Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33:1 (2018) 345-360

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

WinFOC: Odak mekanizması çözümü için yeni bir yazılım

Orhan Polat*, Şenol Özyalın
Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, 35160, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Yeni bir odak mekanizması çözüm programı
- P-dalgası ilk hareket yönü tekniği
- Fay düzlemi çözüm parametreleri

Makale Bilgileri
Geliş: 10.06.2017
Kabul: 21.10.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.406806

Anahtar Kelimeler:
Doğrultu,
eğim,
kayma,
odak mekanizması çözümü

ÖZET

Bu çalışma, bilimsel araştırma ve eğitim amaçlı çalışmalarda kullanılabilecek yeni bir odak mekanizması çözüm (OMÇ) programını içermektedir. Bu çalışma kapsamında ayrıca, WinFOC olarak adlandırılan program ile gerçekleştirilen uygulamalı araştırma sonuçlarına da yer verilmektedir. Fay düzlemi çözümlerini hesaplamak ve deprem üreten farklı fay sistemlerinin hareket kinematiği incelemek için P-dalgası ilk hareket yönü tekniğini temel alan WinFOC kullanılmıştır. Bu doğrultuda ülkemizde meydana gelen 7 farklı deprem bu program ile analiz edilmiş ve elde edilen bulgular farklı kurumlar tarafından rapor edilen bulgularla karşılaştırılmıştır. WinFOC ile gerçekleştirilen hesaplamalar, interaktif bir grafik arayüz kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda sıkışma (P) ve gerilme (T) eksenleri ile fay düzlemlerinin doğrultu (ϕ), eğim (δ) ve kayma (λ) açıları hesaplanmıştır. Eğim atımlı faylanma olması durumunda, belirlenen fay düzlemi üzerinden eğim yönü (σ) ortaya konmuştur. Sıkışma ve açılma bölgeleri, farklı derecelerde değişen adım aralığına sahip boylam daireleri ile birbirlerinden el ile ayrılmıştır. Program, OMÇ sonucu elde edilen mekanizma kürelerinin depreme kaynaklık eden fay hareketi ile yorumlanabilmesi için, en uygun 3-Boyutlu blok diyagram modelini de baskın hareketin atımına göre ölçekli olarak da çizebilmiştir.

WinFOC: A new software for focal mechanisms solution

HIGHLIGHTS

- A new focal mechanism solution program
- P-wave first motion polarity technique
- Fault plane solution parameters

Article Info
Received: 15.12.2015
Accepted: 23.06.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.406806

Keywords:
Strike,
dip,
rake,
focal mechanism solution

ABSTRACT

This study comprises a new focal mechanism solution (OMÇ) program that can be used for scientific research and educational purposes. In addition, results of applied researches performed in the frame of this study, are also given using this software which is called WinFOC. In order to compute fault plane solutions and investigate kinematics of different fault systems, it is used WinFOC that accepts P-wave first motion polarity technique. In this way, 7 different earthquakes that occurred in our country were analyzed by using this program and obtained results were compared with findings reported by different institutions. The calculations performed with WinFOC were made using interactive graphical interface. In this context, we have determined P- and T-axes with azimuth (ϕ), dip (δ) and rake (λ) angles of fault planes. Dip-directions (σ) were also identified on fault planes with availability of dip-slip faults. Compression and dilatation zones were manually separated from each other by meridians with different range of steps varying in different degrees. In order to interpret beach-balls with kinematics of fault ruptures that are responsible of earthquakes, the program is also capable to plot most acceptable 3-D bloc-diagram with appropriate scale according to slip-rate of dominant strike-type.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: orhan.polat@deu.edu.tr / Tel: +90 232 301 7266

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Odak mekanizması çözümü (OMÇ); çeşitli yöntem, teknik ve program paketleri kullanılarak hesaplanabilmektedir [1]. Programların çoğu belli bir düzeyde sismoloji bilgisi, farklı işletim sistemlerinin kullanımı ya da paket programlar için kurulum deneyimi gerektirmektedir [2]. Bazıları, depremi kaydeden istasyonların sayısal dalga formu kayıtlarına [3], bazıları ise P-dalgası ilk hareket yönü bilgisine gereksinim duymaktadır [4]. Genelde tüm yazılımlar, fay düzlemine ait doğrultu (ϕ), eğim (δ), kayma (λ) açısı, eğim yönü (σ) bilgileri ile sıkışma (P) ve gerilme (T) eksenlerine ait doğrultu ve dalım açısı (δ) parametrelerini otomatik hesaplamakta, ancak düzlemleri kullanıcıya genelde interaktif anlamda el ile olarak anlık değiştirme seçeneği sunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında üretilen WinFOC yazılımı interaktif bir arayüze sahiptir. Depremin düşey (Z) bileşen kaydına ait P- dalgası ilk hareket yönü (polarite) bilgisi içeren bir giriş dosyasından hareketle düzlem konumlarının kullanıcı tarafından anlık elle değiştirilebildiği, araştırma ve eğitim çalışmalarında kullanılabilen, bu doğrultuda gerekli tüm OMÇ parametrelerini hesaplayan bir program formatına sahiptir. Deprem lokasyonu yapmadığından fay kinematiği araştırılacak depreme ait lokasyon çözümünün önceden rapor edilmiş olmasına gereksinim duymaktadır. Mevcut haliyle WinFOC, araştırma çalışmaları ve eğitim faaliyetleri için kullanılabilecek etkili, basit, anlaşılır ve pratik bir arayüze sahiptir. Araştırma hedefi doğrultusunda yapılacak çalışmalar için, depremi kaydeden istasyonların derece cinsinden koordinatlarına (enlem, boylam) bilgisine, Z-bileşene ait polarite okumasına ve istasyon kodu bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Bu bilgilerin (örneğin uzantısı *.txt olacak şekilde) basit bir metin dosyasına girilmesiyle odağı terkediş (i_h) ve doğrultu (ϕ, azimut) açılarını arka planda otomatik hesaplanmakta, OMÇ parametrelerini hızlı bir şekilde belirleyebilmektedir. Bölgeden bölgeye değişen farklı hız modelleri için yapılan denemelerde i_h açılarında $\pm 0{,}01^o$ veya $\pm 0{,}005^o$ farkların oluştuğu gözlendiğinden WinFOC programı, sabit bir genel kabuk hız modelini esas almakta ve i_h hesaplamalarında kullandığı düzeltme faktörlerini bu modele göre oluşturmaktadır.

Eğitim amaçlı çalışmalarda da programın kullanımının sağlanması amacıyla, i_h ve ϕ açıları, polarite okumaları ve istasyon kodları ile birlikte uzantısı *.pol olan bir başka metin dosyasına da ayrıca kaydedilebilmektedir. Böylece stereonet ağı ve aydinger kağıt kullanılarak; ϕ, i_h ve polarite bilgilerinden hareketle fay düzlemi çözümü yapılan eğitim uygulamalarına da altlık föy oluşturulmaktadır. Yine bir başka eğitim uygulaması kapsamında, (örneğin) 28.03.1970 Kütahya-Gediz veya 27.03.1975 Gelibolu-Saros gibi eski tarihli depremlerin sadece uygulama föyü (kağıt) üzerinde yazılı olan ϕ, ih, polarite bilgileri eğer uzantısı *.pol olacak şekilde bir metin dosyasına kaydedilirse, WinFOC programı bu dosya formatını da okumakta, eski depremleri sayısal ortama taşıyarak OMÇ parametrelerini aynı hassasiyette interaktif hesaplamaktadır. WinFOC programının ana kurgusunu [5], sismoloji ders notlarının [6] kullanıcı dostu bir ara yüzle elektronik ortama taşınması fikri oluşturmuştur [7]. Bu hedef doğrultusunda 2013 yılında WinFOC v1 geliştirilmiştir [8]. Ancak bazı grafiksel gösterim sorunları nedeniyle bu ilk sürümün dağıtımı yapılmamıştır. WinFOC v2 ile grafiksel sorunlar aşılmıştır. İlgili parametreler girildiğinde, literatürde benzer örneklerde olduğu gibi [9] odak mekanizma küresini [10], düzlemlerin ve P-T eksenlerinin konumunu, 3-B blok diyagram modelini anlık görüntülemekte [11], elde edilen sonucun başarı yüzdesini hesaplamaktadır [12].

2. YÖNTEM (METHOD)

Depremler, yerkabuğundaki karmaşık bir kırılma ile oluşmaktadır. 1900'lü yılların başlarında aletsel sismolojideki gelişmelere paralel olarak, sismograflar tarafından kaydedilen sismogramların incelenmesiyle, depremlerin ve kaynaktaki hareket mekanizmasının anlaşılmasına yönelik olarak bazı kuramlar geliştirilmiştir. Faylanmanın (jeolojik olarak kırılmanın) birbirini dengeleyen iki kuvvet çifti etkisi altında oluştuğu şeklindeki kuram en çok benimsenen kuram olmuştur [13]. Bu kuram her ne kadar volkanik ve jeotermal bölgelerdeki [14] aktivitelerde gözlenmese de [15], deprem kaynağındaki fay geometrisine ait hareket vektörleri ve OMÇ parametrelerini saptayabilmektedir (Şekil 1).

Normal vektör ($\hat{n}$), taban ve tavan bloğu ayırmakta; kayma vektörü ($\hat{d}$) ise tavan bloğunun taban bloğuna göre hareketini [16] tanımlamaktadır (tavan bloğu gösterilmemiştir). Fay düzlemi, aynı zamanda eğim yönünü (σ_1) göstermektedir [17]. Eş. 1 ve Eş. 2 no'lu bağıntılarda verilen $\hat{n}$, bir fay düzlemine ait taban ve tavan bloğunu ayıran normal vektörü; $\hat{d}$ ise aynı düzlemde tavan bloğunun taban bloğuna göre hareketini tanımlayan kayma vektörünü göstermektedir (tavan bloğu Şekil 1'de gösterilmemiştir).

