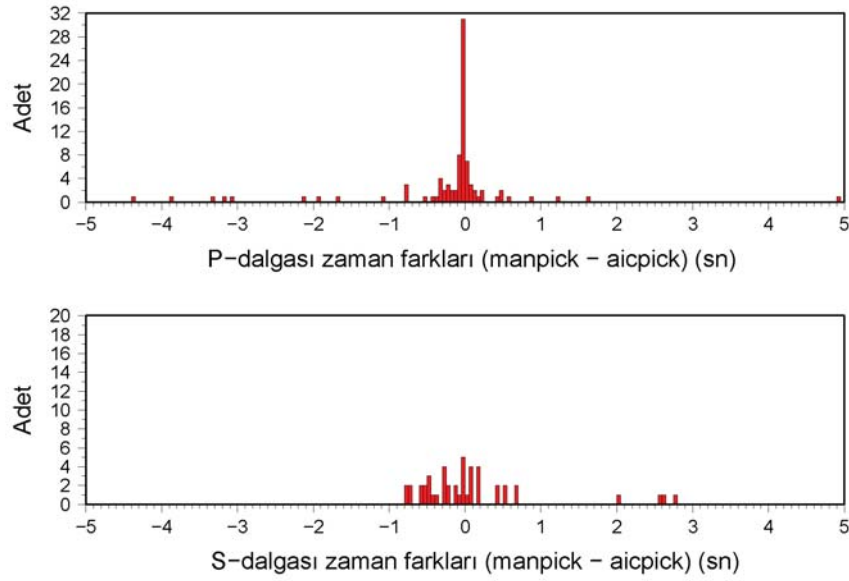
Şekil 6. Test edilen her bir depreme ait tüm istasyonlar için gözlemlenme ve AIC yöntemi ile elde edilen P-dalgası varış zamanları arasındaki farkların gösterimi.

Figure 6. Time differences between manual and automatic (AIC method) picks at all stations for each tested earthquake.

Birinci deprem setindeki istasyonlarda, AIC yöntemi ile elde edilen P-dalgası varış zamanları gözlemlenen faz okumalarına göre saçılım göstermektedir. Bu saçılımların nedeni sinyal/gürültü oranının düşük olması ile ilişkilidir. Odak mekanizma çözümleri üzerinde istasyon konumlarının düğüm düzlemlerine yakın olması da P-dalgası genliğini etkileyen faktörlerden biridir. Dolayısıyla, P-dalgasının seçilebilirliği veya doğru kestirimi dalganın genliğiyle doğrudan ilişkilidir. Diğer deprem setlerinde saçılımların nispeten daha az olduğu

gözlenmiştir.

İncelenen üç depremden elde edilen P- ve S-dalgası zaman farklarını bir histogram üzerinde gösterildiğinde (Şekil 7), P- ve S- dalgası zaman farklarının çoğunlukla 1sn civarında değiştiği gözlenmiştir. Bunun dışındaki verilerin düşük sinyal/gürültü oranı ile ilişkili olabileceği veya belirgin olmayan P-/S-dalgası varışı ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. 1sn üzerindeki P-dalgası zaman farklarının yatay bileşenlerden elde edilmiş olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 7. Her bir istasyon kaydı için gözlemlen ve AIC yöntemi ile elde edilen P- ve S-dalgası zaman farklarına ait histogramlar.

Figure 7. Histograms of time differences of P-and S-waves obtained from manual and automatic (AIC) picks for each earthquake record.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Batı Anadolu'da meydana gelen 3 depremin 104 kaydı, AIC yöntemi ile P- ve S-dalgası varış zamanlarının doğru olarak tespit edilip edilmediğini anlamak için test amaçlı kullanılmıştır. Gözlemlen ve otomatik olarak elde edilen varış zamanları arasındaki farklar grafik ve histogram olarak çizdirildiğinde, P-dalgası için AIC yöntemi ile P-dalgası varış zamanları kestiriminin genellikle 1sn civarında olduğu, P-dalgası varış zamanı kestirimi için sadece düşey bileşen kayıt kullanıldığında, kestirimlerin son derece başarılı olduğu saptanmıştır. S-dalgası kestirimlerindeki başarı oranı, P-dalgası kestirimine göre nispeten az olduğu görülmüştür.

