

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ DEPREM LOKASYONLARI İLE KİLİKYA
BÖLGESİNDEKİ AKTİF YAPILARIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra HOCAOĞLU

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ DEPREM LOKASYONLARI İLE KİLİKYA
BÖLGESİNDEKİ AKTİF YAPILARIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra HOCAOĞLU

505121406

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gonca ÖRGÜLÜ

OCAK 2015

BABAM'A

ÖNSÖZ

Çalışamada benden desteğini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Gonca ÖRGÜLÜ'ye, sabrı, öğretme arzusu, motivasyonu ve paha biçilemez rehberliği için teşekkür ederim.

TÜRDEP (Proje No:105G019) projesi kapsamında toplanan verilerin paylaşımı için TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne ve proje yürütücülerine teşekkür ederim. İkili Farklar yöntemi için yazdığı kabuk programlarını bizle paylaşan ve bu çalışma kapsamında kullanılan sayısal veriyi hazırlayan Doç. Dr. Onur TAN'a teşekkür ederim. Ayrıca bana sismoloji sevdiren, saygıdeğer hocam, Prof. Dr. Argun KOCAOĞLU'na da teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans süresince, uzun yürüyüşlerle bana terapi yapan arkadaşım Olcay SYMONS'a, ve beni destekleyen babam, Adil HOCAOĞLU'na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ocak 2015

Kübra Hocaoglu

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. KİLİKYA BÖLGESİ TEKTONİĞİ.....	5
2.1 Doğu Anadolu Fay Zonu.....	7
2.1.1 Ana kol.....	9
2.1.1.1 Erkenek fayı	9
2.1.1.2 Pazarcık fayı.....	9
2.1.1.3 Amanos fayı	9
2.1.2 Kuzey kolu:Sürgü-Misis fay sistemi.....	10
2.1.2.1 Sürgü fayı	10
2.1.2.2 Çardak fayı	10
2.1.2.3 Savrun fayı	10
2.1.2.4 Çokak fayı	11
2.1.2.5 Toprakkale fayı	11
2.1.2.6 Düziçi-İskenderun fay zonu	11
2.1.2.7 Yakapınar fayı.....	11
2.1.2.8 Yumurtalık-Karataş fayı.....	12
2.1.2.9 Reyhanlı fayı	12
2.2 Ölü Deniz Fay Zonu	12
2.3 Ecemiş Fay Zonu.....	13
2.4 Göksü Fay Zonu	13
2.5 Kozan Fayı	13
3. YÖNTEM.....	15
3.1 İkili Farklar Algoritması.....	15
3.1.1 İkili Farklar yönteminde parametre seçimi	21
3.2 Odak Mekanizmalarının Belirlenmesi.....	24
4. TURDEP PROJE VERİSİ, İKİLİ FARKLAR YÖNTEMİ İÇİN VERİ SETLERİNİN OLUŞTURULMASI VE AYIKLANMASI, RELOKASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	25
4.1 TURDEP Projesi Kapsamında Elde Edilen Deprem Kataloğunun İstatiksel Analizi	25
4.2 İkili Farklar Yöntemi İçin Veri Setlerinin Oluşturulması	27
4.3 Verilerin Ayıklanması	28
4.4 Relokasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	31

5. YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ DEPREM LOKASYONLARININ BELİRLENMESİ VE ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMLERİ	37
5.1 A Bölgesi	43
5.2 B Bölgesi	49
5.3 C Bölgesi	52
5.4 D Bölgesi	55
6. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	69
ÖZGEÇMİŞ	79

KISALTMALAR

DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
ECF	: Ecemiş Fay Zonu
EKK(LSQR)	: En Küçük Kareler Yöntemi (Conjugate Gradients Method)
GFZ	: Göksü Fay Zonu
HYPODD	: A Program to Compute Double Difference Hypocenter Locations (İkili farklar kullanılarak deprem hiposantirlarının belirlenmesi)
ÖDFZ	: Ölü Deniz Fay Zonu
SMF	: Sürgü-Misis Fayı
TDA(SVD)	: Tekil Değer Ayrışımı (Singular Value Decomposition)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜRDEP	: Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi
TDA	: Tekil Değer Ayrışmaları
W	: Ağırlıklandırma Matrisi
G	: Kısmi Türev Matrisi
m	: Lokasyon Ve Oluş Zaman Vektörü
d	: Data Vektörü
U	: G Matrisinin Ortonormal Tekil Matrisi
V	: G Matrisinin Ortonormal Tekil Matrisi
Λ	: G Matrisinin Tekil Değerlerini İçeren Köşegen Matrisi
λ	: Özdeğerler
T_k^i	: Seyahat Zamanı
τ^i	: Deprem Oluş Zamanı
u	: Yavaşlık Alanı
r_k^i	: Seyahat Zamanı Rezidueli
Δm^i	: Hiposantır Parametreleri (x, y, z) ve Zaman (t) Değişimi
t^{obs}	: Gözlemlenen Seyahat Zamanı
t^{cal}	: Hesaplanan Seyahat Zamanı
Δm^{ij}	: Göreceli Hiposantır Parametrelerinin Değişimi
dr_k^{ij}	: i ve j Depremleri Arasındaki Reziduel Zaman Farkı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Alt çalışma alanları için İkili farklar yönteminde seçilen paratetreler	21
Çizelge 3.2 : Ergin (1999) tarafından Kilikya bölgesi için önerilen optimum hız modeli.....	23

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Doğu Akdeniz bölgesine etki eden tektonik unsurlar (Duman & Emre 2013).	5
Şekil 2.2 : Doğu Anadolu fayının ana ve kuzey kolları: FS: fay segmenti, RB: açılma bükümü (releasing bend) RS: açılma sıçraması (releasing stepover), (1) Düziçi-Osmaniye fay segmenti, (2) Erzin fay segmenti, (3) Payas fay segmenti, (4) Yakapınar fay segmenti, (5) Çokak fay segmenti, (6) İslahiye açılma bükümü, (7) Demrek sıkışmalı sıçraması (restraining stepover), (8)Engizek fay zone, (9)Maraş fay zone (Duman & Emre 2013).....	8
Şekil 3.1 : İkili farklarla deprem relokasyonu. İçi boş daireler: deprem çiftleri (i ve j), dt_{ij}^k : i ve j depremlerinin k istasyonunda kaydedilen zaman farkını, s:yavaşlık vektörü.....	17
Şekil 3.2 : TURDEP kataloğunda D bölgesinde yer alan depremlerin komşuluk bağının-oluş sıklığına göre dağılımı.....	22
Şekil 3.3 : TÜRDEP projesinde deprem lokasyonları için kullanılan hız modelleri. Bu modeller, VELEST programı kullanılarak Kilikya bölgesi için elde edilen optimum hız modelinden (Ergin 1999) türetilmiştir.	23
Şekil 4.1 : 2007-2011 yılları arasında gerçekleşmiş depremlerin oluş sıklıklarına göre dağılımları.	25
Şekil 4.2 : Lokal deprem büyüklüklerinin oluş sayısına göre dağılımı.	26
Şekil 4.3 : Kilikya bölgesinde 2007-2011 yılları arasında gerçekleşmiş depremlerin M_L büyüklüklerine göre dağılımı.	26
Şekil 4.4 : Korelasyon katsayılarının (a) P- ve (b) S- dalga fazları için elde edilen zaman farklarına göre dağılımı. P- ve S- dalgası zaman farkları farklı istasyonlarda bütün deprem çiftleri için gözlenmiştir.	29
Şekil 4.5 : Veri setinde bulunan her bir deprem çifti için, kaydedilen zaman farklarının ortalamasına $\sigma = \pm 0.3$ standart sapması eklendiği takdirde elde edilen aralık içinde kalan zaman farkı bilgileri.	30
Şekil 4.6 : Korelasyon katsayısı 0.95, zaman farkı 0.67 olan deprem çiftinin ANDN istasyonundaki P- dalga formlarının karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.7 : P ve S dalgaları için deprem çiftleri arasındaki hiposantir mesafesi (km)-ortalama korelasyon değeri (a ve b), hiposantir mesafesi-depremilerin oluş sıklığı (c ve d).....	32
Şekil 4.8 : P ve S dalgaları için deprem çiftleri arasındaki manyitüt farkı - ortalama korelasyon değeri (a-b), manyitüt farkı ve depremilerin oluş sıklığı (c-d)	33
Şekil 4.9 : Kilikya bölgesinde korele edilmiş deprem çiftlerinin ortalama korelasyon katsayıları($R_{xy(ort)}$) ve yüzdelik dağılımları.	34
Şekil 4.10 : Relokasyon işlemi yapılmadan önce enlem-boylam ve derinlikteki hatalar (a-b) yaklaşık 5 km iken, relokasyon işlemi sonrasında enlem,	

boylam ve derinlik için oluşan hatalar (c-d-e) yaklaşık 8-10 metrelere kadar düştüğü gözlemlenmektedir.	35
Şekil 4.11 : NARD istasyonunda kaydedilen, DAFZ'nun Amanos segmentine paralel gelişen sismitenin olduğu bölgede, 1722 nolu depremle çift oluşturan 11 adet benzer dalga şekillerine sahip depremlerin ard arda gösterimi ($1.0 < M_L < 2.5$) (kırmızı çizgiler P varış zamanını göstermektedir).	36
Şekil 5.1 : Bu çalışmada kullanılan deprem istasyonları. Kare sembolü 2007-2011 yılları arasında işletilen TURDEP istasyonlarını, ters üçgenler ise odak mekanizma çözümlerine ek polarite verisi sağlanan Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından işletilen deprem istasyonlarını göstermektedir.	38
Şekil 5.2 : Kilikya bölgesinde TURDEP projesi kapsamında 2007-2011 arasında kaydedilen depremlerin lokasyonları.	39
Şekil 5.3 : Kilikya bölgesinde 2007-2011 yılları arasında TURDEP projesi kapsamında kaydedilen depremlerin yüksek çözünürlüklü lokasyonları.	40
Şekil 5.4 : Çalışma alanı içerisinde bulunan küçük bir alanda, relokasyon sonucu elde edilen depremlerin (sarı noktalar) lokasyon sonuçlarının (gri noktalar) iterasyonlarla, lokasyon verisinden relokasyon verisine doğru nasıl hareket ettiğini gösteren vektörler(siyah çizgiler).	41
Şekil 5.5 : 2007-2011 yılları arası Kilikya bölgesinde gerçekleşmiş olan depremlerin lokasyonları (kırmızı noktalar) ve çalışma kapsamında ayrıntılı incelenecek olan bölgelerin gösterimi (A,B,C,D).	42
Şekil 5.6 : A bölgesinde ki depremlerin yüksek çözünürlüklü deprem relokasyonları.	43
Şekil 5.7 : Lokasyon (sarı) ve relokasyon (kırmızı) sonuçları.	45
Şekil 5.8 : A bölgesinde relokasyon sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü deprem relokasyonları (a) ve bu relokasyon sonuçları üzerinden farklı azimutlarda alınan derinlik kesitleri (b, c, d, e).	46
Şekil 5.9 : A bölgesi odak mekanizma çözümleri.	47
Şekil 5.10 : Relokasyon sonuçları (a) üzerinden alınan derinlik kesitlerinde odak mekanizma sonuçlarının gösterimi(b, c, d, e) (mavi: doğrultu atımlı faylanma, yeşil:normal faylanma, pembe: ters faylanma).	48
Şekil 5.11 : B bölgesindeki deprem lokasyonları ile odak mekanizma çözümleri (a) ve lokasyon verisi üzerinden alınan farklı azimutlardaki derinlik kesitleri (b,c).	50
Şekil 5.12 : B bölgesinde, relokasyon sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü deprem lokasyonları ile odak mekanizma çözümleri (a) ve relokasyon çözümleri üzerinden alınan farklı azimutlardaki derinlik kesitleri (b,c).	51
Şekil 5.13 : C bölgesinde deprem lokasyonları.	53
Şekil 5.14 : C bölgesi lokasyon (gri) ve relokasyon (kırmızı) sonuçları.	54
Şekil 5.15 : C bölgesinde, relokasyon sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü deprem relokasyonları (a), ve derindeki yapıları ayrıntılı inceleyebilmek adına kümelenmelerin gözlemlendiği bölgeler için farklı azimutlarla alınan derinlik kesitleri (b,c,d,e).	56
Şekil 5.16 : C bölgesi odak mekanizma çözümleri.	57
Şekil 5.17 : D bölgesinde deprem lokasyonları.	59
Şekil 5.18 : D bölgesi lokasyon (gri) ve relokasyon (kırmızı) sonuçları.	60
Şekil 5.19 : D bölgesinde, relokasyon sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü deprem lokasyonları, ve derindeki yapıları ayrıntılı inceleyebilmek	

adına kümelenmelerin gözlemlendiği bölgeler için farklı azimutlarla alınan derinlik kesitleri.....	61
Şekil 5.20 : D bölgesi odak mekanizma çözümleri.	62

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ DEPREM LOKASYONLARI İLE KİLİKYA BÖLGESİNDEKİ AKTİF YAPILARIN BELİRLENMESİ

ÖZET

Kilikya bölgesi, tektonik anlamda Türkiye’de ki en karmaşık ve en önemli yapıların bir araya geldiği bir bölgede yer almaktadır. Doğu Akdeniz de yeralan bu bölgenin tektonik temelini, Afrika, Avrasya ve Arabistan levhalarının birbirlerine göre göreceli hareketi belirlemektedir. Anadolu’nun doğusunda, Arabistan ile Avrasya levhasının Bitlis Bindirme zonu boyunca çarpıştığı bilinmektedir. Anadolu bloğu, doğuda Doğu Anadolu ve kuzeyde Kuzey Anadolu fay zonu boyunca, batıya, Doğu Akdeniz’in okyanusal litosferine doğru, saatin tersi yönünde bir rotasyonla kaçmaktadır. Bölgeyi tektonik olarak etkileyen bir diğer unsur ise Helenik yayıdır.

Bu karmaşık yapıları barındıran Kilikya bölgesinde, tanımlanmamış faylar bulunmaktadır. Bunun yanısıra derin odaklı gizli faylar hakkında da yeterince bilgi mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı, derinde ve yüzeyde olan haritalanmış veya haritalanmamış gizli fayları belirlemektir. Bu kapsamda bölgedeki fayları daha ayrıntılı inceleyebilmek için, deprem lokasyonlarının daha yüksek çözünürlükte yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmaya esas olan veri TURDEP (Türkiye’nin Deprem Riski Yüksek Jeostratejik Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması) projesi kapsamında elde edilmiştir. TÜBİTAK’ ın kamu kurumları ve üniversitelerle işbirliği çerçevesinde yürütmüş olduğu bu proje, deprem riski yüksek olan bölgeleri mercek altına almıştır. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)’ da deprem riski yüksek olan bölgelerden biridir. Bu sebeple, DAFZ boyunca deprem istasyonları kurulmuş, 2007-2011 yılları arasında sismolojik veri toplanmıştır. Toplanan verilerin Kilikya Bölgesini (35.5-38.5K; 34-38D) kapsayan bölümü bu çalışma kapsamında kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında, deprem lokasyonlarının yüksek çözünürlükle elde edilebilmesi için İkili Farklar algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma deprem lokasyonlarını göreceli olarak doğru yerlerine taşımaktadır. İkili farklar algoritmasına göre, depremlerin hiposantırları arasındaki mesafenin, istasyon ile depremin olduğu nokta arasındaki mesafeden daha küçük olması gerekmektedir. Böylelikle aynı istasyonda gözlemlenen iki depremin seyahat zamanı farkları, iki deprem arasındaki uzamsal farka işaret edebilir. İkili farklar algoritmasında iki farklı veri seti kullanılmaktadır: 1) katalog verisi, 2) korelasyon verisi. İkili farklar algoritması, katalog verisinden elde edilen mutlak seyahat zamanı farklarını, ve/veya korelasyon verisinden elde edilen P ve S dalgası zaman farklarını minimize ederek relokasyon işlemini gerçekleştirir.

Dalga şekilleri arasında ki doğru uyumun sağlanabilmesi için, dalga formları P- ve S-fazlarından kesildi ve belirlenen zaman penceresi arasında kalan dalga formları karşılaştırılarak korelasyon verisi oluşturuldu.

Elde edilen korelasyon verisini, gürültülerden arındırarak relokasyon işleminde kullanabilmek adına üç adımda filtreleme işlemi uygulandı. İkili farklar algoritması, kullanılacak olan faz bilgisine (P,S), veri türüne (korelasyon ve/veya katalog), hypoDD öncesi tanımlanması gereken parametrelere (ters çözüm yöntemi, iterasyon sayısı, ağırlıklandırma gibi) ihtiyaç duymaktadır. Çözüme uygun olacak şekilde parametreler belirlenip, İkili Farklar algoritmasına sunulabilir.

Kilikya bölgesinde bulunan depremler üzerinde yapılan relokasyon ile lokasyon verileri karşılaştırıldığında, bölgedeki çizgisellik ve kümelenmelerin relokasyon verilerinde daha seçilebilir görüldüğü gözlemlendi. Bölgede ki depremler göreceli olarak doğru yerlerine taşındıktan sonra, bazı bölgelerde kümelenmelerin olduğu gözlemlendi. Bu bölgelerin daha ayrıntılı çalışılabilmesi adına Kilikya bölgesi dört ayrı alt bölgeye ayrılarak incelendi (A,B,C ve D bölgeleri). Her bir bölge üzerinde relokasyon haritaları oluşturularak, relokasyon sonuçları lokasyon sonuçları ile karşılaştırıldı. Relokasyon sonuçları üzerinden, derinlik kesitleri alınarak, bu bölgelerdeki aktif fayların derindeki yapıları hakkında ayrıntılı bilgi edinildi. Ayrıca her bölgede yer alan depremler için ($M \geq 3$) odak mekanizma çözümleri bulunarak, relokasyon sonuçlarından elde edilen derinlik kesitleriyle karşılaştırıldı. Aralarında ki uyumlar belirlenerek çıkarımlar yapıldı.

Kilikya bölgesinin kuzeybatısında bulunan A bölgesinde, yapılan relokasyon sonuçlarında elde edilen derinlik kesitlerinde iki farklı derinlikte, birbirlerinden bağımsız deprem kümeleri gözlenmektedir. Alınan CC' derinlik kesitinde yapılan ayrıntılı çalışmada, derine doğru bir çizgisellik olduğu gözlemlenmiştir. Bu çizgisellik eğim atımlı bir faya işaret etmektedir. Yapılan odak mekanizma çözümleri ise bunu destekler sonuçlar vermiştir. A bölgesinde daha önce haritalanmamış KKB-GGD doğrultulu normal bir fayın varlığı, bu çalışma kapsamında tespit edilmiştir. A bölgesinin güneyinde bulunan ve az sayıda deprem içeren B bölgesinde ise derin odaklı depremlerin olduğu gözlemlendi. Relokasyon haritalarında KD-GB doğrultulu bir çizgisellik gözlenmektedir. Bu çizgisellik Yakapınar fayı ile uyumlu olup, sol yanal doğrultu atımlı odak mekanizma sonuçları sunmaktadır.