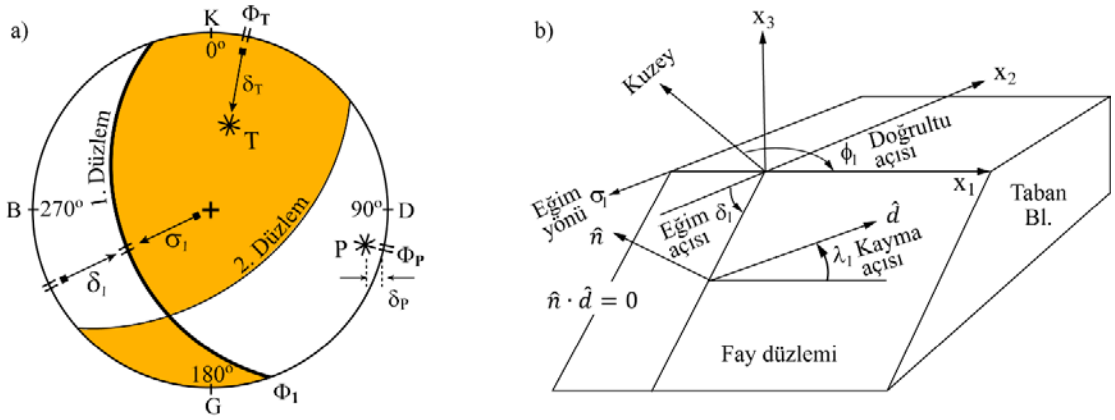
$$\hat{n} = \begin{pmatrix} -\sin\delta \cdot \sin\emptyset \\ -\sin\delta \cdot \cos\emptyset \\ \cos\delta \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\hat{d} = \begin{pmatrix} \cos\lambda \cdot \cos\emptyset + \sin\lambda \cdot \cos\delta \cdot \sin\emptyset \\ -\cos\lambda \cdot \sin\emptyset + \sin\lambda \cdot \cos\delta \cdot \cos\emptyset \\ \sin\lambda \cdot \sin\delta \end{pmatrix} \quad (2)$$

Coğrafi koordinat sisteminde; ϕ fay düzleminin doğrultu açısını, δ eğim açısını, λ tavan bloğunun taban bloğuna göre hareketi olan kayma açısını ve σ ise fayın eğim yönünü ifade etmektedir. İki kuvvet çifti kuramına göre düzlemlerin kesim noktası, normal ve kayma vektörlerine ortogonal diktir. Eş. 3 ve Eş. 4 no'lu bağıntılarda verilen P (sıkışma) ve T (gerilme) eksenleri:

$$P = \hat{n} - \hat{d} \quad (3)$$

$$T = \hat{n} + \hat{d} \quad (4)$$



Şekil 1. Odak mekanizması çözümlerinde kullanılan parametrelerin a) ve fay geometrisinin b) şematik gösterimi
(Schematic representation of parameters a) and fault geometry b) used in focal mechanism solutions)

eşitliklerinden hesaplanabilir. En genel haliyle (3) ve (4) no'lu bağıntılarda verilen P ve T, birbirine dik, düzlemlere ait boylam dairelerinden 45° uzakta sıkışma ve gerilme eksenlerini ifade etmektedir. Eğer asal düzlemi 1, yardımcı fay düzlemi 2 ile ifade edilecek olursa, her iki düzleme ait normal $(\hat{n}_1, \hat{n}_2)$ ve kayma $(\hat{d}_1, \hat{d}_2)$ vektörleri arasındaki konum değişiklikleri, fay geometrisi bilgilerinden hareketle odak mekanizması çözümünde kullanılan parametrelerin hesaplanmasını sağlar. Düzlemler arasındaki ilişki Eş. 5 ile gösterilecek olursa:

$$\hat{n}_1 = \hat{d}_2 \tag{5}$$

ile ifade edilir. Bu ifade, (1) ve (2) no'lu bağıntılar kullanılarak açılırsa Eş. 6 elde edilir.

$$\begin{pmatrix} -\sin\delta_1 \cdot \sin\emptyset_1 \\ -\sin\delta_1 \cdot \cos\emptyset_1 \\ \cos\delta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\lambda_2 \cdot \cos\emptyset_2 + \sin\lambda_2 \cdot \cos\delta_2 \cdot \sin\emptyset_2 \\ -\cos\lambda_2 \cdot \sin\emptyset_2 + \sin\lambda_2 \cdot \cos\delta_2 \cdot \cos\emptyset_2 \\ \sin\lambda_2 \cdot \sin\delta_2 \end{pmatrix} \tag{6}$$

Eş. 6 no'lu bağıntı, 1-düzleminin, 2-düzlemine göre hareketini tanımlayan ϕ_1, δ_1 ve λ_1 açılarını tanımlar. Diğer düzlemin OMÇ parametreleri için benzer şekilde Eş. 7 bağıntısı kullanılır

$$\hat{n}_2 = \hat{d}_1 \tag{7}$$

Genel haliyle ifade edilen (5) ve (7) no'lu bağıntılar kullanılarak, düzlemlerin kayma açıları ($\lambda_{1,2}$) Eş. 8 ile gösterilebilinir.

$$\begin{aligned} \cos\lambda_1 &= \sin\delta_2 \cdot \sin(\emptyset_1 - \emptyset_2) \\ \cos\lambda_2 &= \sin\delta_1 \cdot \sin(\emptyset_2 - \emptyset_1) \end{aligned} \tag{8}$$

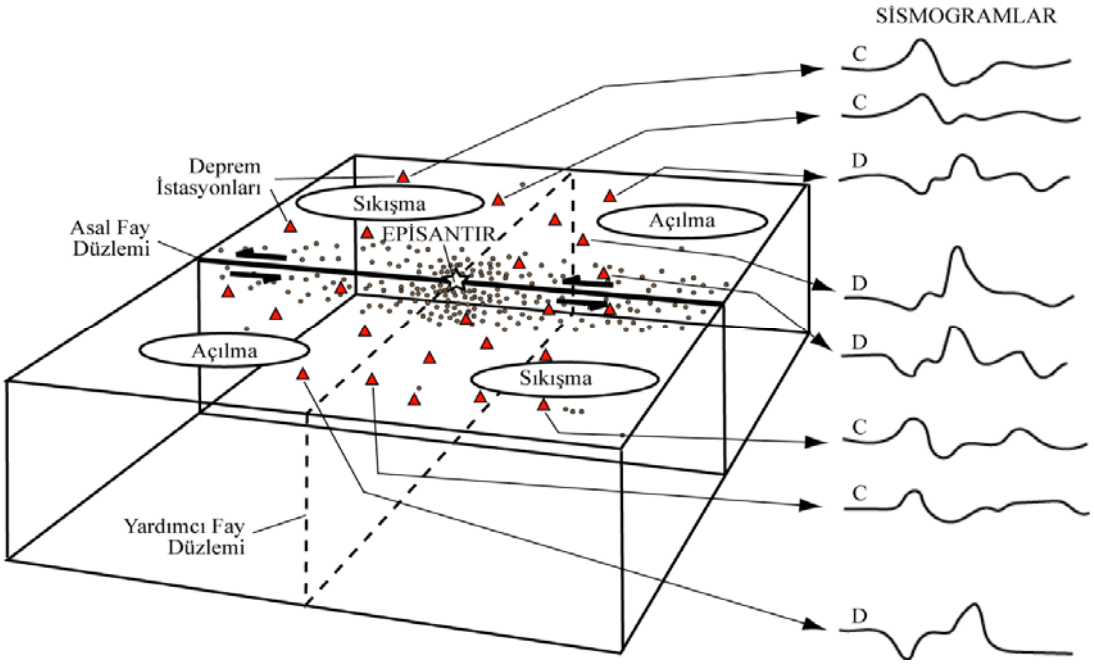
bağıntıları ile, eğim açıları ($\delta_{1,2}$) ise: Eş. 9 bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \cos\delta_1 &= \sin\lambda_2 \cdot \sin\delta_2 \\ \cos\delta_2 &= \sin\lambda_1 \cdot \sin\delta_1 \end{aligned} \tag{9}$$

Yukarıda özetlenen bağıntıların detayları Udias [18] tarafından verilmiştir. Bu çalışmalarda ifade edilen matematiksel bağıntılar kullanılarak [19] hazırlanan birçok kod dosyası da verilmiştir [20].

Fay düzlemi geometrisine ait parametreler iki farklı projeksiyonda ifade edilebilir. Bunlardan biri Wulff stereografik [21], diğeri ise Schmidt eşit alan [22] alt odak yarım küre projeksiyon tekniğidir [23]. Bu tekniklere [24] ilişkin bilgiler Dutch [25] tarafından ayrıntılı verilmiştir. OMÇ çözüm parametreleri [26]; P-dalgası ilk hareket yönü [27], S-dalgalarının kutuplaşma (polarizasyon) açıları [28], P/SV dalga genlikleri oranları [29], cisim ve yüzey dalgalarının dalga biçimleri, frekans spektrumlarının modellenmesi, moment tensör çözümü ve W-fazı yöntemlerinden biri kullanılarak elde edilebilir [30].

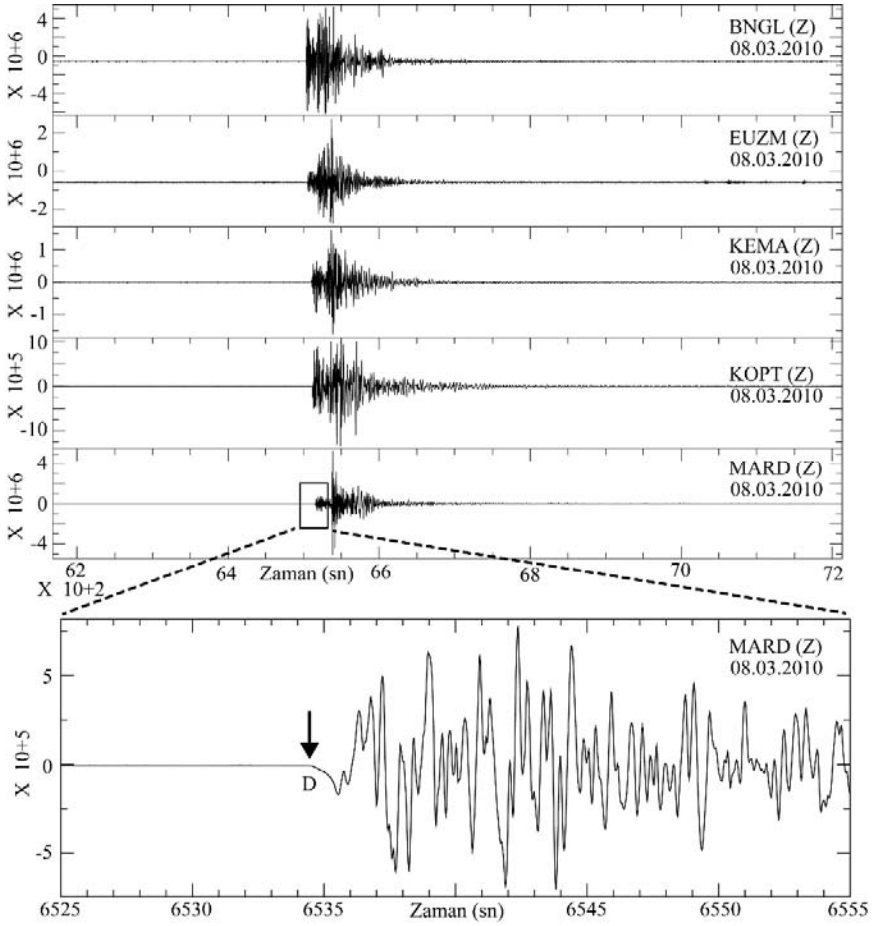
Bu çalışma kapsamında üretilen WinFOC programı, Schmidt eşit alan alt odak yarımküre projeksiyonuna göre OMÇ parametrelerini hesaplamaktadır (Şekil 2). WinFOC programında düzlemlere ait boylam daireleri klavye veya fare kullanılarak değiştirilebilmekte, sıkışma ve açılma bölgeleri elle ayrılabilmektedir. Boylam daireleri 0,1° - 5° arasında değişen 6 farklı adım aralığında ilerleyebilmektedir. Böylece depreme kaynaklık eden bir fayın hareket kinematiği istenen hassasiyette ortaya konabilmektedir. Farklı denemeler için kullanıcı tarafından elde edilen başarı (sıkışma ve açılma noktacıklarının kendi bölgeleri içinde kalma sayısına göre hesaplanan aritmetik oran) anlık görüntülenebilmektedir. Benzer programlardan farklı olarak WinFOC, farklı bölge içinde kalan bir istasyonu, o noktacığın üzerine fare ile gelindiğinde görüntüleyebilmektedir. Bu sayede kullanıcıya, o istasyona ait P-dalgası ilk hareket yönünü kontrol etme fırsatı sunulmaktadır [31]. 1.düzleme ait parametre bilgileri esas alınarak faylanmayı en iyi temsil eden model 3-B blok diyagramı olarak görüntülenebilmektedir [32].