Test edilen depremler için gözlemlenen faz

okumalarından ve otomatik varış zamanlarından elde edilen konumların birbirine yakın olduğu Şekil 1'de görülmektedir. Gözlemlenen faz okumaları ve otomatik varış zamanları kullanılarak elde edilen deprem yerleri arasındaki uzaklıklar; 1. deprem için 4.7 km, 2. deprem için 1.5 km, 3. deprem için 2.4 km kadardır. Gözlemlenen faz okumalarından ve otomatik varış zamanlarından elde edilen bu mesafelerin, yeterli sayıda istasyon tarafından kayıt edilmemiş küçük ve orta ölçekli depremler ($M < 5.0$) için kabul edilebilir hata sınırları içinde olduğu düşünülmektedir.

5. Summary

In this study we have used an automatic phase picking algorithm based on the Akaike Information

Criteria. This algorithm has been tested with records of three earthquakes occurring in Western Anatolia. P- and S- phase pickings have been determined from 104 seismograms. In our test, 85% of the AIC picks have been estimated with time differences ranging from 0 to 0.5s when compared with manual picks. Remaining picks give large residuals ($>0.5s$) between the manual and the AIC picks. Reliability of the onset time with the AIC method depends on the S/N ratio and distinguishment of amplitude of P- and S- phases in a seismic record. Individual visual comparisons of automatic picks with manual ones have shown that a number of manual picks have been improved by the AIC method as observed from S-phase picking in the Figure 5.

In summary, AIC method appears to be useful tool for manual analysis and assigning automatically onset times to detected seismic signals for the purpose of online epicenter calculations.

Katkı Belirtme

Bu çalışmanın yazım dilini gözden geçiren Doç. Dr. Turgay İşseven'e ve çalışmanın makale formatına dönüşmesinde yardımcı olan Araş. Gör. Nedim Gökhan Aydın'a teşekkür ederiz. Son olarak, çalışmanın son hale gelmesi için desteklerini esirgemeyen hakemlere teşekkür ederiz.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Allen, R. V. (1978).** Automatic earthquake recognition and timing from single traces. *Bull Seism. Soc. Am.*, 68, 1521-1532.
- Haykin, S. (1996).** Multi-component autoregressive techniques for the analysis of seismograms, *Phys. Earth Planet. Interiors* 113, 247-264.
- Kalafat, D., Gürbüz, C., and Üçer, B. (1987).** Investigation of the crust and upper mantle in the West of Turkey, *J. Earth. Bull. Istanbul*, 14, pp. 43-64 (in Turkish).
- Küperkoch, L. (2010).** “Automated Recognition, Phase Arrival Time Estimation, and Location of Local and Regional Earthquakes”. *Phd. Thesis*, Ruhr-Universität Bochum. The Faculty of Earth Science, Bochum, s.16-49.
- Leonard, M., Kennet, B.L.N. (1999).** Multi-component autoregressive techniques for the analysis of seismograms, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 113, 247-264
- Leonard, M. (2000).** Comparison of manual and automatic onset time picking, *Bull. Seis. Soc. Am.* 90, 1384-1390.
- Lienert, B. (1994).** *Users manual for Hypocenter3.2: A computer program for locating earthquakes, locally, regionally and globally*, Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, pp.1-72.
- Maeda, N. (1985).** A method for reading and checking phase times in autoproccessing system of seismic wave data, *Zisin_Jishin* 38, 365-379.
- Sleeman, R., Eck, T.V. (1999).** Robust automatic P-phase picking:an online implementation in the analysis of broadband seismogram recordings, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 113, 265-275.
- Takanami, T., Kitagawa, G. (1991).** Estimation of The Arrival Times of Seismic Waves By Multivariate Time Series Model. *Ann. Inst. Statist. Math.*, 43 No:3, s. 407-433.
- Zhang, H., Thurber, C., Rowe, C. (2003).** “Automatic P-Wave Arrival Detection and Picking with Multiscale Wavelet Analysis for Single-Component Recordings”. *Bullettin of Seismological Society of America* 93, No.5 1904-19