Çalışma alanının merkezinde bulunan C bölgesinde, relokasyon sonuçları üzerinden alınan derinlik kesitlerinde, belli derinliklerde lokalize olmuş depremlerin olduğu gözlemlendi. Doğu Anadolu fayına paralel olan D bölgesinde ise, relokasyon sonuçları üzerinden alınan derinlik kesitlerinde derine doğru 90° 'lik çizgisellikler gözlemlendi. Yapılan odak mekanizma çözümlerinde çoğunlukla, KD-GB doğrultulu, doğrultu atımlı mekanizmalar elde edilmiştir. Elde edilen odak mekanizma sonuçları, derinlik kesitleri ile karşılaştırıldığında, çizgiselliklerin bölgede aktif olan sol yanal doğrultu atımlı fay olan Doğu Anadolu Fayı ve onun alt kolları ile ilişkili olabileceği tespit edilmiştir.

IDENTIFICATION OF ACTIVE STRUCTURES IN THE CILICIAN REGION USING HIGH RESOLUTION EARTHQUAKE LOCATION

SUMMARY

The Cilician region is one of the most tectonically complex areas in the eastern Mediterranean region. Relative motions of the African, Eurasian and Arabian plates form tectonic basis of the Eastern Mediterranean region. The neotectonics of the Eastern Mediterranean region are formed by the convergence of the African and Eurasian plates in the west and the collision of the Arabian and European plates in the east. Due to the relative motions in the east and west, Anatolian block is escaping to the west with a rotation in a counterclockwise direction using the North and East Anatolian Fault Zones. Plate tectonic motions within this distinct tectonic regime are mainly controlled by the East Anatolian Fault (EAF) and Dead Sea Fault (DSF) zones, Bitlis suture, Cyprus Arc and Hellenic trench.

In this region, there are unmapped faults, including hidden faults which do not reach to the surface. The aim of this thesis is to determine the existence of both mapped/unmapped faults at both surface and depth. Within this scope, a detailed investigation will be made and earthquakes will be relocated in high resolution using the Double Difference algorithm.

The TÜBİTAK Marmara Research Center (Earth and Marine Sciences Institute) is leading and coordinating the multilateral earthquake research project, "Multi-Disciplinary Earthquake Research in High Risk Regions of Turkey Representing Different Tectonic Regimes" (TÜRDEP). The aim of this project is to achieve multidisciplinary earthquake studies in the Marmara Sea along the western part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), East Anatolian Fault Zone (EAFZ) and within the Aegean Extensional System (EAS). This project was implemented in areas with high seismic risk. The EAFZ is one of the regions with high seismic risk. Therefore, seismic stations were built along the EAFZ and seismological data were collected between 2007 and 2011. Data of the same period were only requested for the Cilician region (35.5-38.5N; 34-38E) and used in this study.

In this study the Double Difference algorithm was used to relocate earthquake locations from their locations to their relative true locations. The algorithm takes advantage of the fact that if the hypocentral separation between two earthquakes is small compared to the event-station distance, then the ray paths between the source region and a common station are similar along almost the entire ray path. In this case, the difference in travel times for two events observed at one station can be attributed to the spatial offset between these events.

Two types of data were used to implement the Double Difference algorithm in this study: 1) catalog data, and 2) correlation data. The double difference algorithm attempts to minimize residual travel time differences, known as the double differences, for a pair of earthquakes at a single station.

Earthquakes that are close to each other, and have similar focal mechanisms, produce similar waveforms at common stations. In order to find out waveform similarity in our data set, we applied a time domain cross correlation function to band-pass filtered (0.5-15.0 Hz) P/S wave data. Before the cross correlation, P and S waveforms were cut from 0.3s before the P/S onset to 0.9s after the P/S onset. These windowed waveforms were correlated in order to find the correlation coefficients and travel time differences between these waveforms of a possible event pair.

Inspection of delay time measurements with cross correlation coefficient less than 0.7 indicates that a substantial amount of these measurements are outliers due to cycle skipping and correlation of noise. To improve the data quality and remove the noise, the correlation data set were eliminated in three steps. In order to create an event pair, travel time difference between two events should be small. Otherwise, spatial offset between these events will increase if the travel time difference increases. In this context, all travel time differences between earthquake pairs in the correlation data set were plotted as a function of cross correlation coefficient and travel time differences ($>\pm 1$ s) were omitted from the data set since they were considered not to be close enough. At the second step, histograms of travel time differences were separately formed for each event pair. Maximum number of occurrence was obtained from travel time differences measured at different stations for each event pair. This value was taken as the average travel time difference for each event pair and a constant standard deviation ($\sigma = \pm 0.3$) around this value was assumed. Thus, travel time differences outside of this range were considered to be outliers and they were omitted from the data set. At the third step, waveform matching between event pairs were visually done for the remaining data set. Incompatible waveforms were detected and eliminated from the data set. Finally, event pairs with at least three or four phases were selected for both catalog and correlation data in order to ensure robustness of the double difference inversions.

After eliminating the noise, the data was ready for use with the HypoDD program. The Double Difference algorithm required phase information (P or S), data type (catalogue and correlation) and inversion parameters (method, iteration number, and weighting). These parameters could be determined for the algorithm according to the most suitable solution found.

The relocated earthquakes revealed a focused view of the complex distribution of seismicity in the Cilician region, compared to the corresponding catalog locations. Furthermore, in relocation view, there are lineaments along some faults in the region and selectable clusters. After the movement of the earthquakes to their relative true locations, selectable clusters were found in some part of the Cilician region. For a more detailed investigation, the Cilician region was divided into four sub regions (A, B, C and D regions). For each of these regions the relocation results were mapped and compared to the previously recorded location data.

To determine the faults on the surface and to investigate potential deeper faults, cross-sections were taken. Moreover, focal mechanism solutions were determined for events ($M_L \geq 3.0$) in each region. The focal mechanism solutions and cross sectional results were compared to determine their similarities and differences.

Within the 'A' region, there were two independent earthquake clusters in the cross sections at different depths. The relocated hypocenters in cross section CC' formed an inclined lineation showing an alignment of their hypocenters to the depth. This is evidence for a dip-slip fault. The focal mechanism solutions were also consistent

with this finding. Therefore, it appears that a previously unmapped normal fault was discovered in this study within the A region. In the 'B' region seismic activity is less compared to the other regions investigated in this study. But there was an interesting finding in this area. Earthquakes were located at a depth between 20 and 35km with a NE-SW alignment at map view. In this area, the focal mechanism solutions and relocated seismicity indicated that there is a left lateral strike-slip fault trending NE-SW. This trend is consistent with the strike of the previously mapped Yakapınar Fault, also triggering the 1998 Adana earthquake (M_w 6.2).

At the center of the study area, the 'C' region, there was evidence of scattered seismicity. We observe that earthquakes were clustered at certain depths in cross sections taken from the relocation results. Within the 'D' region, which is parallel to the EAFZ, there were 90° alignments to depth in the cross sections. The focal mechanism solutions indicated that strike-slip mechanisms are dominant. NE-SW/ENE-WSW trending nodal planes observed in focal mechanism solutions are perpendicular to the azimuths of depth sections in the 'D' region. This finding shows that relocated seismicity at map and depth view are consistent with trends of the EAF and its branches.

1. GİRİŞ

Doğu Akdeniz bölgesinde gözlemlenen güncel aktivitenin nedeni, Avrasya, Arap ve Afrika levhalarının birbirlerine göre göreceli hareketleridir. Doğuda, Arabistan levhasının Avrasya ile çarpışması, batıda ise Avrasya ve Afrika levhalarının yaklaşması gözlemlenmektedir. Arap levhası, Ölü Deniz fay zonunun sol yanal hareketi ile, Bitlis-Zagros Bindirme zonu boyunca Anadolu levhasını kuzeye doğru sıkıştırmaktadır. Arap levhasının kuzeye doğru hareketi, Akdeniz bölgesinin kuzey yönünde dalma batması ve bunun Ege bölgesinde yarattığı gerilme tektoniği sonucunda, Anadolu levhası, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonlarının etkisiyle, batıya doğru bir kaçış rejimi sergilemektedir. Bu tektonik birimlerin yanı sıra batıda bulunan Helenik hendeği (trench), Anadolu levhasını batıya doğru çekmektedir. Tektonik olarak bir çok aktif yapının rol aldığı bu bölge, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir.

Bu karmaşık yapıları barındıran Kilikya bölgesinde, tanımlanmamış faylar olabilir. Bunun yanı sıra derin odaklı gizli faylar hakkında da yeterince bilgi mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı, derinde veya yüzeyde olan haritalanmış/haritalanmamış aktif fayları belirlemektir. Bu kapsamda bölgedeki fayları daha ayrıntılı inceleyebilmek için, deprem lokasyonlarının daha yüksek çözünürlükte yapılması gerekmektedir.

Çalışma bağlamında kullanılan veriler, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından gerçekleştirilen TÜRDEP (Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi) projesi kapsamında, 2007-2011 yılları arasında Kilikya bölgesinde kaydedilen depremlerdir. TÜRDEP projesinde, Kilikya bölgesindeki deprem davranışlarının, çok disiplinli yaklaşımlarla araştırılması hedeflenmişti.

Bu tez kapsamında, İkili Farklar algoritması kullanılarak Kilikya bölgesindeki deprem lokasyonlarının çözünürlüklerinin artırılması hedeflenmiştir ve bu bağlamda bölgede 2007-2011 yılları arasında gerçekleşen depremler, göreceli olarak doğru

lokasyonlarına taşınarak, derinlik kesitleri alınmıştır. Kesitlerde gözlemlenen fayların, bölgede bulunan faylarla ilişkileri araştırılmış ve depremlerin odak mekanizma çözümleri ($M_L \geq 3$) gerçekleştirilmiştir. Böylelikle depremler göreceli olarak doğru yerlerine taşınmış ve bölgenin faylanma özellikleri belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, bölgenin tektonik yapısı genel olarak anlatılmıştır. Tektonik yapının günümüze kadar olan evrimi ve bölgeye etki eden mevcut tektonik kuvvetlerden bahsedilmiştir. Çalışma alanı ile ilişkili olabilecek fayların özellikleri ve yerleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölüm kapsamında ise İkili Farklar algoritması ve bu algoritma için parametre seçimlerinden bahsedilmiştir. Formüller kullanılarak yöntemin çalışma prensibi hakkında bilgi sunulmuştur. Bunun yanı sıra yöntemin uygulama aşamasında parametre seçimleri ve bunların birbirleriyle olan ilişkileri, ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

TÜBİTAK tarafından sağlanan katalog verileri ve bu verilerden oluşturulan katalog ve korelasyon verisi, çalışma kapsamında birlikte kullanılmıştır. Korelasyon ve katalog verileri kullanılarak oluşturulan veri setinde yapılan filtreleme işlemleri ve relokasyon sonuçlarını değerlendirilmesi dördüncü bölüm kapsamında anlatılmaktadır. Katalog verisinden korelasyon verisine geçilirken deprem çiftlerinin ilişki katsayısı büyük önem taşımaktadır. Ayrıca dalga şekilleri uyumu incelenirken, doğru zaman aralığının seçimde oldukça önemlidir. Doğru verilerin eşleştirilebilmesi için veri seti, belirli bir zaman penceresinde kesilip, kesilen zaman penceresi üzerinden çiftler arasında uyuma bakılmıştır.

Oluşturulan veri setine, üç aşamalı bir filtreleme işlemi uygulandı. İlk olarak her bir istasyonda kaydedilen deprem çiftlerinin zaman farkları incelendi ve zaman farkları ± 1 sn üzerinde olan gözlemler korelasyon veri setinden çıkarıldı. İkinci olarak ise her bir deprem çifti için zaman farkları incelendi. Zaman farklarının maksimum olduğu değer ortalama değer olarak kabul edilerek bu değer etrafında sabit bir standart sapma (± 0.3) değeri belirlendi. Standart sapmanın dışında kalan gözlemler veri setinden çıkarıldı. Son olarak veri kalitesini artırmak için gözle eleme yapıldı. Elde edilen veri setindeki deprem çiftlerinin, farklı istasyonlarda kaydetiği faz bilgilerinin en az üç veya dört olduğu durumlar ele alındı. Üçten veya dörtten az faz bilgisine sahip olan deprem çiftleri veri setinden çıkarıldı.

Relokasyon sonuçlarının değerlendirilmesi kapsamında, çalışma alanında bulunan deprem çiftleri arasındaki ortalama korelasyon değerinin, hiposantir mesafesi ve magnitüt farkıyla olan ilişkileri incelendi. Bu bağlamda, ortalama korelasyon-hiposantir mesafesi grafikleri oluşturuldu. Büyük alana yayılmış sismisitenin olduğu bölgelerde, hiposantir mesafesi uzak olan depremler, çift oluşturabilirken, lokalize olan bölgelerde kümeler birbirlerine yakın ve küçük olduğundan, buralarda uzak depremler çift oluşturamamaktadır. Relokasyon sonuçlarını incelemek adına yapılan bir diğer çalışma ise, ortalama korelasyon değerlerini magnitüt farklarına göre incelemek oldu. Yapılan bu çalışmada, deprem çiftleri arasındaki magnitüt farkı arttıkça, korele edilen deprem sayısında azalış gözlemlendi. Bu bölümde yapılan son çalışmada, Kilikya bölgesinde bulunan bütün deprem çiftleri için ortalama korelasyon katsayıları hesaplandı ve bu değerler haritaya aktarıldı. Oluşturulan grafik incelendiğinde, çalışma alanında, çoğunlukla 0.6 ila 0.8 arası korelasyon değerine sahip deprem çiftlerinin olduğu gözlemlendi.

Bunların yanı sıra, dördüncü bölüm kapsamında lokasyon sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi yapılmıştır. Bunun soununda bölgede 2007-2011 yılları arasında gerçekleşen en büyük depremin magnitütü M_L 5.0 olduğu ve bölgenin genellikle M_L 1 ila 3 büyüklüğünde depremler ürettiği anlaşılmıştır. Lokasyon ve relokasyon sonuçlarının hatalarını karşılaştırıldığı bu bölümde, relokasyon sonuçlarının lokasyona göre daha düşük hatalar verdiği gözlemlenmiştir.

Beşinci bölümde ise yapıları daha ayrıntılı inceleyebilmek adına Kilikya bölgesinde 2007-2011 yılları arasında oluşan depremlerin lokasyonları ve relokasyonları çizdirildi. Aralarında ki farklılıklar incelenerek, ayrıntılı çalışma yapılması gereken bölümler belirlendi. Kilikya bölgesinin dört ayrı alt bölgede incelenmesi uygun görüldü. Ayrılan her bir bölge için relokasyon, lokasyon-relokasyon, derinlik kesitleri ve odak mekanizma çözümleri için haritalar oluşturuldu.

Fayların derindeki yapılarını ayrıntılı incelemek adına, elde edilen relokasyon haritaları üzerinde gözlemlenen deprem kümeleri belirlenerek, bu deprem kümeleri üzerinde 10ar derecelik azimutlarla derinlik kesitleri alındı. Alınan derinlik kesitlerinde relokasyon haritalarında gözlemlenen kümelenmelere dik ve paralel olacak kesitler üzerinde yoğunlaşıldı. Derinde çizgisellik yada belli bir derinlikte toplanma (yığılma) gözlemlenen kümelenmelerin olduğu yerlerde bulunan aktif yapılar incelendi.

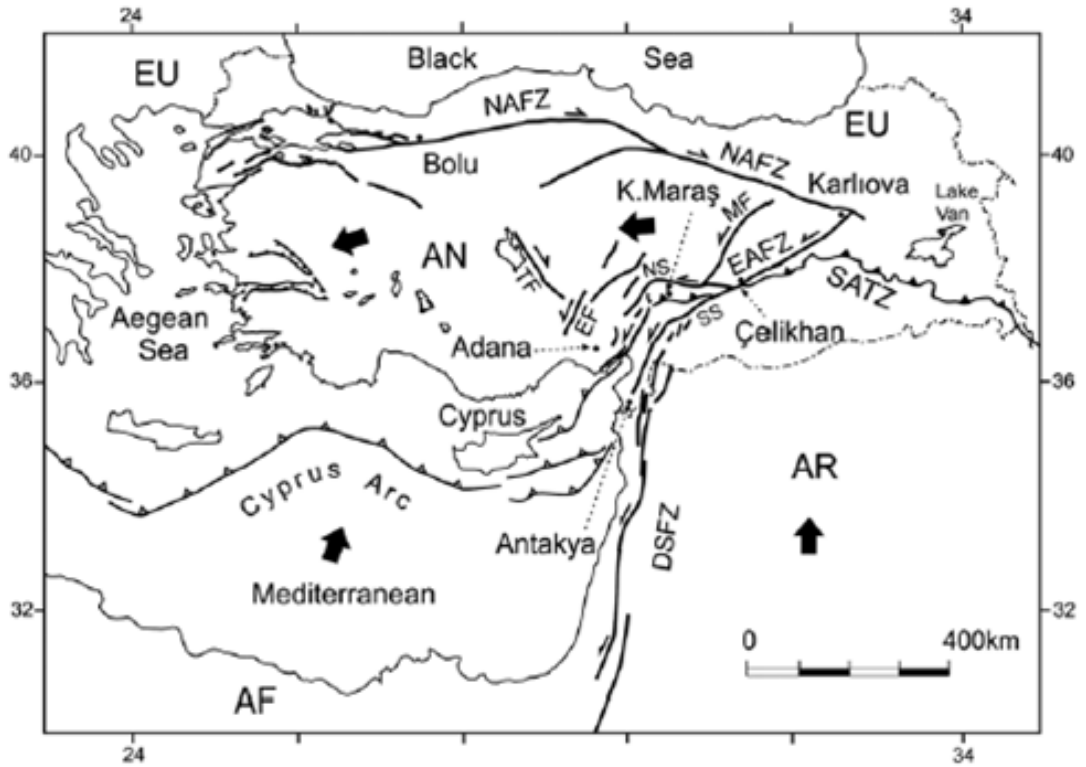
Kesitler ve odak mekanizma çözümleri birlikte yorumlanarak bölgelerdeki yapılar ayrıntılı olarak incelendi. Oluşturulan odak mekanizma çözümleri ile derinlik kesitlerinde karşılaşılan çizgisellikler ilişkilendirildi. Yapılan çalışmalar sonucunda, bölgede derin yapılar hakkında daha ayrıntılı bilgi edinildi.

Altıncı bölümde ise elde edilen bütün sonuçlar birlikte değerlendirildi. Sonuçlar yorumlanarak, bölgedeki aktif yapılar hakkında bilgiler sunuldu. Gelecekte çalışmalara yardımcı olması açısından önerilerde bulunuldu.