Şekil 2. İki kuvvet çifti kuramına ve P-dalgası ilk hareket yönüne göre odak mekanizması çözüm tekniği şematik diyagramı C: Sıkışma D: Açılma [17]
(Schematic diagram of the P-wave first motion focal mechanism solution technique according to the double-couple source theory C: Compression D: Dilatation [17])

3. UYGULAMA (APPLICATION)

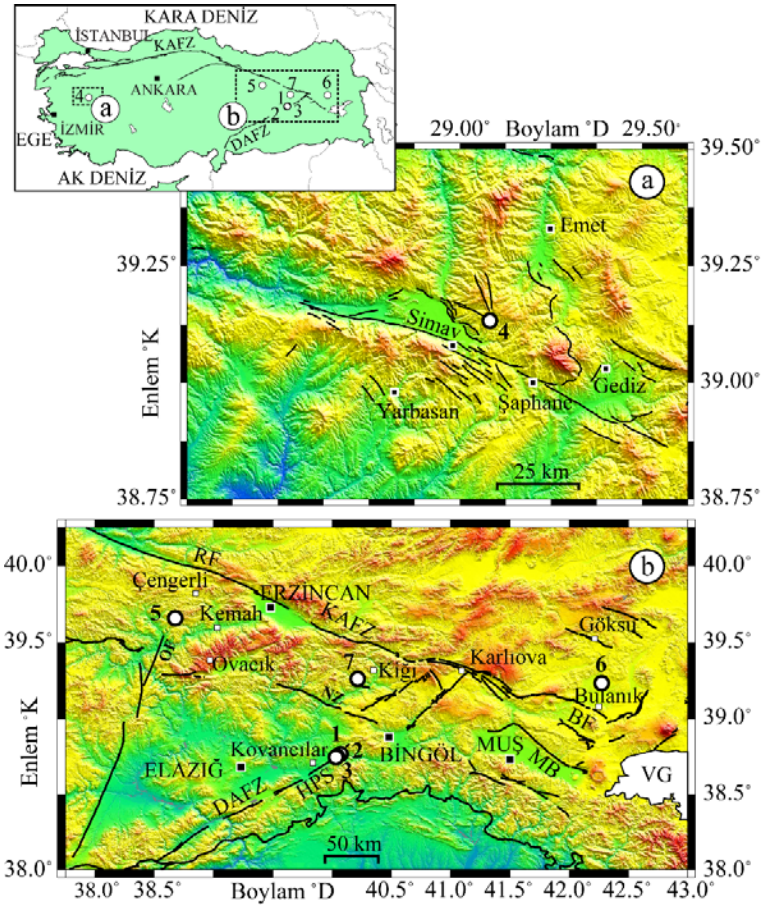
Meydana gelen depremlerin OMÇ parametreleri hesaplanmadan önce; iyi azimutal dağılıma sahip olması, büyüklüğünün M=5,0'den fazla, depremi kaydeden istasyonlar arasındaki en büyük boşluk açısı (GAP)'nın 100°'den küçük olması, polarite okuması için yeterli sayıda istasyonda Z-bileşeninin olması koşulları araştırılmıştır. Elde edilen bulguların karşılaştırılması amacıyla, seçilen depremlerin OMÇ parametrelerinin başka kaynaklar (uluslararası/ulusal kurumlar) tarafından rapor edilmiş olmasına da ayrıca dikkat edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm sayısal veriler AFAD Türkiye Deprem Veri Merkezi (TDVM) Sistemi'nden temin edilmiştir. Sadece Z bileşenler kullanılmış ve bu bileşenler üzerinde P-dalgası ilk hareket yönü tayini (polarite okuması) yapılmıştır. MARD istasyonunda P-dalga ilk hareket yönü, giriş dosyasına aşağıya (açılma, D) olacak şekilde (-1 olarak) girilmiştir (Şekil 3). 2010-2015 yılları arasına ait yukarıda koşulları sağlayan depremlerin lokasyonları Şekil 4'de, AFAD tarafından rapor edilen çözümleri ise Tablo 1'de verilmiştir. Genelleştirilmiş diri fay bilgileri MTA Çizim editöründen [33] sayısallaştırılmıştır. Kısaltmalar; BF: Bulanık Fayı, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, HPS: Hazar Gölü-Palu segmenti, KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, MB: Muş Bindirmesi, NF: Nazimiye Fayı, OF: Ovacık Fayı, RF: Refahiye Fayı, VG: Van Gölü. GAP: Depremi kaydeden istasyonlar arasındaki en büyük boşluk açısı, GMT: Greenwich zamanı, h: Derinlik (km), M_L: Yerel büyüklük, NS: Depremi kaydeden ve polarite bilgisi mevcut olan istasyon sayısı. Lokasyon bilgileri AFAD Deprem Dairesi Başkanlığından alınmıştır. Bu çalışma kapsamında incelenen depremlere ait rapor edilen OMÇ parametreleri; başta Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi (EMSC) olmak üzere farklı kurumlardan ve kaynaklardan derlenmiştir. Tablo 2'de kullanılan kısaltmalar sırasıyla; ϕ: Doğrultu açısı, δ: Eğim açısı, λ: Kayma açısı, 1: HARV, Harvard-CMT [34], 2: USGS, ABD Jeolojik Araştırmalar [35], 3: INGV, İtalyan Ulusal Jeofizik ve Volkanoloji Enstitüsü [36], 4: GFZ, Alman Yerküre Araştırma Merkezi [37], 5: UOA, Atina Üniversitesi [38], 6: GCMT, Küresel CMT [39], 7: KRDAE, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü [40], 8: AFAD-MT, AFAD Moment tensör çözümü [41], 9: AFAD-FP [42], AFAD P-dalgası ilk hareket yönü çözümü, 10: Bu çalışma, Az: Düzlemin doğrultu açısı, P ve T: Sıkışma ve gerilme eksenleri, Ref: Depremi rapor eden kaynak, Başarı: P-dalgası ilk hareket yönüne göre sıkışma ve açılma bölgelerinin, bu çalışma kapsamında ayrılma başarısıdır. İlk üç deprem, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde 8 Mart 2010 tarihinde meydana gelen Elazığ-Kovancılar depremi (M_L=5,8) ile sonrasında 4'er saat arayla oluşan iki artçı sarsıntıya aittir. Her üç deprem, yerkabuğunun ilk 15 km derinliğinde kırılgan sismojenik zonda meydana gelmiştir. Saat 02h32 (GMT)'de oluşan ana şok, 35 istasyon tarafından kaydedilmiş ve bu depremlere ait Z-bileşen sayısal dalga formlarında polarite okumaları yapılmış 35 istasyon tarafından kaydedilmiştir. GAP açıklık değeri 69°'dir (Tablo 1). Bu çalışma kapsamında elde edilen OMÇ parametrelerine göre faylanma K48°D doğrultuya ve 70° eğim açısına sahiptir. Sıkışma ve açılma bölgelerinin ayrılma başarısı %96 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2, Şekil 5).



Şekil 3. AFAD Türkiye Deprem Veri Merkezi Sistemi (*tdvm.afad.gov.tr*)'nden MiniSEED formatında indirilen 8 Mart 2010 (M5,8) tarihli depremi kaydeden istasyonlardan bir kaçına ait düşey (Z) bileşen görüntüleri
(Traces of vertical (Z) component of some stations as downloaded in Mini SEED format from the Turkey Earthquake Data Center System (*tdvm.afad.gov.tr*) for the event 8 March 2010 (M5,8))

Çok az düşey (normal) atım bileşene sahip baskın yanal (sol yönlü doğrultu) atımlı bir verev fay Kovancılar depremini üretmiştir. Benzer bulgular [43] farklı çalışmalar kapsamında da elde edilmiştir [44]. Öte yandan ana şok ile ilişkili olarak ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından 6 mekanizma çözümü rapor edilmiş ve WinFOC'dan elde edilen sonuçların bu bulgularla uyumlu olduğu gözlenmiştir. Konum ve fay düzlemi çözüm parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir (20100308A) (Şekil 6).

Kovancılar depreminin ilk kuvvetli artçısı, yaklaşık 5 saat sonra saat 07h47'de meydana gelmiştir. Konum itibariyle literatürde rapor edilen beş segmentten oluşan DAFZ'nuna ait Hazar Göl-Palu segmenti ile ana şok arasında M_L=5,6 büyüklüğünde oluşmuştur. Polarite okuması mevcut 33 istasyon tarafından kaydedilen depremin GAP açıklık değeri 70º olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu çalışma kapsamında elde edilen OMÇ parametrelerine göre faylanma K47ºD doğrultuya ve 69º eğim açısına sahiptir. Sıkışma ve açılma bölgeleri, düzlemlerin değişim aralığı 0,5º veya 0,2º seçilince tam ayrılamamış, ama adım aralığı 0,1º 'ye düşürülünce tamamen (%100) ayrılmıştır (Tablo 2). Bu sonuç WinFOC'un, OMÇ hesaplamasından hassasiyetini göstermesi bakımından örnek bir çalışma teşkil etmiştir (Şekil 7). Elde edilen sonuç, depremin ana şok OMÇ parametreleri ile uyumlu olacak şekilde az normal atım bileşene sahip baskın sol yönlü doğrultu atımlı bir fay tarafından üretildiğini göstermiştir. Bu deprem için, ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından 4 mekanizma çözümü rapor edilmiştir. WinFOC'dan elde edilen odak mekanizması çözüm parametreleri, söz konusu kurumların açıkladığı parametrelerle uyumludur. Konum ve fay düzlemi çözüm parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir (20100308B) (Şekil 8). Bu çalışma kapsamında incelenen Kovancılar depreminin diğer kuvvetli artçısı ise saat 11h12'de Palu yakınlarında meydana gelmiş ve bir önceki artçı ile hemen hemen yakın lokasyonda konumlanmıştır. Depremin büyüklüğü M_L=5,0 olarak rapor edilmiştir. Polarite okuması mevcut 27 istasyon tarafından kaydedilen depremin GAP açıklık değeri 70º olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu çalışma kapsamında elde edilen OMÇ parametrelerine göre faylanma K53ºD uzanımına ve 87º eğim açısına sahiptir. Sıkışma ve açılma bölgeleri tamamen (%100) ayrılmıştır (Tablo 2, Şekil 9).