2. KİLİKYA BÖLGESİNİN TEKTONİĞİ

Avrasya bloğunun Afrika-Arap levhasından ayrılması sonucunda oluşan Neotetis okyanusunun güney kolunun bir kalıntısı olan Doğu Akdeniz (Biju-Duval ve diğ., 1978; Şengör, 1979), geç Eosen, erken Miyosen döneminde Afrika Arap levha hareketleriyle sıkışıp daralmıştır (Smith, 1971; Dewey ve diğ., 1973; Biju-Duval ve diğ., 1980; Savostin ve diğ., 1986).

Doğu akdenizin güncel tektoniğinin temelinde ise Afrika, Avrasya ve Arabistan levhalarının birbirlerine göre göreceli hareketleri yer almaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Doğu Akdeniz bölgesine etki eden tektonik unsurlar (Duman ve Emre 2013).

Doğuda Arabistan levhasının Avrasya ile çarpışması, batıda ise Avrasya ve Afrika levhalarının yaklaşması bölgenin güncel tektoniğinin unsurlarıdır (McKenzie, 1970, 1972 ;Dewey ve diğ., 1986).

Neotetis okyanusunun güney kolunun, kuzeye doğru Anadolu'nun altına dalması, Arabistan ile Avrasya'nın çarpışmasına sebep olmuştur. Bitlis Bindirme zonu bu çarpışma sonucunda olmuştur. Bu çarpışma, bölge tektoğünde önemli tektonik özelliğe sahip olmakla birlikte, etkileri aktif olarak devam etmektedir.

Anadolu bloğu ise Avrasya, Arabistan ve Afrika kıtaları arasında bulunmaktadır. Arabistan levhasının, kuzeye doğru hareketi ile, Anadolu bloğu kuzeyde Kuzey Anadolu fayı (KAF), doğuda ise Doğu Anadolu fayı (DAFZ) ile sınırlandırılmış ve batıya, Doğu Akdenizin okyanusal litosferine doğru saatin tersi yönünde bir rotasyonla kaçış rejimi göstermektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şaroğlu ve Yılmaz, 1987).

McKenzie ve Harch'a göre, Anadolu ve Afrika levhaları arasındaki sınırı, Helenik ve Kıbrıs yayı oluşturmıştır (McKenzie, 1972; Harch ve diğ., 1981). Bu yaylar ve karasal uzantıları, kuzeye doğru hareket eden Afrika ve Arabistan levhaları ile batıya kaçan Anadolu arasındaki levha sınırını da göstermektedir. Bu iki yay Anadolu'nun karmaşık tektoniği arasında, Isparta dirseği olarak bilinen bölgede bir araya gelirler.

Anadolu'nun güneyinde oluşan bu aktiviteler, Helenik yayının olduğu bölgeye göre çok daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Bu karmaşıklığın sebebi ise, bölgede olan Laventine Basen'indeki normal dalmanın yanı sıra, Türkiye'nin Güneydoğusu'nda, kıtasal çarpışma zonunun olmasıdır. Bu bölgede yapılan çalışmalar Kıbrıs yayının ve karadaki uzantısının bir levha sınırı teşkil ettiğini ortaya koymuştur.

Kilikya bölgesinde önemli tektonik etkiye sahip olan DAFZ, KAFZ'nun doğu ucundan başlayarak, güneyde Akdenize kadar ulaşır. Ayrıca DAFZ, Anadolu bloğu ve Arabistan levhası arasında sınır teşkil eden sol yanal bir yapıdır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; McKenzie, 1976).

Ölü Deniz Fayı, Kilikya bölgesinde etkin olarak çalışan faylardan bir diğeridir. Pliosen sürecinde Arabistan levhasının kuzey yönlü hareketi, Afrika levhasına oranla daha hızlı gelişmiştir bunun sebebi ise sol yanal atımlı Ölü Deniz Fayıdır (ÖDFZ) (McKenzie, 1972; Hempton, 1987). ÖDFZ, Kızıl Deniz yığılması ile Bitlis çarpışma zonu arasında, kompleks sol yanal kıta içi transform fay özelliği göstermektedir. ÖDFZ düz bir çizgi şeklinde olmamakla birlikte farklı doğrultularda birbirlerini izleyen bir fay zonudur: ~K doğrultulu Aqaba'da Ölü Deniz, Jordan ve Ghab kolları

ve ~KKD Yammouneh'da ise Karasu kolları bulunmaktadır. Kuzey doğrultulu kol boyunca, gerilmeye sebep olan eşkenar şekilli çek-ayır basenleri (ör. Ölü deniz) bulunmaktadır.

Kilikya bölgesinin temel tektonik unsurlarından olan DAFZ ve ÖDFZ, Maraş Gölbaşı arasında bir alanda Maraş Üçlü Eklemi ile birleşmekle birlikte ayrıca bu üçlü eklem Afrika, Arabistan ve Avrasya levhalarını bir araya getirmektedir (McKenzie, 1972; Dewey ve diğ., 1973; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör ve diğ., 1985; Gülen ve diğ., 1987; Karıĝ ve Kozlu, 1990; Kempler ve Garfunkel, 1994).

Chorowics ve diğ. (1994), üç levhanın karşılaştığı bu üçlü eklemnin olduğu bölgeyi, sayısal yükseklik modellemesi (digital elevation models) ve uydu görüntülerinden yararlanarak inceledi. Maraş üçlü eklemının, sadece bulunduğu alanı etki etmeyeceğini, çünkü bu levha sınırlarının rigid olmamasından kaynaklı oluşacak deformasyonların daha büyük alanları etki altına alacağını göstermiştir.

Kilikya bölgesinde bulunan çalışma alanının etrafındaki yeryüzü şekillerini kısaca incelemek gerekirse: kuzeybatısında Misis dağları, kuzeydoğusunda Amanos dağları ve Maras üçlü eklemi, güneybatısında ise İskenderun körfezi yer almaktadır.

Kilikya bölgesinin kompleks yapısını anlamak adına bölgede bulunan yapılara genel bir şekilde gözden geçirilmesi gerekmektedir.

2.1 Doğu Anadolu Fay Zonu

Karlıova üçlü ekleminden başlayıp Doğu Akdeniz'e kadar ulaşan bu fayın Türkoğlu'na kadar olan uzantısı oldukça belirgindir. Barka ve Kandisky-Cade (1988) bu fayın farklı yönelimler ve özelliklerde 14 ayrı segmentinin olduğunu ileri sürmüşlerdir.

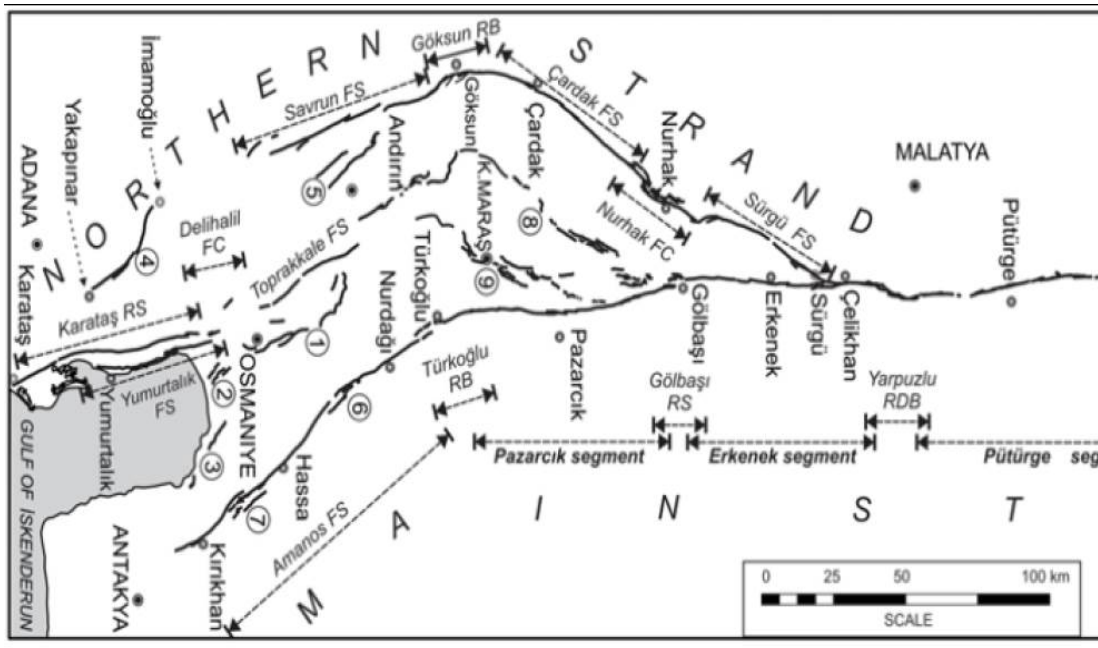
Türkoğlu'ndan itibaren Doğu Akdeniz'e uzanmakta olan Pliosen yaşlı bu fayın, güneye Akdeniz'e olan uzantısı tam olarak bilinmemektedir. Bu konu hakkında farklı araştırmacıların farklı görüşleri bulunmaktadır. Bazıları DAFZ'nun ÖDFZ ile birleşerek devamlı olduklarını idda etmekte (Müehlberger, 1981; Rotstein, 1984), büyük çoğunluğu ise Maraş üçlü eklemını takip ederek İskenderun körfezine ulaştığını savunmaktadır.

Bazı araştırmacılar ise, Misis dağlarının güneyinde yeralan Yumurtalık-Karataş fayının DAFZ'nun uzantısı olduğunu öne sunmaktadır (McKenzie, 1970, 1972;

Jackson ve McKenzie, 1984, Gülen ve diğ., 1987). Perinçek ve Çemen (1990), Türkoğlu'na kadar olan kolu DAFZ'nun ana kolu olarak tanımlayıp, bunun dışında orta ve güney kollarının olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Gülen ve diğ. (1987), İskenderun körfezini oluşturduğu düşünülen fay ile körfezin kuzeyinde kalan Karataş-Yumurtalık fayının, DAFZ'nun kolları olduğu ve bu iki kolun arasında kalan İskenderun Körfezinin çek-ayır yapısını geliştirdiğini ileri sürmüşlerdir. Bunun yanısıra, DAFZ'nun Maraş yakınlarında ÖDFZ ile kesiştiği ve sonra GB'ya doğru uzandığı görüşünde birçok araştırmacı tarafından benimsenmiştir.

Duman ve Emre (2013) 'nın yapmış oldukları çalışmada, Doğu Anadolu fayını ve civarında bulunan tektonik yapıları ayrıntılı olarak incelemişlerdir (Şekil 2.2). Çalışmada DAFZ 'nun ana ve kuzey kolları ayrıntılı olarak çalışılarak, bölge hakkında bilgiler sunulmuştur. Aşağıda sunulan faylarla ilgili bilgiler, bu çalışmadan alıntı yapılarak hazırlanmıştır.



Şekil 2.2: Doğu Anadolu fayının ana ve kuzey kolları: FS: fay segmenti, RB: açılma bendi (releasing bend) RS: açılma sıçraması (releasing stepover), (1) Düziçi-Osmaniye fay segmenti, (2) Erzin fay segmenti, (3) Payas fay segmenti, (4) Yakapınar fay segmenti, (5) Çokak fay segmenti, (6) İslahiye açılma bükümü, (7) Demrek sıkışmalı sıkışması (restraining stepover), (8)Engizek fay zonu, (9)Maraş fay zonu (Duman & Emre 2013).

2.1.1 Ana kolu

DAFZ'nun güney kolu olarak da bilinen ana kolu, Karlıovada başlayıp Antakya kadar 580km uzunluğunda devam etmektedir. Ana kol sırasıyla KD-GB yönünde Karlıova, Ilıca, Palu, Pötürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos segmentlerinden oluşmaktadır. Bu segmentlerden Erkenek, Pazarcık ve Amonos çalışma alanımız içinde yer almaktadır (Şekil 2.2). Bölgede sol yanal faylanma sonucunda oluşması mümkün olan yapılar gözlemlenmektedir.

2.1.1.1 Erkenek fayı

Erkenek segment'i 0.5 km den az genişlikteki 2 ila 15 km uzunluğunda sağ ve sol sıçrama ile karakterize edilmektedir. Fayın genel karakteri sol yanal doğrultu atımlı bir faydır.

Bölgedeki son yüzey izini oluşturduğu düşünülen 1893 yılında gerçekleşen, Ms 7.2 büyüklüğündeki depremdir (Ambraseys 1988; Ambraseys and Jackson 1998). Çelikhan bölgesinin kuzeyinde bulunan kanalın 4.5 m'lik sol yanal yerdeğiştirmesinden, bu depremin sorumlu olduğu düşünülmektedir.

2.1.1.2 Pazarcık fayı

Pazarcık segmentinin genel yapısı sinüzodiyal olmakla birlikte, segmentin doğusunda kalan kısım kuzeye doğru bir konkavlık gösterirken, batı kısmı ise güneye doğru konkavlık sergilemektedir. Pazarcık segmenti, Gölbaşı açılma sıçraması ile Türkoğlu açılma bükümünü arasında uzanmaktadır.

2.1.1.3 Amanos fayı

Amanos fayı, Nurdağı, Hassa, Kırkhan olmak üzere üç ayrı bölümden oluşmaktadır. 40 km uzunluğundaki Nurdağı bölümü, Gavur gölünde başlarken, 45km uzunluğundaki Hassa bölümü ise İslahiye bükümünde başlayıp, 1.5km genişliğindeki Demrek sıkışmalı sıçrama (restaining stepover) ile sonlanmaktadır. Son bölümü olan Kırkhan'ın başlangıç noktası ise Demrek sıçramasıdır.

1822 yılında gerçekleşen, M 7.5 büyüklüğüne sahip olan ve yüzeyde 200km lik izi bulunan depremin, Amanos segmenti tarafından üretildiğine inanılmaktadır.

2.1.2 Kuzey kolu:Sürgü-Misis fay sistemi

Sürgü-Misis fayı (SMF) genel olarak sol yanal doğrultu atımlı bir sistemdir. Sistemin uzunluğu 380km olup Çelikhan ve Karataş arasında yer almaktadır. DAFZ'nun Kuzey koluda kendi içinde Göksün bükümüne ile doğu ve batı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğu kolunun uzunluğu 160km olup Çelikhan ve Göksün arasında D-B yönünde konumlanmaktadır. Fay sisteminin doğrultusu Göksün bükümünde ortalama olarak 45° değişim gösterir ve güney batıya doğru KD-GB doğrultusunda hareket eder. Batı kolu ise Savrun, Çokak, Yakapınar, Andırın, Karataş, Toprakkale ve Yumurtalık fay segmentlerini içermektedir. Bu faylar ise aktif sol yanal fay özelliği göstermektedir.

2.1.2.1 Sürgü fayı

Sürgü fayı, DAFZ'nundan Çelikhan'ın batısında ayrılmaktadır ve Nurhak fay kompleksinde oluşturmaktadır. Bu fay yüzeyde sinüsoidal bir şekil sergilemektedir. Fayın batı kısmında, faya paralel iki fay bulunmaktadır ve bunlar 5 km uzaklıkta olup Nurhak bölgesindeki fay kompleksinin altına girmektedir (Duman ve Emre, 2013). Bölgede 1986 yılında gerçekleşmiş Ms 5.8 büyüklüğünde olan ve herhangi bir yüzey kırığı bulunmayan bir deprem kaydedilmiştir.

2.1.2.2 Çardak fayı

Bu bölgede ki en uzun fay olmakla birlikte boyu 85 km'dir. Fay 0.5 km lik geniş sağ yönlü bir sıçrama ile doğu (35km) ve batı (50km) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Ayrıca, Nurhak ve Göksün arasında konumlanmaktadır. Doğu kısmı genel olarak doğrusal bir yapıya sahip olmakla birlikte K75B eğimlidir ve Nurhak fay kompleksi bölgesi ile bağlantılıdır. Bu bölge K45D eğimli olan Göksün bükümünde içermektedir. Doğu kısım morfolojide aktif sol yanal bir kayma göstermektedir.

2.1.2.3 Savrun fayı

Göksün açılma bendinde başlayıp Sumbas'a kadar uzanmakla birlikte Misis-Andırın kompleksini kuzeyden sınırlandırmaktadır. 20 km uzunluğunda olan bu kısım K40D doğrultulu Savrun fayı ile Göksün açılma bükümüne bağlanmaktadır. Bu yapı Göksün düzlüğü ile Berit Dağ'ı arasında keskin bir topografya oluşturmaktadır.

2.1.2.4 Çokak fayı

Çokak fayı, Savrun fayından, 4km genişlikte 7km uzunluğunda sol atım (left stepover) ile ayrılmaktadır. Bu ayrımın olduğu yerde Çokak çek-ayır baseni gelişmiştir. Fayın ana kısmı sol yanal doğrultu atımlı bir karakteri göstermektedir.

2.1.2.5 Toprakkale fayı

Sistemin ortasında 0.5km genişlikli sıkışmalı sıçrama oluşmakta ve bu sistemi ikiye bölmektedir. 30km uzunlukta olan güney bölümü Delihalil volkanik bacasına kadar uzanmaktadır. Bu sistem Toprakkale civarının batısına doğru normal bileşenli bir çökme ile karakterize edilmektedir.

2.1.2.6 Düziçi-İskenderun fay zone

DAFZ'nun kollarında bulunan KB yönelimli normal fayları içermektedir. Ayrıca bu fay zone batıda Amanos Dağlarını sınırlamaktadır. Düziçi-İskenderun fay zoneunu 3 ana bölüme ayırabiliriz; Düziçi-Osmaniye, Erzin, Payas. Düziçi-Osmaniye fayı 45km uzunluğunda olup KD-GB yönelimlidir. 10 km genişliğindeki zone, sağ tarafa atım yapan fay özelliği göstermektedir.

Erzin'de ise genişliği 2-4km ve doğrultusu K15-20D olan paralel faylar içermektedir. Payas 'un uzunluğu 26km olmakla birlikte İskenderun körfezinin doğusunda yer almaktadır. K10D'ya doğru bir yönelim göstermekte ve batıya doğru 65-70 derecelik bir dalım sergilemektedir.

2.1.2.7 Yakapınar fayı

Sol yanal özellik taşıyan Yakapınar fayı, yoğunlukla silikastik sediman içeren dağlık bir bölge ve Ceyhan düzlüğünü birbirine bağlamaktadır. Bu fay 5km genişliğindeki bir sıçrama ile ayrılan iki düz yanal bölümden oluşmaktadır.

Nehirlerde gözlenen sol yanal atımlar ve doğrultu atımlı fay sistemlerinde görülen topografik sırtlar, bölgede kuvaterner yaşlı doğrultu atımlı faylanma olduğunu vurgulamaktadır.