Şekil 4. Bu çalışma kapsamında odak mekanizması çözümü yapılan a) Simav ve yakın çevresinde (No. 4) b) Erzincan, Elazığ, Bingöl ve Muş dolaylarında (No: 1, 2, 3, 5, 6, 7) meydana depremlerin konumları (Bkz: Tablo 1) ve ana tektonik unsurların dağılımı

(Investigated focal mechanisms of earthquakes located a) near Simav and surroundings (Nr. 4) b) in the vicinity of Erzincan, Elazığ, Bingöl and Mus (Nr: 1, 2, 3, 5, 6, 7) (see: Table 1) and distribution of main tectonic features

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan 7 depreme (GAP≤70°, M_L≥5,0.) ait lokasyon bilgileri

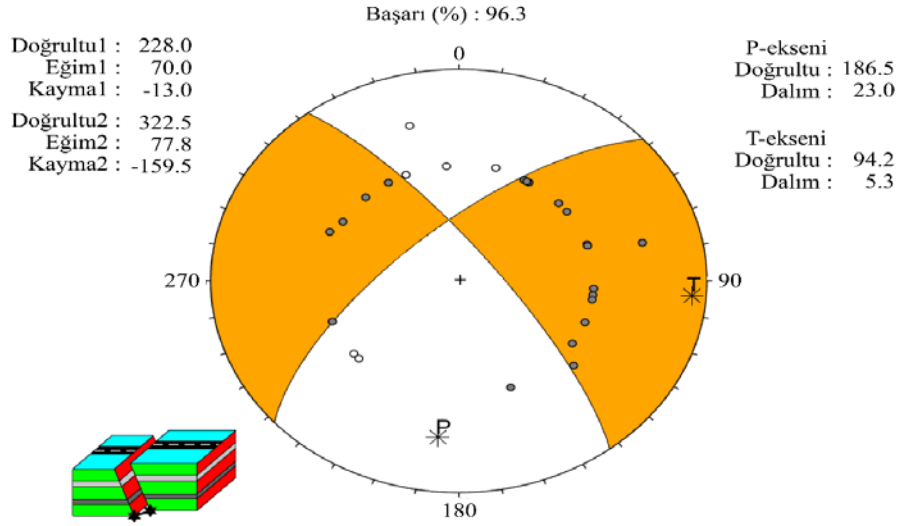
(Location information of 7 earthquakes (GAP≤70o, ML≥5.0) used in the present study)

No	Tarih (YılAyGün)	t_0 oluş zamanı (sa:dk, GMT)	Enlem (° K)	Boylam (° D)	h (km)	M_L	GAP (°)	NS	YER
1	20100308A	02:32	38,7665	40,0712	05	5,8	69	35	Elazığ-Kovancılar
2	20100308B	07:47	38,7518	40,0418	15	5,6	70	33	Elazığ-Kovancılar
3	20100308C	11:12	38,7452	40,0342	12	5,0	70	27	Elazığ-Palu
4	20110519	20:15	39,1328	29,0820	24	5,7	27	50	Kütahya-Simav
5	20110922	03:22	39,6597	38,6777	07	5,4	46	57	Erzincan-Kemah
6	20120326	10:35	39,2340	42,2760	17	5,0	46	32	Muş-Bulanık
7	20151202	23:27	39,2610	40,2170	11	5,3*	28	52	Bingöl-Kiğı

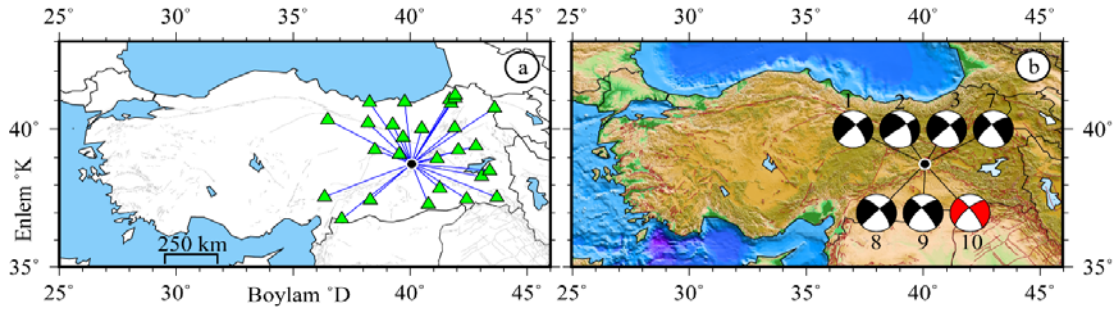
(*): Moment büyüklüğü, Mw (Moment magnitude, Mw)

Tablo 2. Depremlere kaynaklık eden fayların, bu çalışmada hesaplanan ve farklı kaynaklar tarafından rapor edilen OMÇ parametreleri) (Parameters of focal mechanisms solution-FMS calculated and reported from different studies)

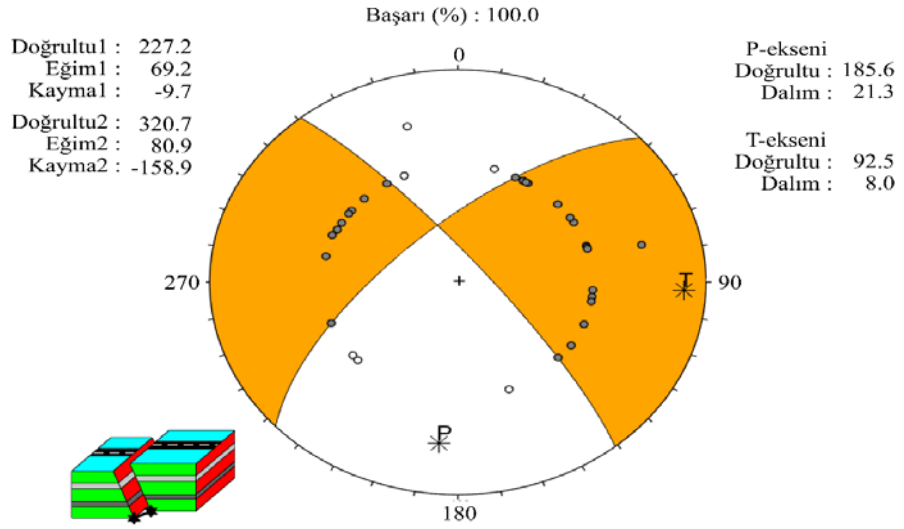
Deprem	Ref	ϕ (º)	δ (º)	λ (º)	P		T		Başarı (%)
					ϕ (º)	δ (º)	ϕ (º)	δ (º)	
20100308A	1	228	83	-21	182	20	276	10	-
	2	236	86	-35	182	27	284	21	-
	3	246	81	-25	200	24	295	11	-
	7	229	75	-14	186	20	96	1	-
	8	231	76	-22	188	26	280	5	-
	9	227	68	-11	186	23	92	8	93
	10	228	70	-13	187	23	94	5	96
20100308B	1	231	78	-11	187	16	97	0	-
	3	224	73	-21	182	27	273	2	-
	8	230	78	-10	186	16	96	2	-
	9	228	60	-9	189	27	92	15	94
	10	227,2	69,2	-9,7	186	21	93	8	100
20100308C	8	252	76	-5	208	13	117	6	-
	9	54	86	-1	9	4	279	2	97
	10	53	87	-1	8	3	278	1	100
20110519	5	282	51	-97	153	82	17	6	-
	9	278	66	-117	149	60	28	17	88
	10	276	68	-121	146	56	28	17	92
20110922	1	239	77	-5	195	12	104	6	-
	2	239	77	-5	195	13	104	6	-
	3	327	78	176	192	6	283	11	-
	5	329	85	172	15	2	284	9	-
	7	330	86	167	16	6	285	12	-
	8	54	66	-27	15	36	105	0	-
	9	153	61	-171	12	26	109	14	93
	10	154	64	-169	14	26	109	11	97
20120326	2	77	45	97	342	1	78	85	-
	3	62	51	67	168	3	269	72	-
	4	68	42	77	347	3	236	81	-
	7	155	44	-48	142	61	36	8	-
	8	223	44	52	159	7	55	64	-
	9	116	67	168	342	8	75	24	81
	10	119	72	172	344	7	77	18	88
20151202	2	112	64	168	337	10	73	27	-
	3	329	62	-136	186	50	89	6	-
	4	322	50	-142	167	52	267	7	-
	6	317	68	-157	177	31	267	1	-
	7	321	60	-150	176	42	268	3	-
	8	310	87	-171	175	9	85	4	-
	9	317	72	-161	179	26	269	0	94
	10	310	83	-158	176	20	82	10	96



Şekil 5. 8 Mart 2010 tarihinde meydana gelen ML=5,8 büyüklüğündeki depremin WinFOC çözümü (Lokasyon bilgileri için: Bkz. Tablo 1, 20100308A)
(WinFOC solution of earthquake occurred on 8 March 2010 with a magnitude ML=5,8, see: Table 1 for location information, 20100308A)

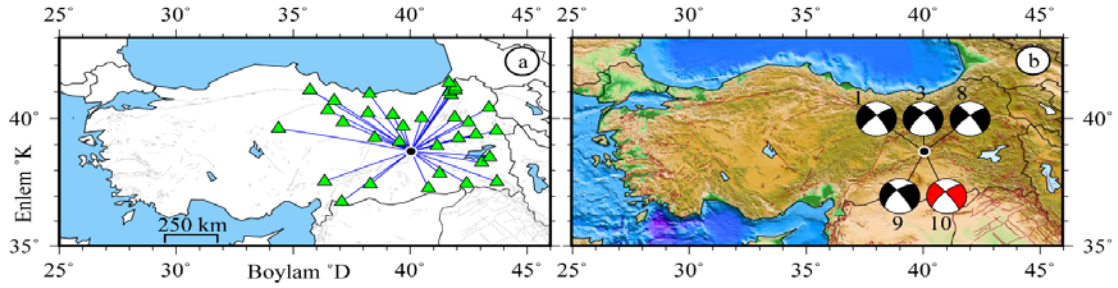


Şekil 6. 8 Mart 2010 tarihinde meydana gelen M_L=5,8 büyüklüğündeki depremin a) Lokasyonu ve depremi kaydeden istasyonların azimutal dağılımı b) Bu çalışma kapsamında bulunan ve farklı kurumlar tarafından rapor edilen odak mekanizması çözümleri (a) Azimuthal distribution of stations and location b) Focal mechanisms solutions reported by different institutions and determined from the present study of earthquake occurred on 8 March 2010 with a magnitude M_L=5,8)

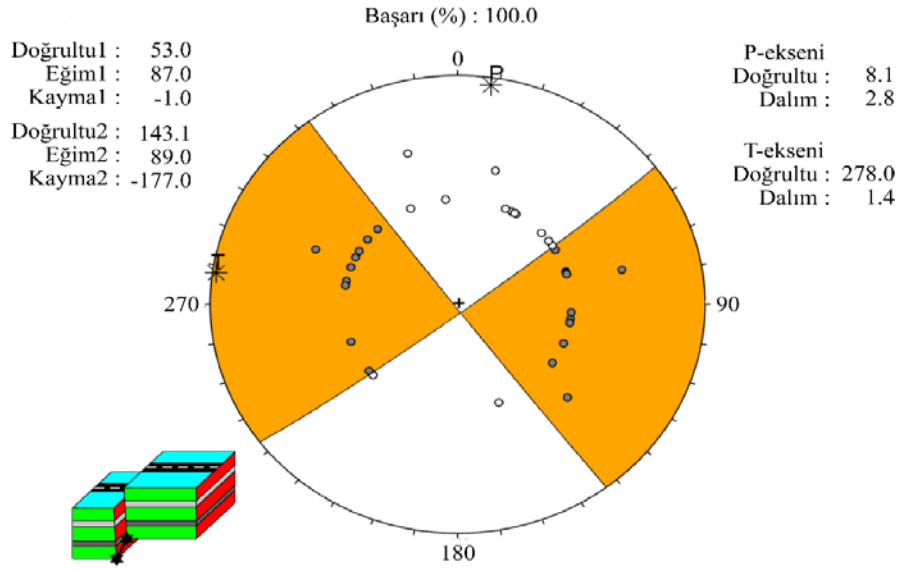


Şekil 7. 8 Mart 2010 tarihinde meydana gelen M_L=5,6 büyüklüğündeki depremin WinFOC çözümü (Lokasyon bilgileri için: Bkz. Tablo 1 20100308B)
(WinFOC solution of earthquake occurred on 8 March 2010 with a magnitude M_L=5,6 see: Table 1 for location information, 20100308B)

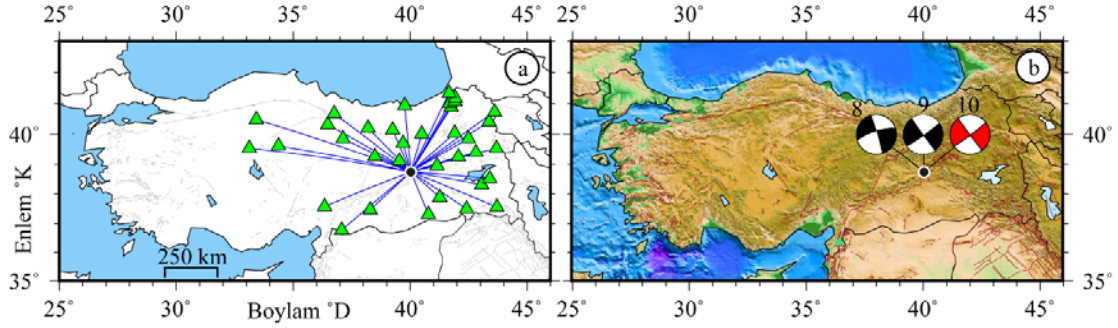
Tam sol yönlü doğrultu atımlı fay, Palu yakınlarında meydana gelen bu depremi üretmiştir. M_L=5,0 büyüklüğündeki bu deprem için AFAD, iki farklı teknikle OMÇ rapor etmiştir. Faylanmanın hareket kinematiğini ortaya koymaya yönelik olarak WinFOC tarafından elde edilen fay düzlemi parametreleri, AFAD P-dalgası ilk hareket yönünden hesaplanan bulgularla daha uyumludur. Konum ve fay düzlemi çözüm parametreleri sırasıyla Tablo



Şekil 8. 8 Mart 2010 tarihinde meydana gelen M_L=5,6 büyüklüğündeki depremin a) Lokasyonu ve depremi kaydeden istasyonların azimutal dağılımı b) Bu çalışma kapsamında bulunan ve farklı kurumlar tarafından rapor edilen odak mekanizması çözümleri (a) Azimuthal distribution of stations and location b) Focal mechanisms solutions reported by different institutions and determined from the present study, of earthquake occurred on 8 March 2010 with a magnitude M_L=5,6)

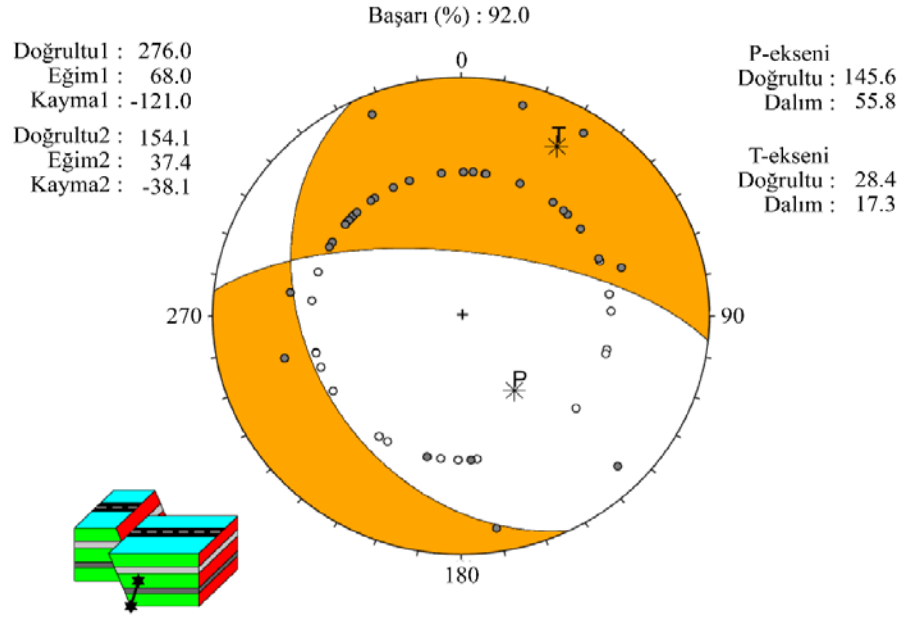


Şekil 9. 8 Mart 2010 tarihinde meydana gelen M_L=5,0 büyüklüğündeki depremin WinFOC çözümü (Lokasyon bilgileri için: Bkz. Tablo 1 20100308C)
(WinFOC solution of earthquake occurred on 8 March 2010 with a magnitude M_L=5,0 see: Table 1 for location information 20100308C)

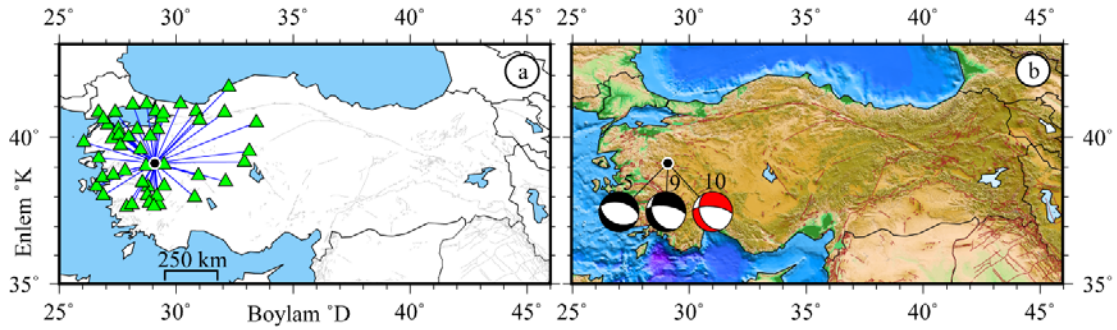


Şekil 10. 8 Mart 2010 tarihinde meydana gelen M_L=5,0 büyüklüğündeki depremin a) Lokasyonu ve depremi kaydeden istasyonların azimutal dağılımı b) Bu çalışma kapsamında bulunan ve farklı kurumlar tarafından rapor edilen odak mekanizması çözümleri (a) Azimuthal distribution of stations and location b) Focal mechanisms solutions reported by different institutions and determined from the present study of earthquake occurred on 8 March 2010 with a magnitude M_L=5,0)

1 ve 2'de verilmiştir (20100308C) (Şekil 10). 19 Mayıs 2011 tarihli M_L=5,7 büyüklüğündeki deprem, graben sistemlerinin yoğun gözlendiği bir bölgede, ülkemizin batısında Kütahya-Simav yakınlarında meydana gelmiştir. Polarite okuması mevcut 50 istasyon tarafından kaydedilen depremin GAP açıklık değeri, istasyon konumlarının azimutal olarak iyi dağılmış olması nedeniyle 27° olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Depremin meydana geldiği bölge, sağa sıçramalı büklümde gelişmiş açılmalı bir havza olarak biçimlenmiştir. Bu havzanın KD kenarı (episantır civarı), normal faylarla sınırlıdır. Havza; K-KD yönüne 70° eğimli, birbirinden 2-3 km uzakta, 16-22 km uzunluğunda eğim atımlı [45] iki sintetik fay segmentinin denetimi altındadır [46]. OMÇ incelenen bu depremde, sıkışma ve açılma bölgelerinin ayrılma başarısı %92'dir (Tablo 2, Şekil 11). UOA tam normal fay ve AFAD ise sağ yanal doğrultu atım bileşenli baskın normal fay hareket mekanizması rapor etmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen fay düzlemi çözüm parametreleri, AFAD P-dalgası ilk hareket yönünden hesaplanan bulgularla uyumludur. Konum ve fay düzlemi çözüm parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir (20110519) (Şekil 12). 22 Eylül 2011 tarihli M_L=5,4 büyüklüğündeki deprem, Erzincan'a bağlı Refahiye ile Kemah arasında meydana gelmiştir. Episantırın ~25 km K'inde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nun sağ yönlü doğrultu atım karakterindeki Refahiye Fayı, ~35 km G'inde ise sol yönlü doğrultu atım karakterindeki Ovacık Fayı bulunmaktadır [47]. Polarite okuması mevcut 57 istasyon tarafından kaydedilen bu depremin GAP açıklık değeri 46° olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). OMÇ incelenen bu depremde, sıkışma ve açılma bölgelerinin ayrılma başarısı %97'dir (Tablo 2, Şekil 13). Depremin meydana geldiği bölgede artçıların dağılımından depremi K154°D uzanımlı, 64° GD yönüne eğimli Ovacık fayının ürettiği düşünülmüştür. Bu deprem için, ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından, 7 mekanizma çözümü rapor edilmiştir.