Adana'da 1945 ve 1998 yıllarında gerçekleşmiş olan 6.0, 6.2 büyüklüğündeki depremlerin Yakapınar fayıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

2.1.2.8 Yumurtalık- Karataş fayı

İskenderun'un kuzey kıyısına paralel şekilde ilerleyen Yumurtalık fayı, İncirli yakınlarındaki 2km genişliğe 4km uzunluğa sahip bir açılma sıçraması ile ikiye bölünmektedir. Sıçrama gösteren alan gerilmeli deformasyonun merkezinde yer alır ve bölge düşey atımlı faylarla karakterize edilir. Fayın doğu ve batı bölümleri 16.5 ve 24.5km uzunluğunda olup K50D ve K58D yönelimlerine sahiptir.

Yumurtalık fayına paralel olan Misis dağlarını, güneyde Karataş fayı sınırlamaktadır. Karataş fayının merkezinde ki 5km genişliğindeki gerilmeli büküm Haylazlı ve Zeytinbeli arasında oluşmaktadır. Bu büküm, genel doğrultuda 8 derecelik bir sapmaya neden olmakla birlikte, ayrıca fayı doğu ve batı olmak üzere ikiye ayırmaktadır. Batı kısmının uzunluğu 30km ve doğrultusu K37D iken doğu kısmının uzunluğu 37km olup Zeytinbeli-Sarımazı arasında konumlanmaktadır.

Perçinek ve diğ.'e göre iki fay sistemi tek bir fay sistemi gibi düşünülmekte ve Karataş ilçesinden başlayıp KD'ya Yumurtalık'tan geçip Aslantaş barajının güneyi boyunca Kahramanmaraş'a kadar uzanan, bindirme karakterli bir fay olduğu söylenmektedir (Perçinek ve diğ., 1987). Yaklaşık KD-GB'ya uzanan doğrultusuyla, İskenderun baseni ile Misis-Andırın basenini ayıracak şekilde, güneyde ise Kıbrıs Beşparmak dağlarına doğru devam etmektedir.

2.1.2.9 Reyhanlı fayı

Ters fay bileşeni içeren sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır. Amik üçlü eklemi ile Ölü deniz fayının Suriye'deki kollarından biri olan Afrin fayı arasında ilerler. Bu transfer fayı, genel olarak KB-GD yönelim sergiler.

2.2 Ölü Deniz Fay Zonu

Kızıl Deniz'den, Türkiye'nin güneyine kadar uzanan ve burada DAFZ'u ile birleşen Ölü Deniz Fay zonu, 1000km den daha uzun bir zondur. Arap levhasının batı sınırını oluşturmaktadır.

ÖDFZ güneyden kuzeye doğru üçe ayrılır. En kuzey ucunda ise Ghab ve Karasu segmentleri olarak ikiye ayrılmaktadır (Gülen ve diğ., 1987). Çemen ve Perinçek'e göre, ÖDFZ devamı olarak düşünülen ve Amanos dağlarını doğudan sınırlayan normal fay, Antakya'dan Türkoğlu'na kadar uzanmaktadır ve burada DAFZ 'nun ana kolu ile kesişir (Çemen ve Perinçek 1987).

ÖDFZ, DAFZ ile üç olası yerde kesişmektedir (Perinçek ve Çemen, 1990). Kesiştikleri yerler, 1) Amik baseninin güneydoğu köşesinde, doğuda ÖDFZ'nu K-doğrultulu Amanos fayını birleştiren KB doğrultulu faylarda, 2) Narlı bölgesinde ve 3) Hazar gölünün güneydoğusunda ÖDFZ'nun kuzeydoğu uzantısı olarak bilinen Adıyaman fayının DAFZ ile birleştiği yer.

2.3 Ecemiş Fay Zonu

Ecemiş fayı, kıtaiçi doğrultu atımlı bir fay olup bölgede DAFZ ve ÖDFZ' nundan sonraki en önemli faydır. Yapılan çalışmalarda K20D uzanan belirgin bir kırık zonu olduğu görülmektedir. Kuzeyde Erciyes dağından başlayarak, güneyde Mersin'in kuzeydoğusuna kadar uzanmaktadır (Özer ve diğ., 1974; Akdere, 1976).

2.4 Göksü Fay Zonu

Misis dağlarının KB sınırını oluşturacak şekilde, Taşköprü'den güneybatı yönünde Akdeniz'e doğru uzanmaktadır (Özer ve Çuhadar, 1986). K25D doğrultulu 130km boyunca olan Göksü fayı çoğu yönüyle transform fay özelliği göstermektedir. Kozan'ın D-KD'sunda Göksü nehri boyunca izlenebilen Göksü fayı, Sarız'dan sonra DKD-BGB doğrultusunda devam etmektedir. KD-GB doğrultuda sol yönlü doğrultu atım gösteren bu fayın eğimi düşeye yakın (70-90) olmakla birlikte doğrultusu fay boyunca her iki yöne değişmektedir. Doğu ve batısında K-G ve KKD-GGB doğrultulu ana fay zonuna paralel çok sayıda faylarla parçalanmıştır. Doğu kısmında, ters atım bileşeninin yanısıra doğrultu atım bileşenide olan ters faylar gözlenmektedir. KD yönünde ise Göksü-Daroluk arasındaki olan faylar yüzeyde görünmemektedir, burada K-G uzanan bir fay bulunma olasılığı vardır. Bunun yanında sıkışma güneybatıdan kuzeydoğuya azalmakta ve buna bağlı olarak faylar etkinliğini kaybetmektedir (Perinçek ve diğ., 1987)

2.5 Kozan Fayı

Başlangıç noktası Kozan'ın güney ucu olup, İmamoğlu'nun kuzeyi boyunca DKD-BGB doğrultusunda Mersin'e doğru devam eder. Perçinek ve diğ.'e göre Adana baseninin açılmasında Kozan fayının etkisi bulunmaktadır.

3. YÖNTEM

3.1 İkili Farklar Algoritması

Waldhauser ve Ellsworth (2000) tarafından geliştirilen İkili Farklar (Double Difference) algoritması kullanılarak, göreceli olarak deprem lokasyonları belirlenmektedir. İkili Farklar algoritması iki adımda gerçekleştirilir: 1) ph2dt programı ile deprem çiftlerinin oluşturulması 2) hypoDD programı ile relokasyon işlemi. Lokasyon hatalarının giderilmesi için depremlerin birbirleriyle olan zaman ilişkilerini kullanan ikili farklar yöntemi, iteratif olarak lokasyon hatalarını düşürmekte ve deprem hiposantırlarını göreceli olarak doğru yerlerine taşımaktadır.

Algoritmanın başarılı bir şekilde çalışabilmesi için, iki deprem arasındaki mesafenin, depremlerin hiposantırları ile istasyonlar arasındaki mesafeden daha küçük olması gerekmektedir. Bu bağlamda bir istasyonda kaydedilen yakın kaynaklı iki farklı depremin seyahat zaman farkları, ortamın modellenmemiş heterojen hız yapısından bağımsızdır. İkili farklar algoritmasının kullanılmasındaki amaç, bir istasyonda kaydedilen deprem çiftinin reziduel oluşturan seyahat zamanı farklarının minimize edilmesidir. Elde edilen sonuçlar, hız heterojenitesinden kaynaklanan sistematik seyahat zamanı hatalarından büyük oranda bağımsızdır. Fakat sonuçlar, ilk lokasyonlarda bulunan raslantısal hataları muhafaza etmeye devam edecektir.

İkili farklar algoritmasının daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle bir depremin lokasyonun nasıl belirlendiğini inceleyelim. Bir deprem için bir istasyona olan varış zamanı, (3.1) denklemindeki integral bağıntısı ile verilir.

$$T_k^i = \tau^i + \int_i^k u ds \quad (3.1)$$

Varış zamanı T_k^i ile ifade edilirken, i depremleri, k ise istasyonları temsil etmektedir. i depremi için oluş zamanı τ^i , yavaşlık alanı u ve yolun en küçük elementi ds ile gösterilmektedir.

Depremin lokasyonu ve seyahat zamanı arasındaki ilişki doğrusal olmayan bir ilişkidir. Taylor seri açılımı ile bu ilişki doğrusallaştırılabilir.

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i = r_k^i \quad (3.2)$$

$$r_k^i = (t^{obs} - t^{cal})_k^i \quad (3.3)$$

Denklem (3.2), her bir deprem ,i, için seyahat zaman rezidueli, r_k^i , ile ilişkilidir. Δm^i model parametrelerinde gözlenen değişimdir ($\Delta m^i = \Delta x^i, \Delta y^i, \Delta z^i, \Delta t^i$). Seyahat zamanı rezidueli (3.3), hesaplanan seyahat zamanı (t^{cal}) ile gözlenen seyahat zamanı (t^{obs}) arasındaki farktır.

Bu denklemler tek bir deprem için geçerlidir. Bu depremin farklı istasyonlarda kaydedilen gözlemsel varış zamanları ile hesaplanan varış zamanları arasındaki farklar en küçük kareler yöntemi ile minimize edilir ve deprem lokasyonu iteratif bir şekilde bulunmaya çalışılır.

Bu denklemlerin ikili farklarla relokasyon işleminde kullanılabilmesi için birbirleriyle ilişkili iki deprem çiftinin olması gerekmektedir.

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^{ij} = dr_k^{ij} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4), hiposantır parametreleri göreceli olarak birbirleriyle ilişkili olan iki deprem, i ve j, ile alakalıdır. Göreceli hiposantır parametrelerinin değişimi $\Delta m^{ij} = \Delta dx^{ij}, \Delta dy^{ij}, \Delta dz^{ij}, \Delta dt^{ij}$ olarak verilmektedir. Seyahat zamanının m^{ij} 'e göre kısmi türevi, kaynakla alıcı arasındaki ışının yavaşlık vektörünün bileşenleridir.

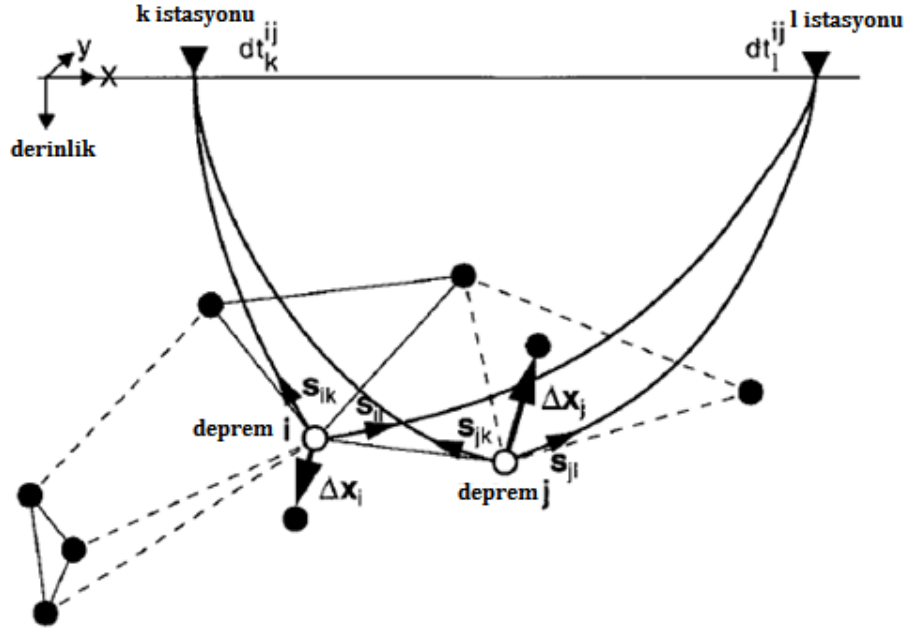
Yavaşlık vektörünü sabit kabul edersek, iki deprem arasındaki seyahat zamanının ikili farkları,

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Herhangi bir faz (P ya da S) için iki deprem (i ve j) arasındaki reziduel zaman farkları, k istasyonu için hesaplanan ve gözlemlenen seyahat zamanlarının farkını alarak hesaplanmaktadır (Şekil 3.1).

Söz konusu depremler birbirine yeterince yakın ise, yavaşlık vektörü sabit olarak kabul edilir. Bu iki deprem arasındaki seyahat zamanının ikili farkları denklem (3.6) da ki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 3.1 : İkili farklarla deprem relokasyonu (Waldhauser ve Ellsworth, 2000). İçi boş daireler: deprem çiftleri (i ve j), dt_k^{ij} : i ve j depremlerinin k istasyonunda kaydedilen zaman farkı, s :yavaşlık vektörü.

$$dr_k^{ij} = \frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial m} \Delta m^j \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 açık halde yazılırsa,

$$dr_k^{ij} = \frac{\partial t_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta \tau^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial x} \Delta x^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial y} \Delta y^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial z} \Delta z^j - \Delta \tau^j \quad (3.7)$$

elde edilir.

i. ve j. depremlerinin seyahat zamanlarının, lokasyonlara (x, y, z) ve oluş zamanına (τ) göre kısmi türevleri, mevcut hiposantirin ve k.inci fazın kaydedildiği istasyonun lokasyon bilgileri kullanılarak hesaplanır. $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ve $\Delta \tau$ modelin veriye daha iyi uyum sağlayabilmesi için, hiposantir parametrelerindeki beklenen değişimlerdir.

Birbirine yakın depremlerin seyahat zamanlarının lokasyona (x,y,z) ve oluş zamanına (τ) göre kısmi türevleri (3.7) nolu denklemde verilmiştir.

Denklem (3.7)' yi bütün deprem çiftleri için tanımlarsak ve doğrusal bir denklem sistemi ile ifade edilirse;

$$WGm = Wd \quad (3.8)$$

elde edilir.

G matrisi, $M \times 4N$ boyutunda kısmi türevlerden oluşmaktadır. M, ikili farklarla yapılan gözlem sayısı, N ise depremlerin sayısıdır. İkili farklar bir data vektörü ,d, ve ayrıca lokasyon ve oluş zaman bilgilerini taşıyan bir m vektörü içermektedir. Her bir denklem W köşegen ağırlıklandırma matrisi yardımı ile ağırlıklandırılacaktır (Wauldhauser ve Ellsworth, 2000). W, ilk varış zamanı işaretlemelerinin kalitesine göre yapılan bir ağırlıklandırmadır.

Wauldhauser ve Ellsworth (2000) tarafından kullanılan bu yaklaşım, reziduel vektörünü L2 normu ile minimize ederek, ağırlıklandırılmış en küçük kareler çözümünü bulmayı amaçlamaktadır.

$$\hat{m} = (G^T W^{-1} G)^{-1} G^T W^{-1} d \quad (3.9)$$

$\hat{m}$, en küçük kareler yaklaşımında lokasyon ve oluş zaman vektörünü ifade etmek için kullanılmaktadır ve (3.9) formülü ile hesaplanmaktadır.

Seyahat zaman reziduellerini minimize edebilmek için iki yol bulunmaktadır: En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ve Tekil Değer Ayrışımı (TDA). Tekil değer ayrışımı yöntemi sadece küçük ve iyi kurulmuş kümelerle uygulanabilmektedir.

$$\hat{m} = V \Lambda^{-1} U^T d \quad (3.10)$$

U ve V, G matrisinin iki ortonormal tekil matrisleridir. Λ , G matrisinin tekil değerlerini içeren bir köşegen matristir. Daha öncede belirtildiği gibi d, data, m ise bilinmeyenlerin (x,y,z,t) tanımlandığı model parametrelerdir.

Büyük bir küme veya küçük birkaç küme için aynı anda relokasyon işlemi yapıldığında, TDA yöntemi kullanılmamalıdır. EKK (Paige and Saunder, 1982) bunu sönümlü en küçük karaler problemi olarak çözümlemektedir.

$$\left\| W \begin{bmatrix} G \\ \lambda I \end{bmatrix} m - W \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} \right\|_2 = 0 \quad (3.11)$$

EKK yöntemi kullanıldığı zaman da m, lokasyon ve oluş zamanına ilişkin model parametreleri I ise birim matris olarak tanımlamaktadır.

Seyahat zamanı reziduallerini minimize etmekte yaşanan en büyük sorunlardan bir tanesi, iki depremin birbirine bağlanmasından kaynaklı oluşan, G matrisinin seyrek olmasıdır. Eğer depremler arası bağ zayıfsa, G matrisi kötü koşullu bir matris olacaktır ve EKK kullanılarak yapılan çözümde, sabit olmayan bir sonuca ulaşılabilecektir. Çözüm esnasında sadece iyi bağlanmış çiftleri kullanarak bu sorunun

üstesinden gelinebilir. Fakat orta boyutlu verilerde, kullanılan veri setini azaltma konusunda sorunlar oluşturabilir. EKK yöntemi, bu sorunu bir sönüm katsayısı (damping factor) vererek çözer. Yöntemin sönüm içeren formülünde denklem (3.11) de verildiği gibidir.

HypoDD programının başarılı bir şekilde çalışabilmesi için, raslantısal hataların minimuma indirilmesi gerekmektedir. Prensipte korelasyon uygulanmış sayısal dalga formları, deprem çiftleri arasındaki seyahat zamanı farklarından oluşan belirsizlikleri azaltmak için kullanılabilir.

P ve S fazları HypoDD içinde, ayrı ayrı kullanılabilindiği gibi beraber de kullanılabilir. HypoDD programının arkasındaki basit prosedür, çift oluşturabilecek depremleri ve seyahat zamanlarını ilişkilendirmek adına bunları kaydeden istasyon/istasyonları tanımlamaktır.

Genellikle HypoDD yönteminin kullanımı, bir yada birkaç büyük deprem ve onun artçılarının kaydedildiği alanlarda uygulanmakta ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

HypoDD' de deprem relokasyonu yaparken üç önemli aşama bulunmaktadır: 1) deprem çiftlerini oluşturma ve bunları komşularla eşleştirme 2) kümeleri oluşturma ve 3) ikili farklarla relokasyon. İlk adım ph2dt programı çalıştırılarak hiposantırların ortak istasyonlarda kaydedildiği deprem çiftlerini bulmakla başlar. Ph2dt programının işlevi tanımlanan bir yarıçap içinde, bir depremi komşu depremlerle ilişkilendirerek deprem çiftlerini oluşturmaktır. Ph2dt programı deprem çiftlerini belirlemek için çalıştırıldığında, bazı sınır parametrelerinin önceden tanımlanması gerekmektedir. Bu parametreler; MAXSEP: deprem çiftleri arasındaki maksimum mesafeyi, MAXNGH: tanımlanan bu mesafe içinde maksimum kaç adet deprem ile komşu olacağını, yani maksimum kaç adet deprem çifti oluşturacağını, MINLNK: bir depremin minimum sayıda oluşturacağı deprem çifti sayısını, MINOBS ve MAXOBS: bir deprem çiftini oluşturan minimum ve maksimum gözlem sayılarını, MAXDIST: deprem çiftleri ile istasyon arasında olabilecek maksimum mesafeyi göstermektedir. Deprem çifti oluştururken en önemli parametrelerden biri minimum komşu sayısıdır. Bu sayının üstünde deprem çifti oluşturuluyorsa, deprem çiftleri arasındaki komşuluk ilişkisinin kuvvetli olduğu, altında ise komşuluk ilişkisinin zayıf olduğu varsayılır.