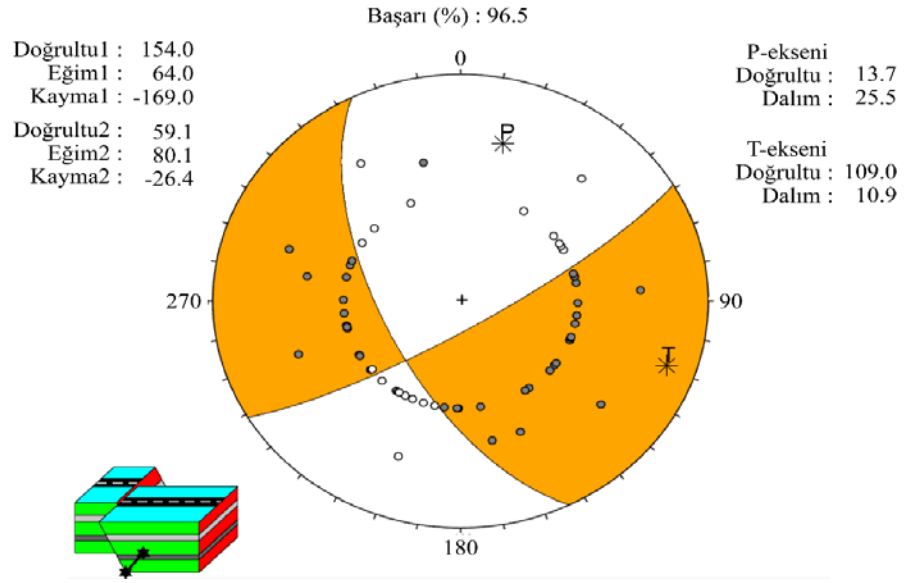


Şekil 11. 19 Mayıs 2011 tarihinde meydana gelen M_L=5,7 büyüklüğündeki depremin WinFOC çözümü (Lokasyon bilgileri için Bkz. Tablo 1 20110519)
(WinFOC solution of earthquake occurred on 8 March 2010 with a magnitude M_L=5,7 see: Table 1 for location information, 20110519)

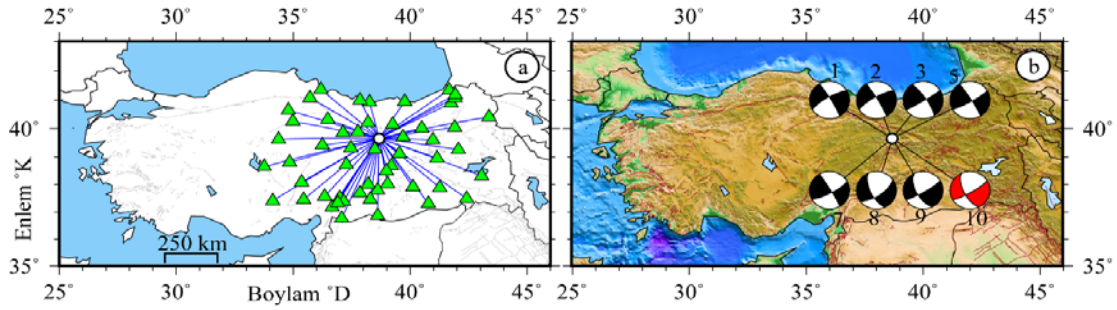


Şekil 12. 19 Mayıs 2011 tarihinde meydana gelen M_L=5,7 büyüklüğündeki depremin a) Lokasyonu ve depremi kaydeden istasyonların azimutal dağılımı b) Bu çalışma kapsamında bulunan ve farklı kurumlar tarafından rapor edilen odak mekanizması çözümleri (a) Azimuthal distribution of stations and location b) Focal mechanisms solutions reported by different institutions and determined from the present study of earthquake occurred on 19 May 2011 with a magnitude M_L=5,7)

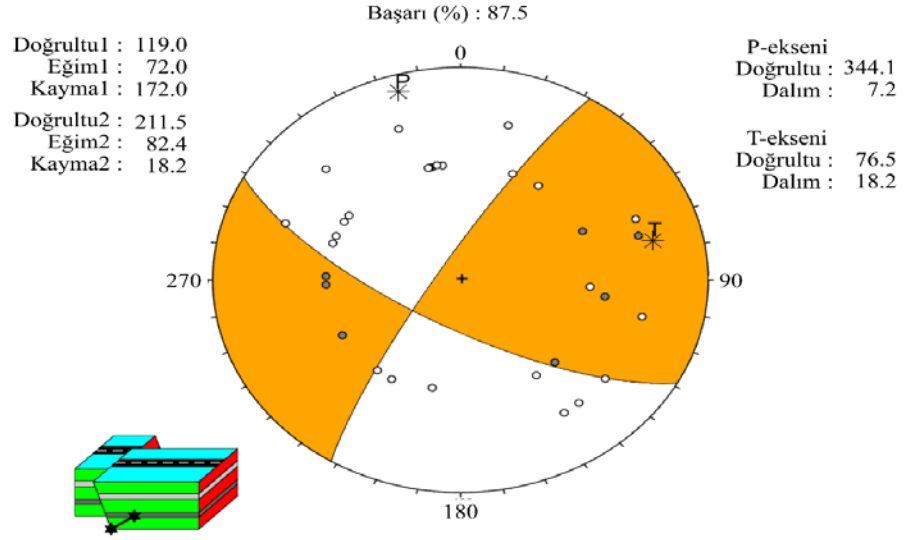
WinFOC'dan elde edilen odak mekanizması çözüm parametreleri, hepsinde baskın sol yönlü doğrultu atımlı faylanmayı işaret eden söz konusu kurumların açıkladığı parametrelerle uyumludur. Konum ve fay düzlemi çözüm parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir (20110922) (Şekil 14). 26 Mart 2012 tarihli M_L=5,0 büyüklüğündeki deprem, K-G sıkışmalı tektonik rejim altında deformasyona uğrayan Doğu Anadolu'nun en büyük tektonik yapılarından biri olan 25 km uzunluğunda ~D-B uzanımlı Muş Bindirmesi kuzeyinde yer alan, KB-GD uzanımlı Bulanık Fayının kuzeyinde meydana gelmiştir [48]. Polarite okuması mevcut 32 istasyon tarafından kaydedilen bu depremin GAP açıklık değeri 46° olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu çalışma kapsamında elde edilen OMÇ parametrelerine göre faylanma K142°D uzanımına ve 65° eğim açısına sahiptir. Sıkışma ve açılma bölgelerinin ayrılma başarısı %88'dir (Tablo 2, Şekil 15). Bölgede artçı sarsıntıların dağılımından K119°D uzanımlı, 72° GB yönüne eğimli ters fay bileşeni olan baskın sağ yönlü doğrultu atımlı Bulanık fayının bu depremi ürettiği düşünülmüştür. Bu deprem için, ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından, 6 mekanizma çözümü rapor edilmiştir. Karmaşık bir sismotektonik yapıyı işaret eden bu depremi baskın normal, baskın ters ya da baskın bir doğrultu atımlı fayın üretmiş olabileceği rapor edilmiştir. WinFOC'dan elde edilen odak mekanizması çözüm parametreleri, baskın doğrultu atımlı fay kinematiği ile uyumludur. Konum ve fay düzlemi çözüm parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir (20120326) (Şekil 16). Bu çalışma kapsamında gerçek deprem verileriyle yapılan son uygulama, 2 Aralık 2015 tarihinde M_W=5,3 büyüklüğünde, KB-GD uzanımlı KAF ve Nazimiye Fayları arasındaki bölgede, KAF'ın 25 km kadar güneyinde meydana gelen Bingöl-Kığı depremine aittir. Odak derinliği ~11 km olarak rapor edilen bu deprem sonrasında meydana gelen artçı sarsıntıların KB-GD uzanımlı olduğu belirlenmiştir [49].



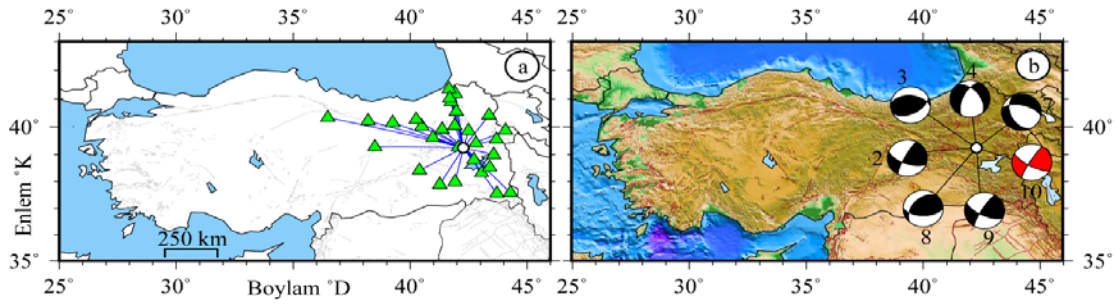
Şekil 13. 22 Eylül 2011 tarihinde meydana gelen M_L=5,4 büyüklüğündeki depremin WinFOC çözümü (Lokasyon bilgileri için Bkz. Tablo 1, 20110922)
(WinFOC solution of earthquake occurred on 22 September 2011 with a magnitude M_L=5,4, see: Table 1 for location information, 20110922)