Relokasyon işlemini yaparken, hem filtreleme hemde çözümü esnekleştirmek için bir kaç parametre kullanılmaktadır. Verinin türünü (katalog yada korelasyon verisi), faz bilgisini (P ya da S) ve bir çok sınırlayıcı etken burda belirlenip relokasyon işlemi bunlara göre yapılabilir.

Relokasyon işlemi iteratif olarak ikili fark hatalarını düşürmektedir. Her bir iterasyon, veri setine göre şekillendirilebilir ve istenilen sayıda iterasyon eklenebilir. Her bir iterasyon için P ve S fazlarının ağırlıklandırılmaları ayrı ayrı yapılabilirken aynı anda zaman ve uzaklık içinde gerekli olan ağırlıklandırılmalar yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra her bir iterasyon için sönüm katsayısı belirlenebilmektedir. Sönüm katsayısına sadece LSQR iteratif yönteminde gerek duyulmaktadır. Relokasyon sırasında her bir iterasyon için koşul sayısı (condition number) hesaplanır. Bu değer en büyük ve en küçük özdeğer (eigenvalue) arasındaki orandır. Bu değer küçük olması aşırı sönümlü bir çözümü, büyük olması ise az sönümlü bir çözümü göstermektedir. Koşul sayısı iterasyon işlemi sırasında takip edilmesi gereken önemli bir değişkendir.

Son olarak HypoDD 'ye girdi olarak verilmesi gereken şey ise bir hız modelidir. Bu hız modeli maksimumda 20 tabakalı olabilmekle birlikte, sabit bir V_P/V_S oranı ile programa sunulabilir.

3.1.1 İkili Farklar yönteminde parametre seçimi

HypoDD programı, kullanılacak faz bilgisine (P, S), veri türüne (katalog verisi, çapraz ilişkili veri), çift oluşturacak depremlerin birbirleri ve istasyonlarla ilgili olan parametrelerine ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanı sıra yapılacak olan ters çözüm parametreleri ve iterasyon sayısında programda önemli bir yere sahiptir. Çözüme uygun olacak şekilde parametreler belirlenip, ikili farklar algoritmasına sunulabilir. Bu çalışma kapsamında P ve S fazları birlikte kullanılarak relokasyon işlemi yapılmıştır.

Komşuları belirlerken en önemli iki parametre MAXSEP ve MINLNK'tir. Çalışma kapsamında deprem çifti araması için verilen yarıçap ,MAXSEP, başlangıçta 10 km olarak seçilir. Başlangıçta seçilen bu değer ile katalog verisi üretilir. Katalog verisi içindeki deprem çiftleri için korelasyon fonksiyon çalıştırıldı ve benzer dalga formları bulunarak korelasyon verisi oluşturuldu. Ayrıntılı inceleme adına çalışma

alanı dört alt bölgeye ayrıldı ve relokasyon işlemi bu dört alt bölgeye ayrı ayrı uygulandı. Böylelikle küçük alanlarda yoğun deprem kümeleri için relokasyon işlemi daha ayrıntılı ele alındı. Dört alt bölge için seçilen parametre bilgileri Çizelge 3.1 'de ayrıntılı olarak verilmektedir. Bu küçük bölgelerdeki yoğun deprem seti birbirlerine oldukça yakın konumlandıklarından ötürü, MAXSEP değeri hypoDD öncesi 5km'ye düşürüldü. Zayıf bağlı deprem çiftlerinin sayısının azalması için ise MINLNK değeri küçük tutuldu.

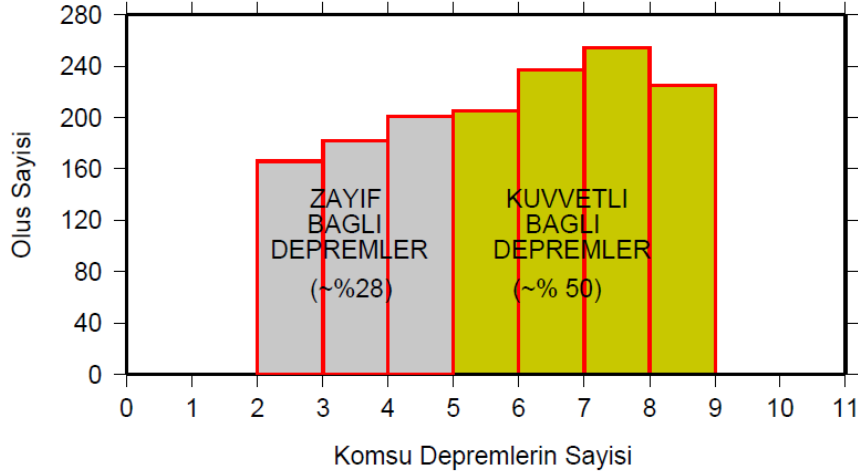
Dörde ayrılan alt bölgelerden büyük alana sahip olanlarda depremler geniş bir dağılım sergilediklerinden dolayı, katalog verisini belirleyen MAXSEP değeri, hypoDD öncesinde 10 km olarak seçildi.

Deprem çiftlerinin komşularını belirlemek için kullanılan diğer parametreler ise; MAXDIST, MAXNGH, MAXOBS dir. Deprem çiftleri ile istasyon arasında olabilecek maksimum mesafe 200km olarak kabul edilmiştir. Her bir çift için MAXNGH, MAXOBS'dan düşük olması gerekmektedir. Çalışmada MAXOBS 40 iken MINLNK genel olarak 4 seçilmiştir. MAXNGH sayısı ise küçük alana sahip olan bölgelerde daha fazla komşu oluşturabileceğinden dolayı büyük seçilirken, büyük alanlara sahip olan bölgelerde ise uzak depremleri çift olarak oluşturmaması adına küçük seçilmiştir. (Çizelge 3.1)

Ph2dt programı kullanılarak yapılan analizlerde güçlü bağlı deprem çiftleri bulunurken aynı zamanda zayıf bağlı deprem çiftlerinin sayısında oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.2). Bu şekil, D bölgesi için seçilen parametreler (Çizelge 3.1) kullanılarak elde edilmiştir. Oluşturulan ph2dt.inp dosyası ph2dt programında çalıştırıldığında, veriler HypoDD programı kapsamında İkili Farklar kullanılarak yapılacak olan relokasyon işlemine girdi olarak sunulmaya hazır hale gelmiştir.

Çizelge 3.1 : Alt çalışma alanları için İkili farklar yönteminde seçilen parametreler.

Parametreler	A Bölgesi	B Bölgesi	C Bölgesi	D Bölgesi
MINWGHT	0.0	0.0	0.0	0.00
MAXDIST(km)	200	200	200	200
MAXSEP(km)	10/5	10	10	10
MAXNGH	16	8	8	8
MINLNK	4	4	4	4
MINOBS	4	1	4	4
MAXOBS	50	40	40	40



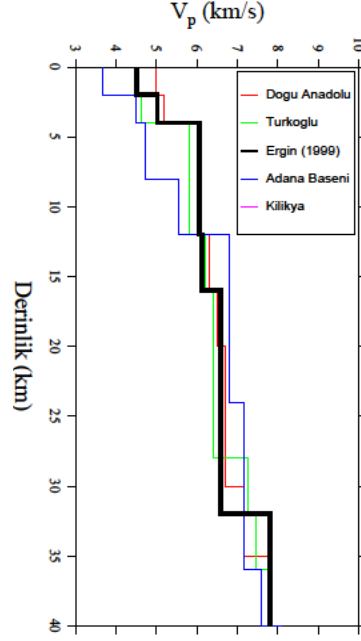
Şekil 3.2 : TURDEP kataloğunda D bölgesinde yer alan depremlerin komşuluk bağının- oluş sıklığına göre dağılımı.

Relokasyon yapılırken, filtreleme ve çözümü esnekleştirmek adına ağırlıklandırma yapılmaktadır. Veri türünü (katalog/korelasyon verisi) , faz bilgisini (P ya da S), ters çözümde kullanılacak olan parametreleri ve iterasyon sayısı bu aşamada belirlenmektedir.

Relokasyon işlemi iteratif olarak ikili fark hatalarını düşürmektedir. Her bir iterasyon, veri setine göre şekillendirilebilir ve istenilen sayıda iterasyon eklenebilir. Bu çalışma kapsamındaki iterasyonlar yapılırken, ağırlıklandırma öncelikle katalog verisine, daha sonra korelasyon verisine verildi. Bu yaklaşım sayesinde çalışma alanındaki sismisitenin geniş ölçekli görüntüsü katalog verisi ile sağlanmış oldu.

Daha önce yapılan çalışmalarda, Kilikya bölgesi için VELEST programı ile kabuk modeli belirlenmiştir (Ergin, 1999). Geniş bir alana sahip olan Kilikya bölgesinde, farklı yapıların olduğu bilinmektedir. TÜRDEP projesi kapsamında kullanılan hız modelleri Şekil 3.3’de verilmiştir. Ergin (1999) tarafından VELEST programı kullanılarak oluşturulan hız modeli, TÜRDEP projesinde kullanılacak olan hız modellerinin temelini oluşturmaktadır. Bu model üzerinden üretilen hız modellerinde, bölgelerin özelliklerine göre küçük farklılıklar bulunmaktadır.

Ergin (1999)’un hız modelinde, 5. ve 6. tabaka yakın hızlarla temsil edilmiştir (Çizelge 3.2). Kilikya modelinde, bu tabakalar arasındaki arayüz kaldırılarak tek bir tabaka varsayılmıştır. Adana baseni için hazırlanan hız modelinde ise, basen yapısına uygun olacak şekilde, Ergin (1999) hız modeline, sedimanları temsil eden düşük hızlı bir tabaka eklenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : TÜRDEP projesinde deprem lokasyonları için kullanılan hız modelleri. Bu modeller, VELEST programı kullanılarak Kilikya bölgesi için elde edilen optimum hız modelinden (Ergin 1999) türetilmiştir.

Çalışmada seçilen hız modeli dokuz tabakalı olmakla birlikte V_p/V_s oranı 1.756 olarak alınmıştır (Çizelge 3.2). V_s hızı, V_p/V_s sabit oranından belirlenmiştir.

TÜRDEP projesi için, Ergin(1999) hız modelinden üretilen, Adana baseni ve Kilikya hız modelleri bu çalışma kapsamında kullanılmıştır.

Çizelge 3.2: Ergin (1999) tarafından Kilikya bölgesi için önerilen optimum hız modeli.

Tabaka kalınlığı (km)	P-Hızı (km/s)	S-Hızı (km/s)
0.0	4.51	2.57
2.0	5.02	2.86
4.0	6.07	3.456
12.0	6.136	3.5
16.0	6.59	3.75
28.0	6.6	3.76
32.0	7.822	4.454
36.0	7.823	4.455
40.0	7.824	4.455

3.2 Odak Mekanizmalarının Belirlenmesi

Odak mekanizma çözümleri, depremlerin oluşturduğu faylanmaların geometrilerini ve faylanma türlerini tanımlar. Çözümlerin temeli ise, depremi oluşturan fayın geometrisine göre yayılacak olan sismik dalganın yayılma şekline bağlıdır (Stein and Wysession, 2003). Odak mekanizma çözümleri bir kaç methodla elde edilebilir. Bu çalışmada ise P-dalgası ilk varışlarının polariteleri, ışınların odaktan çıkış açıları ve azimut bilgileri kullanılarak odak mekanizma çözümleri yapılmıştır. P-dalgası ilk varış polaritelerinin baz alınmasının sebebi, yüksek hızlarından dolayı istasyonda ilk kaydedilen dalgalar olmasıdır. Bu varışların polariteleri sismometrede kaydedilen hareketin yönünü göstermektedir. Odak mekanizma sonuçları, farklı istasyonlarda gözlemlenen P-dalgası polariteleri kullanılarak tanımlanabilmektedir (Walsh ve diğ. 2008).

İlk hareketin yönü, kaynağın etrafında 4 kadran tanımlar. İlk varışın yukarıya doğru olması, sıkışma kadrانını tanımlarken, ilk varışın aşağı doğru olması ise açılma kadrانını tanımlamaktadır (Stein ve Wysession, 2003).

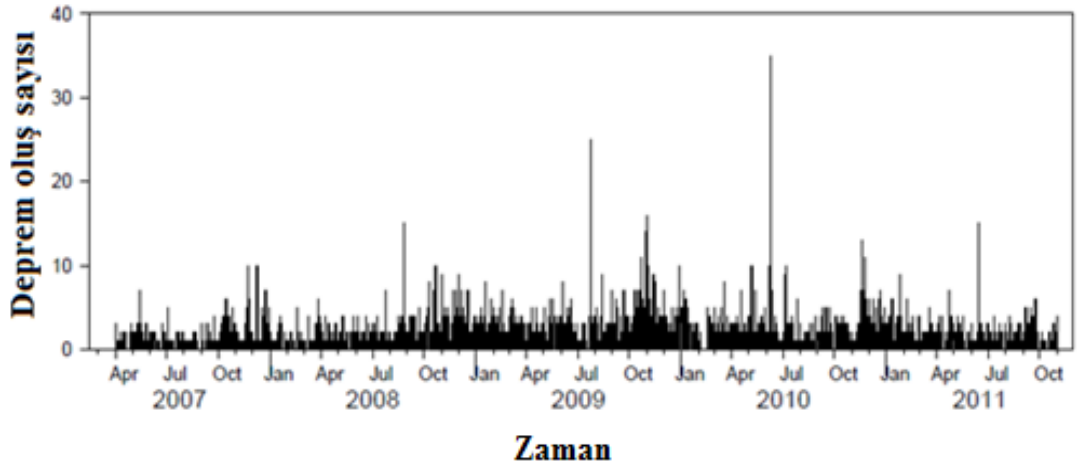
Odak mekanizmalarının belirlenmesi için P-dalgası polariteleri steronetin alt yarımküresi üzerine çizilir. Bir deprem için bütün polariteler alt yarım kürenin üzerine yerleştirildikten sonra, bu polaritelerin alt yarım küre üzerindeki konumlarının yatay düzlem üzerindeki projeksiyonu, o deprem için odak mekanizma çözümünü vermektedir. Dörde ayrılmış kadrانlar birbirlerine 90° dik olacak şekilde çizilen yaylar ile ayrılmaktadır (Stein ve Wysession, 2003).

Bu çalışma da TÜRDEP projesi kapsamında 2007-2011 yılları arasında Kilikya bölgesinde gerçekleşen 133 adet depremin odak mekanizma çözümleri FOCMEC programı kullanılarak yapıldı (EK.A). Odak mekanizma çözümlerinde en az 9 polarite okuması kullanılırken, en çok polarite okumasına sahip olan deprem ise 44 okuma ile çözüldü. Elde edilen çözümlerde, genelde bölgenin tektonik özeliğiyle uyum gösteren sol yanal doğrultu atımlı faylanmalara sahip odak mekanizma sonuçları bulunurken, eğim atımlı faylanma gösteren odak mekanizma sonuçları da elde edildi.

4. TURDEP PROJE VERİSİ, İKİLİ FARKLAR YÖNTEMİ İÇİN VERİ SETLERİNİN OLUŞTURULMASI VE AYIKLANMASI, RELOKASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 TÜRDEP Projesi Kapsamında Elde Edilen Deprem Kataloğunun İstatistiksel Analizi

Kilikya bölgesinde, 2007-2011 yılları arasında 4554 adet deprem kayıt edilmiştir. Bu depremlerin lokasyonları TURDEP projesi kapsamında TUBITAK tarafından belirlenmiştir. Deprem sayısının-yıllara göre dağılımından da gözlemlendiği üzere 2008 Ağustos, 2009 Temmuz, 2010 Haziran ve 2011 Temmuz tarihlerinde deprem oluş sayısında bir artış gözlemlenmektedir. Bunun sebebi, bir ana depremin diğer gerilmeleri tetiklemiş olması ihtimalidir (Şekil 4.1).

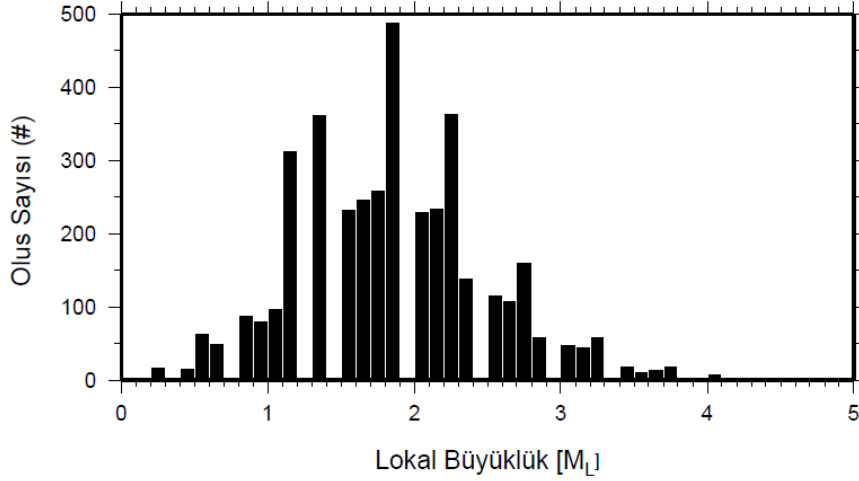


Şekil 4.1 : 2007-2011 yılları arasında gerçekleşmiş depremlerin oluş sıklıklarına göre dağılımları.

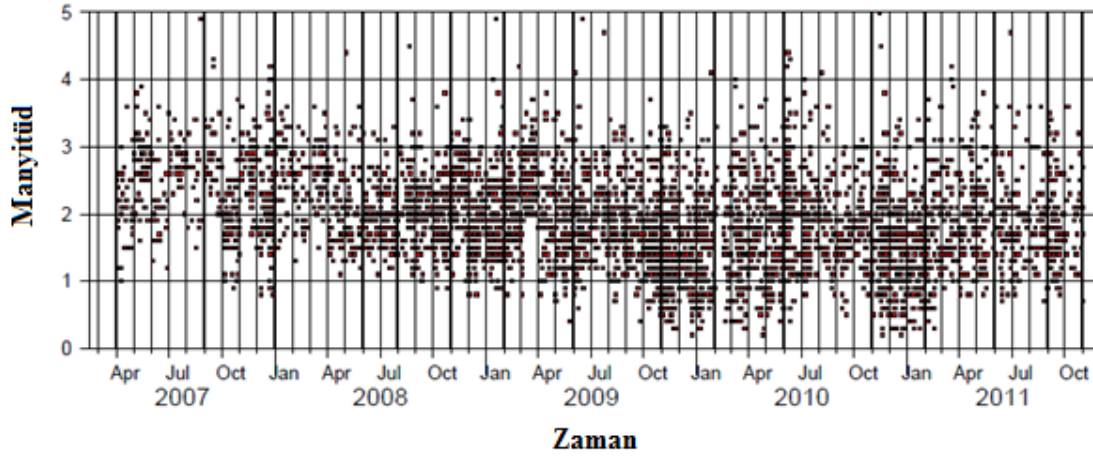
Kilikya bölgesinde meydana gelen depremlerin M_L büyüklüklerine göre histogramları oluşturulduğunda, deprem büyüklüklerinin genel dağılımının 1.0 ila 3.0 arasında olduğu gözlemlendi (Şekil 4.2).