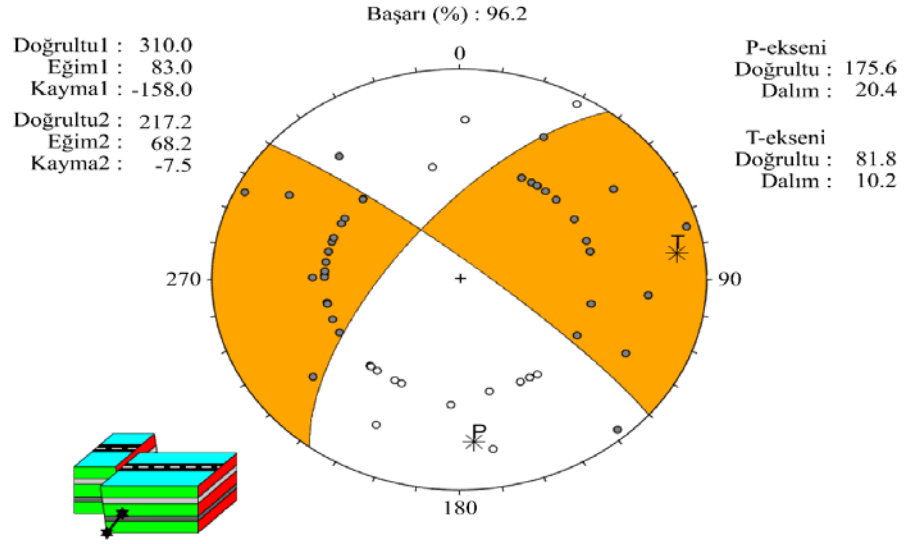
Şekil 14. 22 Eylül 2011 tarihinde meydana gelen M_L=5,4 büyüklüğündeki depremin a) Lokasyonu ve depremi kaydeden istasyonların azimutal dağılımı b) Bu çalışma kapsamında bulunan ve farklı kurumlar tarafından rapor edilen odak mekanizması çözümleri((a) Azimuthal distribution of stations and location (b) Focal mechanisms solutions reported by different institutions and determined from the present study, of earthquake occurred on 22 September 2011 with a magnitude M_L=5,4)



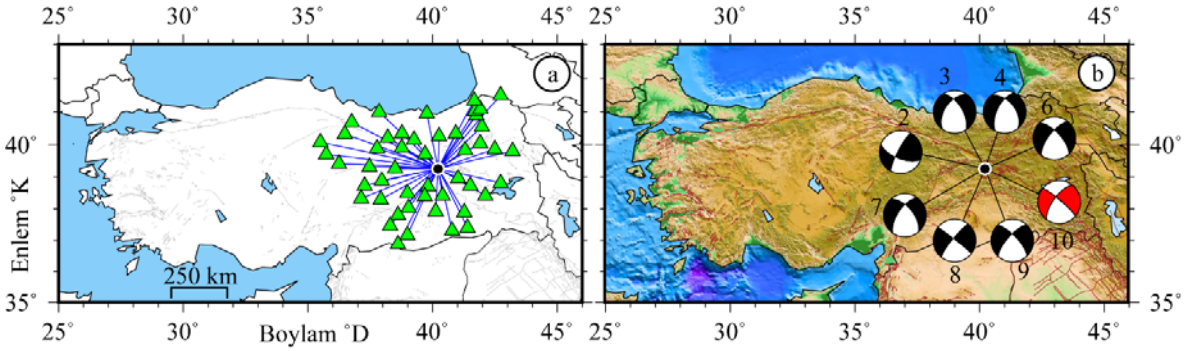
Şekil 15. 26 Mart 2012 tarihinde meydana gelen M_L=5,0 büyüklüğündeki depremin WinFOC çözümü (Lokasyon bilgileri için Bkz. Tablo 1 20120326)
(WinFOC solution of earthquake occurred on 26 March 2012 with a magnitude M_L=5,0 see: Table 1 for location information, 20120326)



Şekil 16. 26 Mart 2012 tarihinde meydana gelen M_L=5,0 büyüklüğündeki depremin; a) Lokasyonu ve depremi kaydeden istasyonların azimutal dağılımı b) Bu çalışma kapsamında bulunan ve farklı kurumlar tarafından rapor edilen odak mekanizması çözümleri (a) Azimuthal distribution of stations and location b) Focal mechanisms solutions reported by different institutions and determined from the present study of earthquake occurred on 22 September 2011 with a magnitude M_L=5,0)



Şekil 17. 2 Aralık 2015 tarihinde meydana gelen Mw=5,3 büyüklüğündeki depremin WinFOC çözümü (Lokasyon bilgileri için Bkz. Tablo 1, 20151202)
(WinFOC solution of earthquake occurred on 2 December 2015 with a magnitude M_W=5,3 see: Table 1 for location information, 20151202)



Şekil 18. 2 Aralık 2015 tarihinde meydana gelen M_W=5,3 büyüklüğündeki Kütahya-Simav depremin; a) Lokasyonu ve depremi kaydeden istasyonların azimutal dağılımı b) Bu çalışma kapsamında bulunan ve farklı kurumlar tarafından rapor edilen odak mekanizması çözümleri (a) Azimuthal distribution of stations and location b) Focal mechanisms solutions reported by different institutions and determined from the present study of earthquake occurred on 2 December 2015 with a magnitude M_W=5,8)

Polarite okuması mevcut 52 istasyon tarafından kaydedilen depremin GAP açıklık değeri, istasyon konumlarının azimutal olarak iyi dağılmış olması nedeniyle 28° olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). OMÇ incelenen bu depremde, sıkışma ve açılma bölgelerinin ayrılma başarısı %96'dır (Tablo 2, Şekil 17). Artçı sarsıntı dağılımından depremlere kaynaklık eden fayın normal atım bileşenli yanal fay olduğu düşünülmektedir. Bu deprem için, ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından, 7 mekanizma çözümü rapor edilmiştir. Bu sonuçların dördü baskın normal, üçü ise baskın doğrultu atımlı faylanmayı işaret etmiştir. WinFOC'dan elde edilen odak mekanizması çözüm parametreleri, baskın doğrultu atımlı faylanmayı işaret eden çözümlerle uyumludur. Konum ve fay düzlemi çözüm parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir (20151202) (Şekil 18)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR
(RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışma kapsamında, yeni bir odak mekanizması çözüm programı olan WinFOC ile bazı depremlerin fay hareket kinematiği analiz edilmiştir. Bu depremlerin üçü, 8 Mart 2010 tarihinde Kovancılar-Elazığ civarlarında meydana gelmiştir. WinFOC ile elde edilen her üç odak mekanizması çözümü, DAF [50] zonunun hareket kinematiği [51] ile uyumludur. Aynı depremler için uluslararası ve ulusal kurumlar tarafından, farklı yöntemler kullanılarak rapor edilen OMÇ parametrelerine de yakın değerler hesaplanmıştır. Kovancılar depreminin konumu, artçı deprem etkinliğinin dağılımı ve odak hareket mekanizması göz önüne alındığında, Hazar Gölü-Palu segmentinin literatürde rapor edilen ~50 km uzanıma ek olarak KD'ya doğru devam ettiği gözlenmiştir [52]. 19 Mayıs 2011 tarihli M_L=5,7 büyüklüğündeki Simav-Kütahya depreminin meydana geldiği bölgedeki tektonik unsurların uzanımı ve artçıların dağılımı [53] incelenerek, 68° KD yönüne eğimli az sağ yönlü doğrultu atım bileşenine sahip baskın bir normal fayın bu depremi ürettiği sonucuna varılmıştır. Hesaplanan OMÇ parametrelerine göre fay K96°D olacak şekilde KD-GB uzanımlıdır. 22 Eylül 2011 Kemah-Erzincan depremi için kaynak olabilecek fay hakkında tektonik bulgulardan net yorum yapılamamıştır. Ancak ana şok ve sonrasında meydana gelen artçı dağılımına göre, KD-GB uzanımlı az normal atım bileşenine sahip olan baskın sol yönlü Ovacık Fayı (OF)'nın bu depremi ürettiği anlaşılmıştır [54]. İncelenen depremler içinde 26 Mart 2012 Muş-Bulanık depreminin karmaşık bir sismotektoniğe sahip olduğu gözlenmiştir [55]. OMÇ parametrelerine göre KB-GD uzanımlı, az ters fay bileşeni olan baskın sağ yönlü doğrultu atımlı Bulanık Fayı (BF)'nın bu depremi ürettiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma kapsamında fay kinematiği incelenen son deprem, 2 Aralık 2015 tarihli Bingöl-Kığı depremidir. Artçı sarsıntıların dağılımından bu depreme kaynaklık eden fayın K130°D doğrultulu, KD yönüne 83° eğimli az normal atım bileşeni olan baskın sağ yönlü doğrultu atımlı fay olduğu belirlenmiştir.

Bir depremin yetersiz sayıda istasyon tarafından kaydedilmesi veya hatalı okunan polarite bilgileri ile OMÇ yapılması, sadece WinFOC'da değil benzer programlar için de çok çözümlü fay düzlemleri sonucunun oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumda depremi üreten fayın hareket kinematiği sağlıklı belirlenemez. Bu yazılım (mevcut sürüm); sayısal dalga formu kullanan, magnitüdü küçük olan ve az sayıda istasyon tarafından kaydedilse de OMÇ parametrelerini farklı yöntem kullanarak hesaplayan programların rakibi değildir. Bununla birlikte dünya bilim literatürüne geçmiş birçok büyük fay sistemlerini barındıran ülkemizde, özellikle 2005 yılından sonra kurulmaya başlanan [56] ve sayısı günümüzde hala artmaya devam eden geniş-bant deprem istasyon ağı sayesinde depremlerin fay kinematiği, WinFOC programı ile de doğru ve hassas bir şekilde ortaya konabilir. Programın sonraki sürümlerinde giriş dosyasına, istasyonlara ait polarite okumalarındaki kesinlik (I, impulsive) veya şüpheli (E, emergent) okuma bilgileri girildiğinde, sezgisel yöntemler [57] kullanılarak sıkışma ve açılma bölgelerinin birbirinden çok daha hassas ayrılması ileride mümkün olabilir. Geri bildirimler doğrultusunda faydalı ek modüllerin ilave edilmesi, programın ileride çok daha gelişmesini sağlayabilir. Mevcut haliyle bu çalışma, nitelikli araştırma ve eğitim faaliyetleri kapsamında sismoloji'de ülkemizin ihtiyaç duyduğu anlaşılır, basit, pratik ve özgün interaktif yazılımların geliştirilebileceğine dair bir örnek teşkil etmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