2007 yılının Mayıs ve Aralık aylarında Kıbrıs'ın Yenişehir bölgelerinin konumlandıkları noktalarda gerçekleşen depremin büyüklüğü M_L 4.0 iken 2008 yılında Ağustos ayında Sürücü-Malatya bölgesinde M_L 4.5 büyüklüğünde bir deprem

meydana gelmiştir. 2009 yılında ise M_L 4.9 büyüklüğünde iki deprem Ocak ve Haziran aylarında, sırasıyla Düziçi-Adana ve Samandağ-Hatay bölgelerinde gerçekleşmiştir. Son olarak 2010 yılında İskenderun körfezinin yukarı kısmında, Toprakkale yakınlarında gerçekleşen depremin büyüklüğü M_L 5.0'dir. (Şekil 4.3).



Şekil 4.2 : Lokal deprem büyüklüklerinin oluş sayısına göre dağılımı.



Şekil 4.3 : Kilikya bölgesinde 2007-2011 yılları arasında gerçekleşmiş depremlerin M_L büyüklüklerine göre dağılımı.

Adana'nın Kozan bölgesinde 2011 Haziran, Kıbrıslar-Yenişehir bölgesinde 2009 Temmuz aylarında gerçekleşen M_L 4.7 büyüklüğündeki depremler birbirlerine oldukça yakın konumlanmaktadır.

Kilikya bölgesinde 2007-2011 yılları arasında oluşmuş en büyük deprem ise, 2010 yılının Kasım ayında, M_L 5.0 manyitüdle, İskenderun körfezi açıklarında Akdeniz'de gerçekleşmiştir (Şekil 4.3).

2009 yılında Temmuz ayında deprem aktivitesinde bir artış gözlemlenirken, bu artışın sebebinin 1177 nolu Kozan depremi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.1 de görüldüğü üzere bu deprem tekil bir deprem olmamakla birlikte artçılarında grafiklerde gözlemlenebilmektedir. Gözlemlerden elde edilen verilere göre, bu bölgenin oldukça aktif olduğu, 8 ve 130 nolu depremlerin ise yine bu deprem kümesinin üstünde konumlandığı görülmektedir.

2010 yılının Haziran ayında gözlemlenen sismik aktivitedeki artış ise 788 nolu M_L 4.2 magnitüdlü deprem ile başlayıp, ardından 803 nolu M_L 4.4 magnitüdlü ve 862 nolu M_L 4.3 magnitüdlü depremlerle devam edmektedir ve bu dizi depremin Ümmet Uşağındaki sismik aktivite ile ilişkili olduğu sanılmaktadır.

4.2 İkili Farklar Yöntemi İçin Veri Setlerinin Oluşturulması

İkili Farklar yönteminde iki ayrı veri seti kullanılmaktadır: katalog verisi (dt.ct), korelasyon verisi (dt.cc). Bu iki veri setini oluşturmak için, çalışma alanına ait depremlerin lokasyon bilgilerini içeren katalog verisi ve bu depremlere ait sayısal veriler TÜBİTAK tarafından sağlandı. Bu kurumdan alınan katalog verisi kullanılarak birbirine yakın deprem çiftleri belirlendi. Belirlenen deprem çiftleri için ortak istasyonlarda kayıt edilen sayısal verilere ait P- ve S- dalga formları çapraz ilişki (cross correlation) yöntemi ile karşılaştırıldı ve deprem çiftleri arasındaki uyum belirlenerek korelasyon veri seti oluşturuldu.

Korelasyon öncesi sayısal verilere 0.5-15.0 Hz arası band-geçişli bir filtre uygulandı. Dalga şekilleri arasında ki uyumun sağlanabilmesi için, dalga formları P- ve S- fazından 0.3sn öncesi ve 0.9sn sonrası olmak üzere kesildi. Bu zaman penceresi arasında kalan dalga formları karşılaştırılarak korelasyon verisi oluşturuldu.

Deprem çiftleri arasındaki uyum korelasyon katsayısı ve zaman farkı ile belirlenir. Korelasyon katsayısı 0 ila 1 arasında değişim gösterir. Korelasyon katsayısının 1'e yakın olan değerleri bu deprem çiftleri arasındaki uyumun iyi olduğunu, dolayısıyla bu depremlerin birbirine yakın konumlandıklarını göstermektedir. Depremlerin birbirine yakın konumlandıkları deprem çiftleri arasındaki zaman farkının küçük olmasından da anlaşılabılır. Bu çalışma da, korelasyon katsayısı belirli bir eşik değerin (> 0.45) üstünde olan gözlemler korelasyon verisi olarak seçildi. Eşik

değerin düşük olması sebebiyle, korelasyon veri setinde bazen gürültü bazen de yanlış pikler eşleşebilir. Korelasyon verisinin kalitesini ve güvenilirliğini artırmak adına, bu veri setine 3 adımda eleme işlemi uygulandı.

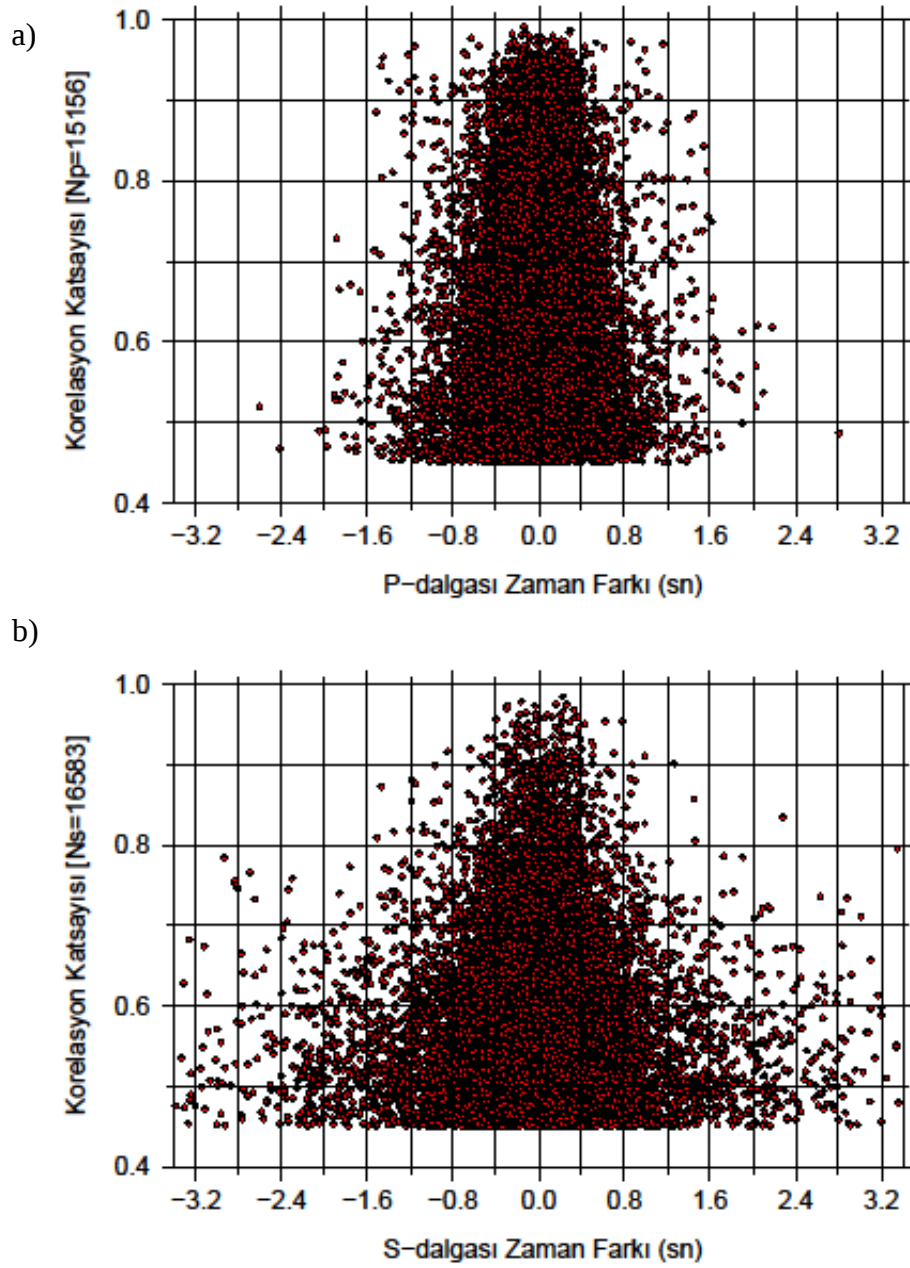
İlk olarak istasyonlarda kaydedilen depremlerin zaman farklarının korelasyon katsayılarına göre dağılımları incelenerek ± 1 sn den yüksek zaman farkına sahip olan depremler veri setinden çıkartıldı. İkinci adımda ise çift oluşturan depremlerin zaman farklarının maksimum olduğu değer üzerinden sabit bir standart sapma ($\sigma = \pm 0.3$) değeri kullanılarak bunun dışında kalan değerler elendi. Üçüncü adımda ise dalga şekillerinin çakışması arandı. Uyumun sağlanmadığı deprem çiftleri veri setinden çıkarıldı. Bütün filtreleme adımları sonrasında, deprem çiftlerinin en az üç veya dört faz bilgisine sahip olma koşulu uygulandı.

4.3 Verilerin Ayıklanması

İstasyonlar tarafından kaydedilen depremlerin çift oluşturabilmeleri için depremlerin aralarındaki zaman farklarının küçük olması gerekmektedir. Aksi takdirde depremler arası zaman farkı artıkça, deprem çiftlerinin arasındaki mesafede artmış olacaktır. Çalışmanın veri işlem aşaması kapsamında istenilen, yakın deprem çiftlerini tespit etmek ve bunlar arasında ki benzer dalga şekillerine sahip olanları seçmektir.

Bunun yapılabilmesi adına, bütün istasyonlarda kaydedilen deprem çiftlerinin, zaman farklarına ve korelasyon katsayılarına göre grafiğe aktarılması gerekmektedir. Bu grafikler incelendiğinde, genel dağılım dışında kalan deprem çiftlerinin birbirlerine yakın olmayacağı düşünüldüğünden, veri setinden çıkarılmıştır. Bu bağlamda, birinci filtreleme adımında, ± 1 sn den fazla zaman farkına sahip olan deprem çiftleri veri setinden çıkarılmıştır (Şekil 4.4).

Deprem çiftlerinin aralarındaki zaman farklarının düşük olması beklenmektedir aksi takdirde eşleşen depremler uzak depremler olacaktır. Uzak depremlerin aldıkları yollar farklı olacağından, dalga şekillerinde farklılıklar gösterecektir. İkili farklar yöntemine göre, deprem çiftleri ve ilerledikleri yollar benzer olmalıdır aksi takdirde, farklı yerlerden geçtikleri için sismik imzalarında farklılıklar gösterecek ve uyumları azalacaktır.

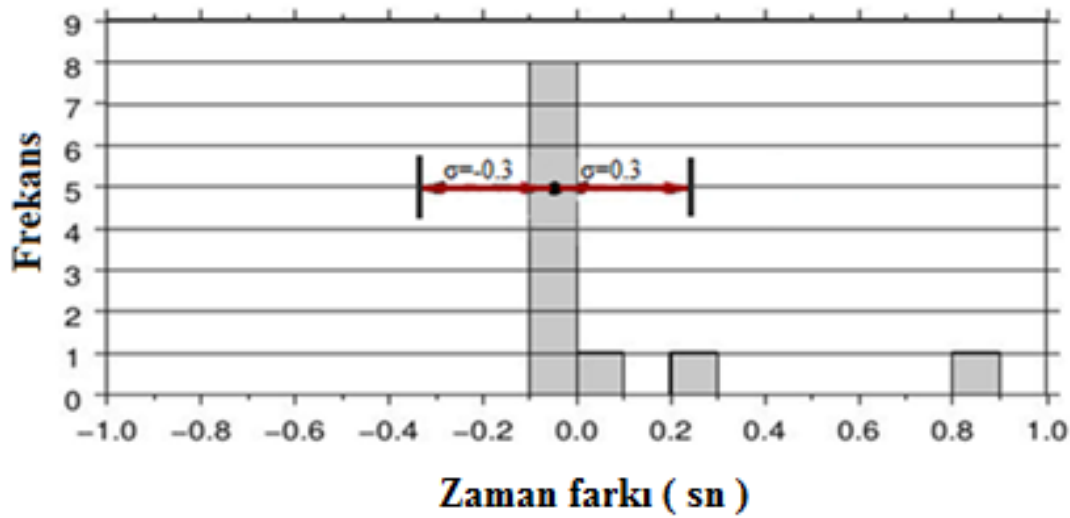


Şekil 4.4 : Korelasyon katsayılarının (a) P- ve (b) S- dalga fazları için elde edilen zaman farklarına göre dağılımı. P- ve S- dalgası zaman farkları farklı istasyonlarda bütün deprem çiftleri için gözlenmiştir.

İkinci adımda ise, her bir deprem çifti için farklı istasyonlarda gözlemlenen zaman farklarının histogramları oluşturuldu. Bir deprem çifti için gözlemlenen zaman farklarının maksimum oluş sayısına tekabül eden değeri, o deprem çifti için ortalama zaman farkı olarak alındı. Bu zaman farkının etrafında sabit bir standart sapma ($\sigma = \pm 0.3$) değeri varsayılarak, bu standart sapmanın dışında kalan gözlemler veri

setinden çıkarıldı (Şekil 4.5). Bu işlem bütün deprem çiftlerine uygulanmıştır. Bu histogramlar incelendiğinde bir deprem çiftine ait varış zamanı farklarının istasyondan istasyona çok büyük değişim göstermediği anlaşılmaktadır.

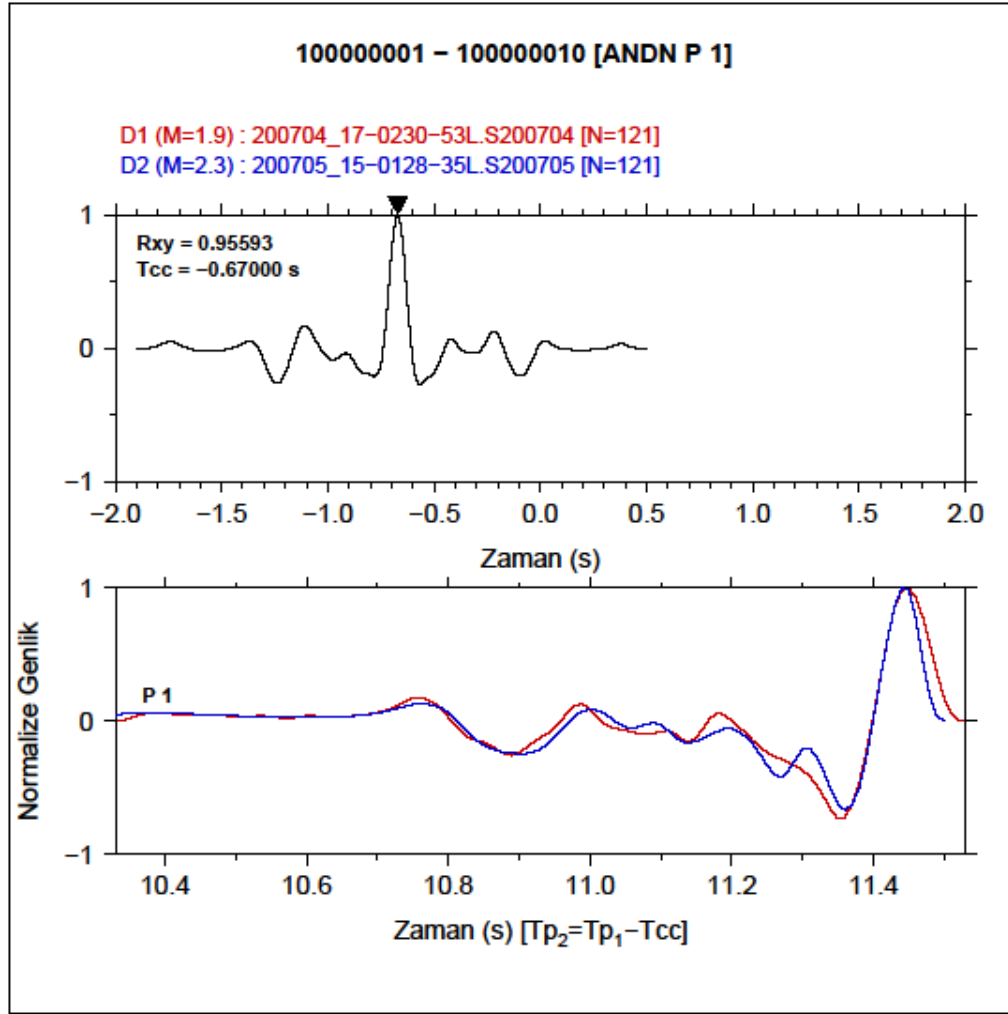
Deprem çiftleri arasındaki uyumun test edilebilmesi için farklı istasyonlarda gözlemlenen P- ve S- dalga formlarına ait korelasyon grafikleri elde edildi. Örnek bir deprem çifti için elde edilen korelasyon grafiği Şekil 4.6 'de verilmektedir. Son olarak, bu grafikler incelenerek geri kalan dalga formlarının gözle uyumları incelendi ve yine uyumsuzluk gösterenler veri setinden çıkartıldı.



Şekil 4.5 : Veri setinde bulunan her bir deprem çifti için, kaydedilen zaman farklarının ortalamasına $\sigma = \pm 0.3$ standart sapması eklendiği takdirde elde edilen aralık içinde kalan zaman farkı bilgileri.

Bu eleme sonrasında, hem katalog hemde korelasyon verisinde deprem çiftlerinin kalitesini artırmak adına, her bir deprem çiftinde en az üç veya dört faz bilgisine sahip olma koşulu arandı. Filtreleme adımları tamamlandıktan sonra, başlangıçta bulunan deprem çifti sayısı yaklaşık olarak dörtte bir ($1/4$) oranda azalım gösterdi.

Yapılan filtreleme işlemi sonrasında elde edilen gürültüsüz ve kalitesi artırılmış veriyi daha ayrıntılı incelemek adına çalışma alanı dört alt bölgeye ayrıldı. Dördüncü bölüm kapsamında sunulan relokasyon sonuçlarının değerlendirilmesi, beşinci bölümde alt kümelelere ayrılarak relokasyon yapılan kümeler üzerinden anlatılmaktadır. Farklı bölgelerde elde edilen relokasyon sonuçlarının değerlendirilmesi, çalışmada elde edilen bulguların karşılaştırılması adına yararlı olacaktır.



Şekil 4.6: Korelasyon katsayısı 0.95, zaman farkı 0.67 olan deprem çiftinin ANDN istasyonundaki P- dalga formlarının karşılaştırılması.

4.4 Relokasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

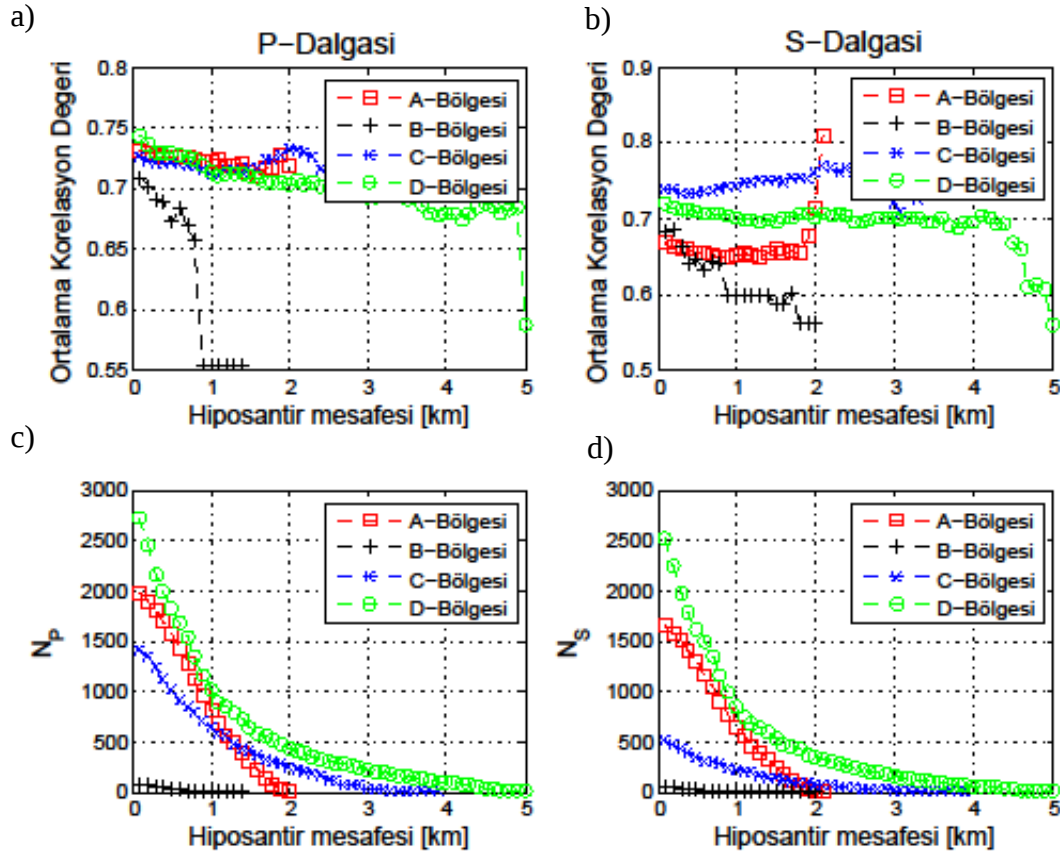
Kilikya bölgesindeki yapıları daha ayrıntılı inceleyebilmek ve relokasyon işlemini yapabilmek adına, Kilikya bölgesi dört ayrı çalışma alanına (A,B,C ve D bölgeleri) ayrıldı. Çalışma alanlarının seçimi depremlerin yoğunluk gösterdiği bölgelere göre belirlendi. Şekil 5.5 de görüldüğü gibi bazı çalışma alanları örtüşmektedir (A-C ve C-D çalışma alanları gibi). Relokasyon sonuçları değerlendirilirken örtüşen bölgelerden sadece birine ait olan sonuçlar göz önüne alınmıştır.

Relokasyon sonuçlarını değerlendirmek için deprem çiftleri arasındaki hiposantr mesafesi ortalama korelasyon değerine ve oluş sıklığına göre çizdirildi (Şekil 4.7).

Şekil 4.7’den de görüldüğü gibi P ve S dalgalarına ait gözlemler ayrı grafikler üzerinde incelenmiştir. A ve B bölgesine oranla daha büyük alanlara sahip olan C ve

D bölgeleri, uzak depremleri çift olarak tanımlayabilmektedir. Lokalize olan A ve B bölgelerinde küçük deprem kümeleri birbirlerine yakın olmasından dolayı, uzak depremleri ilişkilendirememektedir (Şekil 4.7a,b).

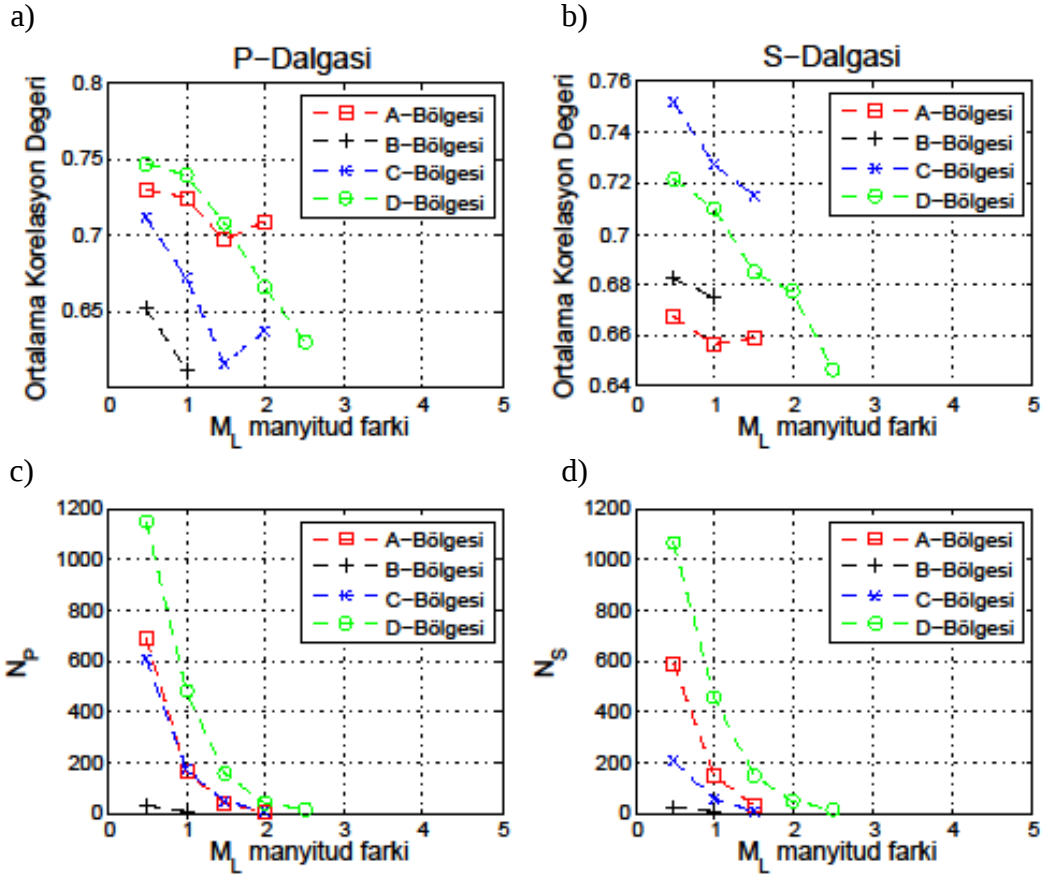
Şekil 4.7c-d incelendiğinde, genel olarak depremlerin oluş sıklığının, deprem çiftleri arasında ki mesafe arttıkça azaldığı gözlemlenmektedir. Hiposantir mesafesi arttıkça,



Şekil 4.7 : P ve S dalgaları için deprem çiftleri arasındaki hiposantir mesafesi (km)- ortalama korelasyon değeri (a ve b), hiposantir mesafesi-depremlerin oluş sıklığı (c ve d).

depremler arasında oluşacak olan zaman farkı artacağından, depremler çift oluşturamamaktadır. Büyük bir çalışma alanında relokasyon işlemi yapılıyor ise, artan mesafeye rağmen iyi korele edilmiş deprem çiftleri yakalamak mümkündür. Küçük ölçekli çalışma alanlarında ise korelasyon değerleri göreceli olarak daha düşük değerler sunmaktadır. Oluşturulan manyitüd farkı-ortalama korelasyon değeri grafikleri incelendiğinde, genel olarak bütün bölgelerde, deprem çiftleri arasında ki manyitüd farkı arttıkça korele edilen deprem sayısında azalım olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.8). Manyitüd farkının artması, dalga formlarında

farklılıklar oluşturacağından, korele edilen deprem sayısının düşmesi beklenen bir sonuçtur.

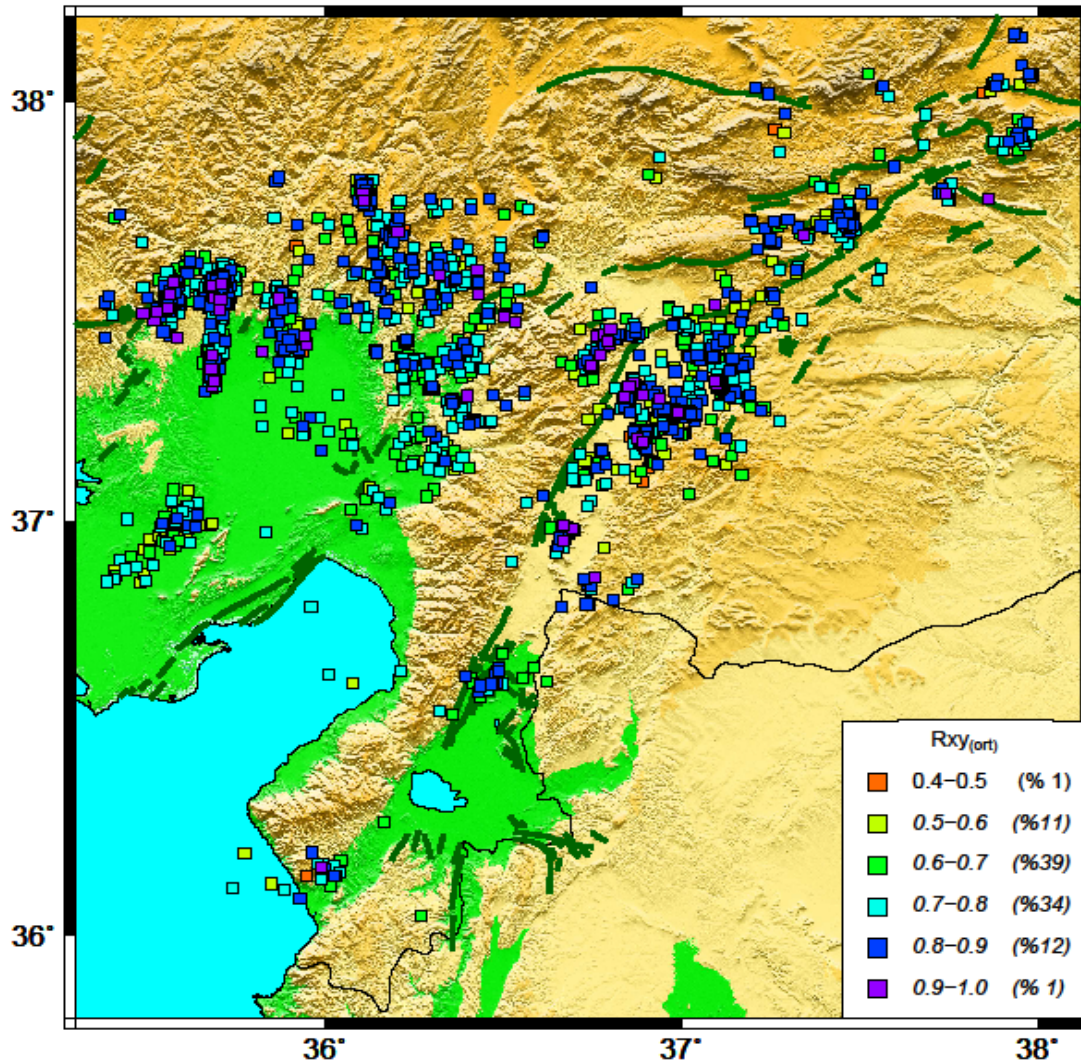


Şekil 4.8 : P ve S dalgaları için deprem çiftleri arasındaki manyitüt farkı - ortalama korelasyon değeri (a-b), manyitüt farkı ve depremlerin oluş sıklığı (c-d).

Kilikya bölgesinde oluşturulan deprem çiftleri için, ortalama korelasyon katsayısını ve korele edilmiş depremlerin yüzdesini gösteren harita incelendiği taktirde, genel korelasyon katsayısı dağılımının 0.6 ila 0.8 arasında değiştiği gözlemlenmektedir (Şekil 4.9). Yoğun kümelenmelerin olduğu kısımlarda korelasyon katsayısı daha yüksek değerlere sahip iken, saçılmış deprem dağılımı gösteren yerlerde bulunan korelasyon katsayılarının daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Bir deprem ne kadar çok sayıda depremle çift oluşturur ise, elde edilen korelasyon veri setinin kalitesi aynı oranda yükselecektir. NARD istasyonunda kaydedilen 1722 nolu depremin yakınında konumlanan 11 adet deprem ile çift oluşturduğu gözlenmiştir. Bu depremlere ait P-dalga formlarını ard arda gösterdiğimizde, dalga formlarının birbirine benzediğini gözlemlemekteyiz (Şekil 4.11). Bu depremler

DAFZ'nun Amanos segmentine paralel gelişen sismitenin olduğu bölgede, deprem büyüklükleri M_L 1 ila 2.5 arasında değişmektedir.

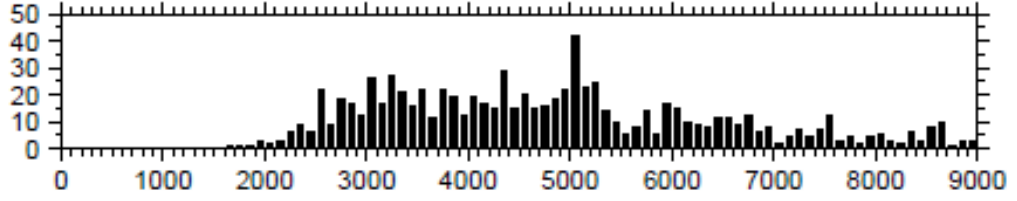


Şekil 4.9 : Kilikya bölgesinde korele edilmiş deprem çiftlerinin ortalama korelasyon katsayıları($R_{xy(ort)}$) ve yüzdelik dağılımları.

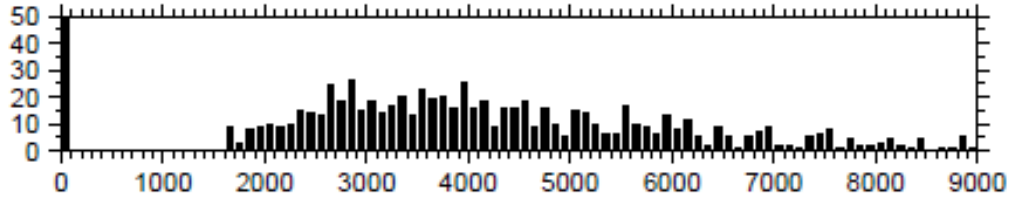
Çalışma alanının tamamında karşılaşılan yaklaşık relokasyon hataları benzerlik göstermektedir. Bu bağlamda, çalışma alanı içinde bulunan, Adana baseninin kuzeyinde kalan, Kozan bölgesinde relokasyon işlemi sonucunda elde edilen verilerin histogramlarına bakıldığı takdirde, hataların büyük oranda düştüğü rahatlıkla gözlemlenmektedir (Şekil 4.10).