WinFOC v2'nin geliştirilmesine katkı sağlayan Rivera [58], Boyd [19], Kumar [20] ve Suetsugu [4] teşekkür ederiz. WinFOC v2 yazılımının mevcut hale gelmesi noktasında önemli bilgi, doküman ve yazılım alt yapısı sağlayan AFAD Deprem Dairesi Başkanlığından Recai Kartal'a teşekkürü bir borç biliriz. Yazılım üzerinde ön inceleme yaparak değerli katkılar ve fikirler sunan Haluk Eyidoğan'a, makaleyi değerlendirerek önemli geri bildirimlerde ve düzeltme önerilerinde bulunan hakemlere teşekkür ederiz. Deprem lokasyon çözümlemeleri ve istasyonların konumları AFAD Deprem Dairesi Başkanlığından, Z-bileşene ait sayısal dalga formları AFAD Türkiye Deprem Veri Merkezi (TDVM) Sistemi'nden temin edilmiştir. Z-bileşen sayısal dalga formlarında polarite okuması Seismic Analysis Code (SAC) programında çizdirilmiştir [59]. Haritalar, Generic Mapping Tools (GMT) programıyla üretilmiştir [60]. WinFOC yazılımı, Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Sismoloji Laboratuarı (DEÜ SismoLab)'nda geliştirilmiştir. Bu çalışma, TÜBİTAK-1007 KAMAG tarafından desteklenmiş olup, İş Paketi-1 ve İş Paketi-3 ortak çıktısıdır (Proje No: 106G159). WinFOC'un güncel elektronik sürümü ve kullanım kılavuzu http://people.deu.edu.tr/orhan.polat /winfoc adresinden indirilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Reasenberg P., Oppenheimer D., FPFIT, FPPLOT and FPPAGE: FORTRAN computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions, U.S. Geol. Surv. Open File Report, 85-739, 109s, 1985.
2. Snoke J.A., Munsey J.W., Teague A.C., Bollinger G.A., A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV -P amplitude ratio data, Earthquake Notes, 55 (3), 1-15, 1984.
3. Sokos E.N., Zahradnik J., ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data, Computers & Geosciences, 34 (8), 967-977, 2008.
4. Suetsugu D., Training Course in Seismology and Earthquake Engineering II, Source Mechanism Practice, Japan International Cooperation Agency (JICA), Ibaraki-Ken, Japan, 13-48, 1997.
5. Eyidoğan H., Sismoloji Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 80s, 1989.
6. Polat O., Odak mekanizması çözümü ders notları, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Sismoloji Ders Notları, İzmir, 2005. http://people.deu.edu.tr/orhan.polat/KILAVUZ-FDC_O.POLAT.pdf Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
7. Büyükaşıkoğlu S., Sismoloji Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 108s, 1962.
8. Polat O., Gok E., Ozyalin S., Pamuk E., Ceken U., Yeni Bir Odak Mekanizması Çözüm Programı, 2.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (2TDMSK), Hatay-Türkiye, 1-17, 25-27 Eylül 2013.
9. Helffrich G., FMTool, Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, 2013. https://members.elsi.jp/~george/fmtool.html Erişim Tarihi Kasım 10, 2017
10. Helffrich G., Focal Mechanisms, Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, 2017. https://members.elsi.jp/~george/focmec.html Erişim Tarihi Kasım 10, 2017
11. Reiter F., Visualizing fault plane solutions with FPS, University of Innsbruck, 2016. http://homepage.uibk.ac.at/~c71508/software.html Erişim Tarihi Kasım 10, 2017
12. Scherbaum F., Kuehn N., Zimmermann B., Earthquake Focal Mechanism, Wolfram Demonstrations Project, 2009. http://demonstrations.wolfram.com/EarthquakeFocalMechanism Erişim Tarihi Kasım 10, 2017
13. Hudgson J.H., The mechanics of faulting, with special reference to the fault-plane work (a sypmposium), Publ. Dominion Obs., Ottawa, 20, 253-418, 1959.
14. Özer Ç., Polat O., 3-D crustal velocity structure of Izmir and surroundings, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (3), 733-747, 2017.
15. Doyle H., Seismology, Wiley Publ., Ankara, Türkiye, 234 , 1995.
16. Kanamori H., Cipar J.J., Focal processes of the Great Chilean earthquake May 22, 1960, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 9, 128-136, 1974.
17. Stein S., Wysession M., An introduction to seismology: Earthquakes, and earth structure, Blackwell Publishing, UK, 498s, 2007.
18. Udias A., Principles of Seismology, Cambridge University Press, 475 , 1999.
19. Boyd O.S., Beach-ball diagram of earthquake focal mechanism, Center for Earthquake Research and Information (CERI), University of Memphis, USA, 2008.
20. Kumar U., Institute of Earth Science Coders, 2017. https://iescoders.com/tag/utpal-kumar-ies Erişim Tarihi Kasım 10, 2017
21. Stauder W., The focal mechanism of earthquakes, Adavances in Geophysics, 9, 1-76. 1962.
22. Honda H., The mechanism of earthquakes, Geophysics, 9, 1-46, 1957.
23. Kasahara K., Earthquake mechanics, Cambridge University Press, 248, 1981.
24. Lay T., Wallace T.C., Modern Global Seismology, Academic Press, UK, 535, 1995.
25. Dutch S., Spherical Projections, Natural and Applied Sciences, University of Wisconsin - Green Bay, 2017. https://www.uwgb.edu/dutchs/structge/sphproj.htm Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
26. Dziewonski A.M., Chou T.A., Woodhouse J.H., Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional

seismicity, Journal of Geophysical Research, 86, 2825-2852, 1981.
27. Eyidoğan H., Barka A., Deprem ve deprem kaynakları, Türkiye Deprem Vakfı yayınları, 39s, 1996.
28. Fowler C.M.R., The Solid Earth, Cambridge University Press, UK, 666 , 2005.
29. Kanamori H., W Phase, Geophysics Research Letters, 20, 1691-1694, 1993.
30. Kanamori H., Rivera L., Source inversion of W phase: speeding up seismic tsunami warning, Geophysical Journal International, 175, 222-238, 2008.
31. Yılmazer M., Deprem kaynak parametrelerinin online belirlenmesi, Y. Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 48 s, 2002.
32. Yılmazer M., Veri toplama, değerlendirme, depolama ve dağıtım, 2005., http://udim.koeri.boun.edu.tr/bilgi/UdimIsleyisGenel.htm Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
33. Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye, 2013.
34. HARV, Moment Tensör Çözümü (Centroid Moment Tensor), Harvard University, MA, USA, 2017. http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
35. USGS: ABD Jeolojik Araştırmalar (United States Geological Survey), 2017. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
36. INGV, İtalyan Ulusal Jeofizik ve Volkanoloji Enstitüsü (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), Roma-İtalya, 2017. http://cnt.rm.ingv.it/en/tdmt Erişim Tarihi Kasım 10, 2017
37. GFZ, Alman Yerküre Araştırma Merkezi (GeoForschungsZentrum), Postdam-Almanya, 2017. http://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
38. UOA: University of Athens (Atina Üniversitesi), Yunanistan, 2017. http://geophysics.geo.auth.gr/ss/new-fps.html Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
39. GCMT, Küresel Moment Tensör Çözümü (Global Centroid Moment Tensor), Harvard University, MA, USA, 2017. http://www.globalcmt.org Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
40. KRDAE, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, 2017 http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqdb Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
41. AFAD-MT, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Moment tensör yöntemine göre odak mekanizması çözümü, 2017. http://deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
42. AFAD-FP, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, P-dalgası ilk hareket yönüne göre odak mekanizması çözümü, 2017. http://deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
43. Yılmaz N., Uran, T., 8 Mart 2010 Elazığ depremleri Değerlendirme Raporu, Deprem Dairesi Başkanlığı Rapor No: 025.343/6056.1, 119 s, 2010.
44. AFAD, M_L=5.8 Elazığ-Kovancılar depremi (08/03/2010) Raporu, Bilimsel rapor, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, 10s, 2010. http://www.deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
45. Emre Ö. Duman T.Y., 19 Mayıs 2011 Simav (Kütahya) depremi ön değerlendirme raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2011. http://www.deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
46. Koçyiğit A., Simav grabeni jeotermal potansiyelinin aktif tektonik yönden değerlendirilmesi, Bilimsel teknik rapor, 2011. http://www.deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
47. MTA, 22 Eylül 2011 Çengerli-Refahiye (Erzincan) Depremi Bilgi Notu, Bilimsel rapor, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 4s, 2011. http://www.deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
48. MTA, 26 Mart 2012 Sultanlı-Bulanık (Muş) Depremi Bilgi Notu, Bilimsel rapor, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 5s, 2012. http://www.deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
49. Kartal R.F., Kadirioğlu T., Demirtaş R., 2 Aralık 2015 Bingöl depremi (Mw=5.3) artçı deprem aktivitesi ve bölgenin tektoniği ile ilişkisi, 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara-Türkiye, 1-15, 11-15 Nisan, 2016.
50. Taymaz T., Eyidogan H., Jackson J.A., Source Parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey), Geophysical Journal International, 106, 537-550, 1991.
51. Turkelli N., Sandvol E., Zor E., Gok R., Bekler T., Al-Lazki A., Karabulut H., Kuleli S., Eken T., Gurbuz C., Bayraktutan S., Seber D., Barazangi M., Seismogenic zones in eastern Turkey, Geophysical Research Letters, 30 (24), 2003.
52. Tan O., Pabuccu Z., Tapırdamaz M.C., Inan S., Ergintav S., Eyidogan H., Aksoy E., Kuluöztürk F., Aftershock study and seismotectonic implications of the 8 March 2010 Kovancılar (Elazığ, Turkey) earthquake (Mw=6.1), Geophysical Research Letters, 38, 2011.
53. AFAD, Kütahya-Simav depremleri (19/05/2011) Raporu, Bilimsel rapor, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, 11s, 2011a. http://www.deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.
54. AFAD, Erzincan-Kemah depremi (22/09/2011) Raporu, Bilimsel rapor, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1s, 2011b. http:// www.deprem.gov.tr/tr/depremdokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.

55. AFAD, Muş-Bulanık depremi (26/03/2012) Raporu, Bilimsel rapor, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1s, 2012. http://www.deprem.gov.tr/tr/deprem dokumanlari Erişim Tarihi Kasım 10, 2017.

56. İnan S., Ergintav S., Saatçılar R., Tüzel B., İravul, Y., Turkey Makes Major Investment in Earthquake Research, EOS, 88 (34), 333-334, 2007

57. Özyalın Ş., Özer Ç., Polat O., Yapay Arı Kolonisi Algoritması Yöntemiyle Deprem Parametreleri Tayini: İlksel Sonuçlar, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir-Türkiye, 11-13 Ekim, 2017.

58. Rivera L., Sismotectonique et aléa sismique, Doktora Tezi, Institut de Physique du Globe (IPGS, Yer Fiziği Enstitüsü), Strasbourg Üniversitesi, Fransa, 1998.

59. Goldstein P., Dodge D., Firpo M., Minner L., SAC2000: signal processing and analysis tools for seismologists and engineers, Editor: Lee, W.H.K., Kanamori, H., Jennings, P.C., Kisslinger, C., Academic Press, London, 2003.

60. Wessel P., Smith W.H.F., GMT Version 5.1-Generic mapping tools graphics, Laboratory for Sattelite Altimetry, NOAA/NESDIS/NODC, 123, 2004.