Relokasyon işlemi yapılmadan önce ki hatalar, derinlikte 2 ila 7 km arasında, yatayda ise 1.5 ila 8.5 km arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4.10a-b). Bu

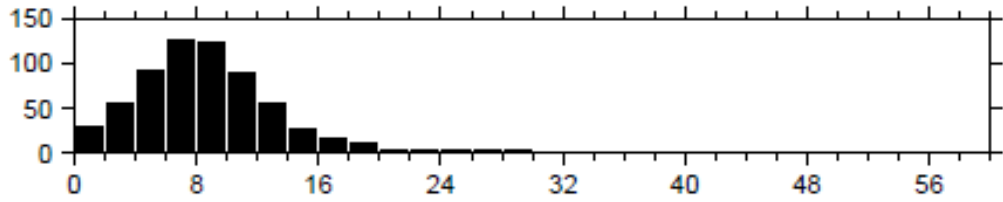
değerlerin medyanları derinlikte yaklaşık 5 km iken yatayda ise 4 km'dir. Relokasyon işlemi sonrasında oluşan göreceli hatalar çizdirildiğinde, ortalama hataların 8-10 metrelere kadar düştüğü gözlemlenmektedir.(Şekil 4.10c-d-e)



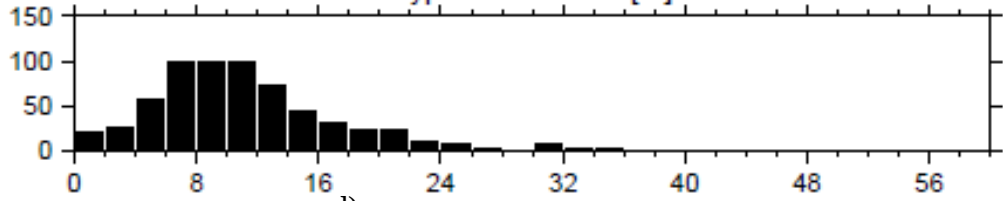
a) hypoDD.loc Exy [m]



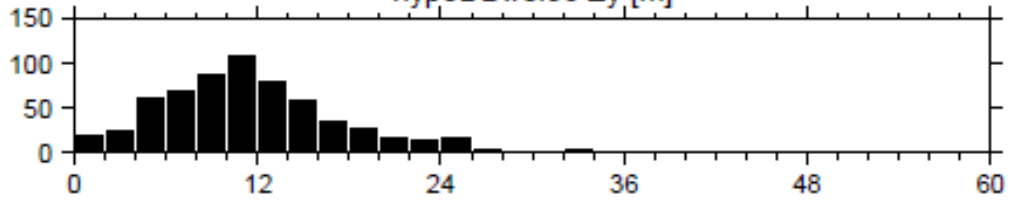
b) hypoDD.loc Ez [m]



c) hypoDD.reloc Ex [m]

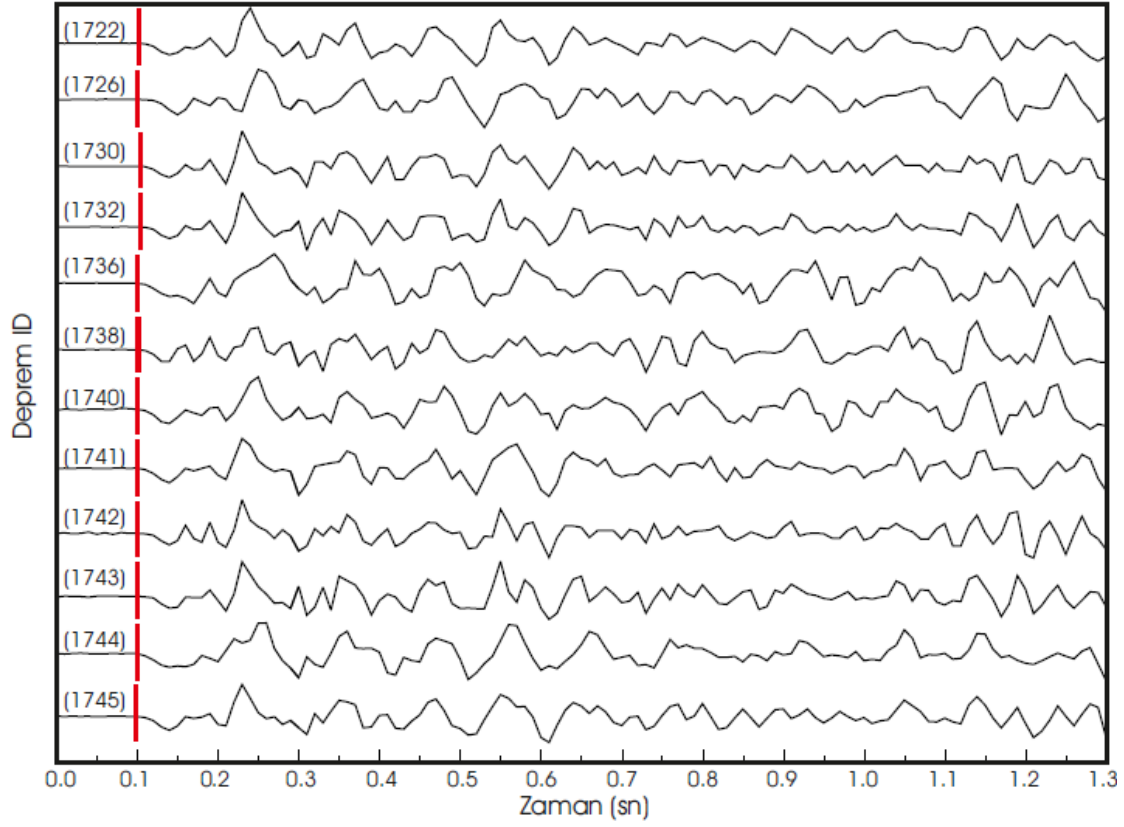


d) hypoDD.reloc Ey [m]



e) hypoDD.reloc Ez [m]

Şekil 4.10 : Relokasyon işlemi yapılmadan önce enlem-boylam ve derinlikteki hatalar (a-b) yaklaşık 5 km iken, relokasyon işlemi sonrasında enlem, boylam ve derinlik için oluşan hatalar (c-d-e) yaklaşık 8-10 metrelere kadar düştüğü gözlemlenmektedir.



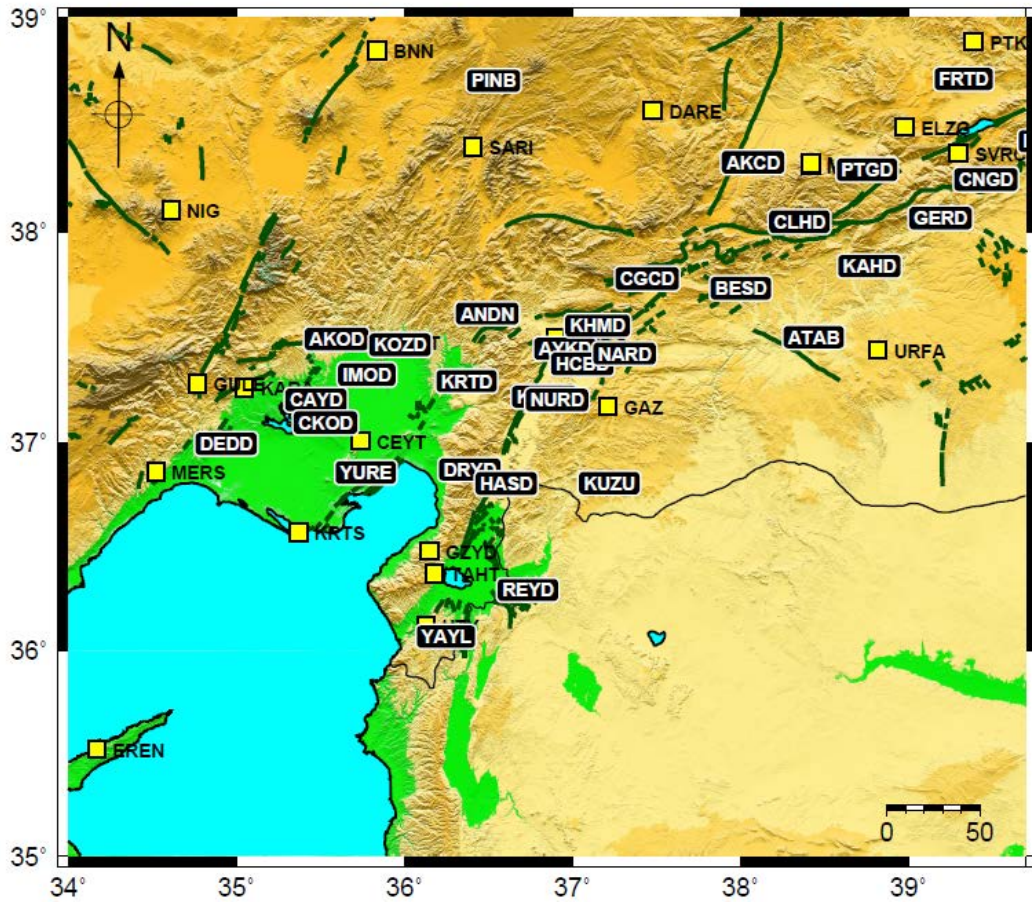
Şekil 4.11 : NARD istasyonunda kaydedilen, DAFZ'nun Amanos segmentine paralel gelişen sismitenin olduğu bölgede, 1722 nolu depremle çift oluşturan 11 adet benzer dalga şekillerine sahip depremlerin ard arda gösterimi ($1.0 < M_L < 2.5$) (kırmızı çizgiler P varış zamanını göstermektedir).

5. YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ DEPREM LOKASYONLARININ BELİRLENMESİ VE ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMLERİ

Kilikya bölgesi, Doğu Akdeniz bölgesinde olmakla birlikte içinde barındırdığı Bitlis Bindirme zonu, Doğu Anadolu ve Ölü Deniz fay zonları ile oldukça aktif ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu tektonik yapıların bölgede ne ölçüde etkili olduğu, nerden başlayıp nereye kadar uzandıkları net olarak bilinmemektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda, Kilikya bölgesi için VELEST programı ile kabuk modeli belirlenmiştir (Ergin, 1999). Geniş bir alana sahip olan Kilikya bölgesinde, farklı yapıların olduğu bilinmektedir. Bu yapıların istasyonlarda oluşturacağı etkiden kurtulmak adına bu çalışmada istasyon rezidueli düzeltmesi yapmışlardır. TÜBİTAK-MAM Yer Bilimleri Araştırma Enstitüsü tarafından 1993-1998 yılları arası toplanmış verilerden, HYPOCENTER (Lienert, 1994) algoritması kullanılarak deprem lokasyonlarını belirlemişlerdir (Ergin 1999). Aynı çalışmada, bölgedeki aktif faylanmanın türlerini tekil fay düzlemi çözümleri yaparak belirlemişlerdir. Elde ettiği çözümlerin büyük çoğunluğu yanal atımlı, çok az olmamakla birlikte normal ve ters faylanmalı yapılarla ilişkilidir. Kilikya bölgesinde, gelişen faylanma karakteristiklerinin ve mevcut gerilme alanlarını araştırmak için gerilme tensörü analizi yapmışlardır (Ergin, 1999). Bu çalışmada elde ettiği sonuçlar incelendiğinde, 1998 Adana anaşokuna kadar olan dönemde, depremlerin derinlik kesitlerine bakıldığında, genelde depremlerin 20km den sığ konumlandıkları görülmektedir. 1998 Adana depremi ve artçılarının daha derin odaklı depremler olduğu tespit edilmiştir. Depremlerin derinde olması ile, altta sismojenik bir zonun varlığı ve sığ depremlerin gözlemlenmesinden dolayı da alt ve üst kabuğun birbirinden bağımsız olarak davrandığı idda edilmektedir (Ergin, 1999, Aktar ve diğ., 2000, Ergin, Aktar, ve Eyidoğan 2004)

Çalışma alanının içinde bulunan DAFZ ile ilgili bölgede daha önce yapılan iki çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan ilkinde, Kilikya bölgesinin kuzey batısında bulunan alanda, 8 Mart 2010 yılında gerçekleşen Kozancılar depremi ve onun artçıları incelenmiştir (Tan ve diğ. 2011).

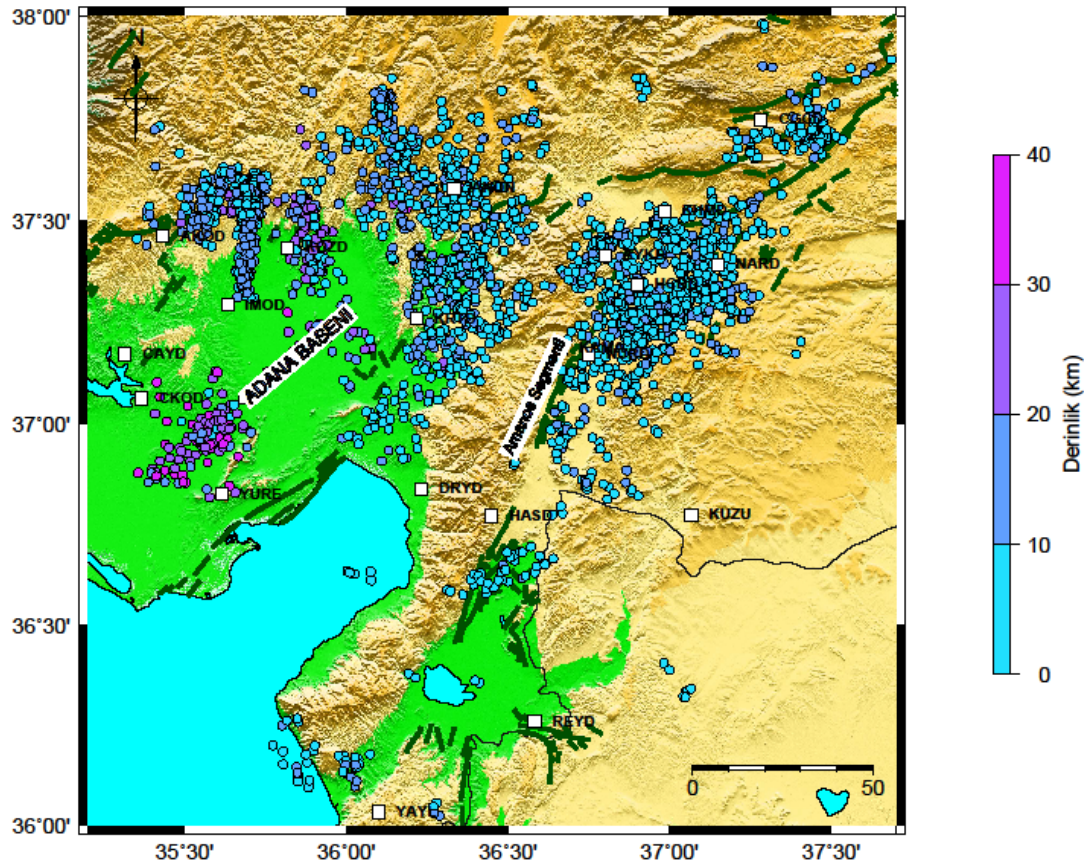
DAFZ ‘nun Palu segmentinin KB kolunun sonunda gerçekleşen deprem ve artçılığı, İkili Farklar algoritması kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada, 20-25 km arasında rastlanan istisnai deprem lokasyonları dışında, genellikle derinlik kesitlerinde deprem lokasyonlarının 15km ve yukarısında konumlandıklarını söylemişlerdir. Bölgedeki odak mekanizma çözümlerinin ise sol yanıl doğrultu atımlı faylanmanın yanında ayrıca ters faylanma özelliği gösterdiğini ileri sürmüşlerdir (Tan ve diğ. 2011).



Şekil 5.1 : Bu çalışmada kullanılan deprem istasyonları. Siyah çerçeveli olanlar 2007-2011 yılları arasında işletilen TURDEP istasyonlarını temsil ederken, kare semboller ise odak mekanizma çözümlerine ek polarite verisi sağlanan Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından işletilen deprem istasyonlarını göstermektedir.

DAFZ üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise, Kilikya bölgesinin kuzey doğusunda konumlanan DAF'nın Pütürge, Palu ve Ilıca segmentleri üzerinde relokasyon ve odak mekanizma çözümleri yapılmıştır (Bulut ve diğ. 2012). Bu çalışmada 2007-2010 yılları arasında KRDAE ve TÜRDEP projesi tarafından kaydedilen veri setleri kullanılmıştır. Elde ettikleri sonuçlarda, DAFZ'nın genel eğilimine uygun şekilde ilerleyen ve KD-GB, D-B yönelime sahip olan iki alt paralel kolların olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra odak mekanizma çözümlerinde ise genel olarak DAFZ ile uyumlu sol yanal faylanma gösteren çözümler bulduklarını vurgularken, lokalize olan normal ve ters faylanma özelliği taşıyan sonuçları da bulduklarını ileri sürmüşlerdir (Bulut ve diğ. 2012).

Kilikya bölgesinde bulunan karmaşık yapıyı anlayabilmek adına, TÜRDEP projesi kapsamında bölgeye sismolojik istasyonlar yerleştirildi (Şekil 5.1). Bu istasyonlar 2007 ila 2011 yılları arasında çalıştırılmış ve bölgedeki aktif yapıların monitör edilebilmesi için sismolojik veri toplanmıştır.

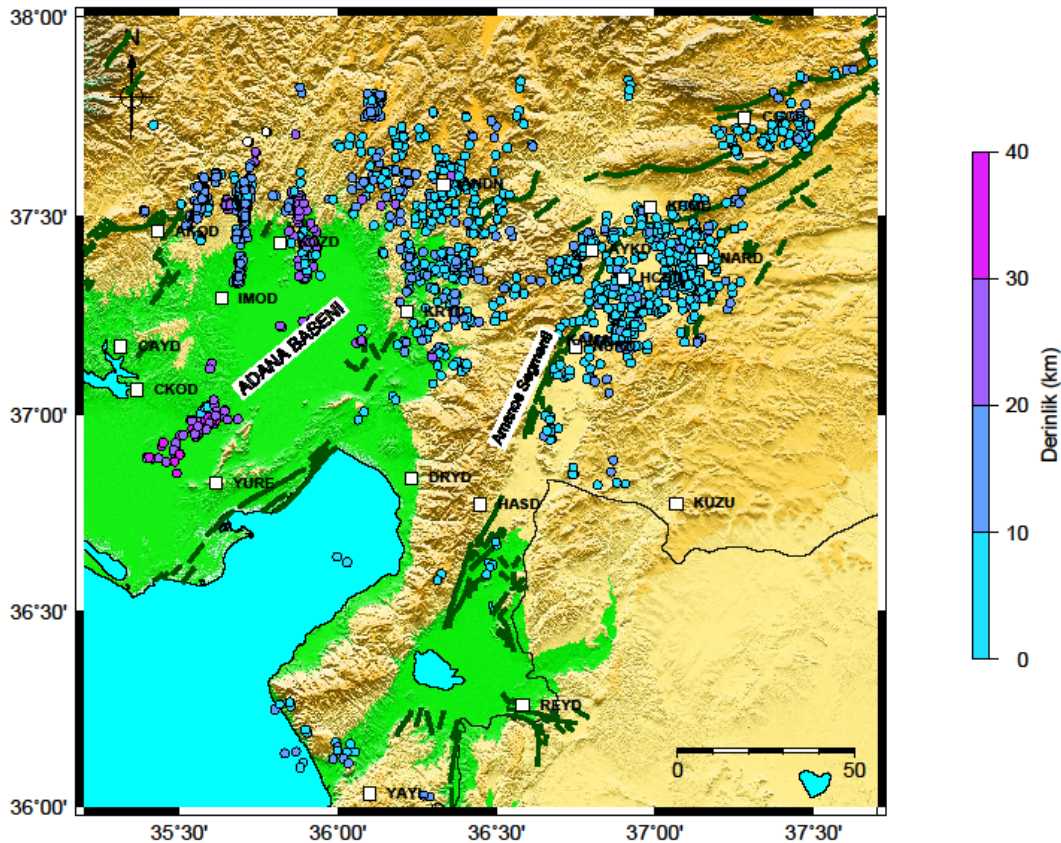


Şekil 5.2 : Kilikya bölgesinde TÜRDEP projesi kapsamında 2007-2011 arasında kaydedilen depremlerin lokasyonları.

Proje kapsamında kullanılan kabuk modelleri, Ergin ve diğ., 1999 tarafından VELEST programı ile üretilmiş ve istasyon reziduellerine göre modifiye edilmiş hız modelinden türetilmiştir.

TÜRDEP projesi kapsamında HYPOCENTER programı ile lokasyonları yapılan depremlerin, göreceli olarak doğru yerlere taşınabilmesi için, tez kapsamında, İkili Farklar algoritması kullanılarak, yüksek çözünürlüklü deprem lokasyonları bulundu. Şekil 5.2 de görüldüğü üzere TÜRDEP projesi kapsamında elde edilen deprem lokasyonları oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Sismisitenin geniş bir zon içinde Doğu Anadolu Fayını takip ettiğini, ayrıca Adana baseninin kuzeyinde ve güneyinde yer almak üzere iki ayrı deprem kümesi oluşturduğunu gözlemlemekteyiz.

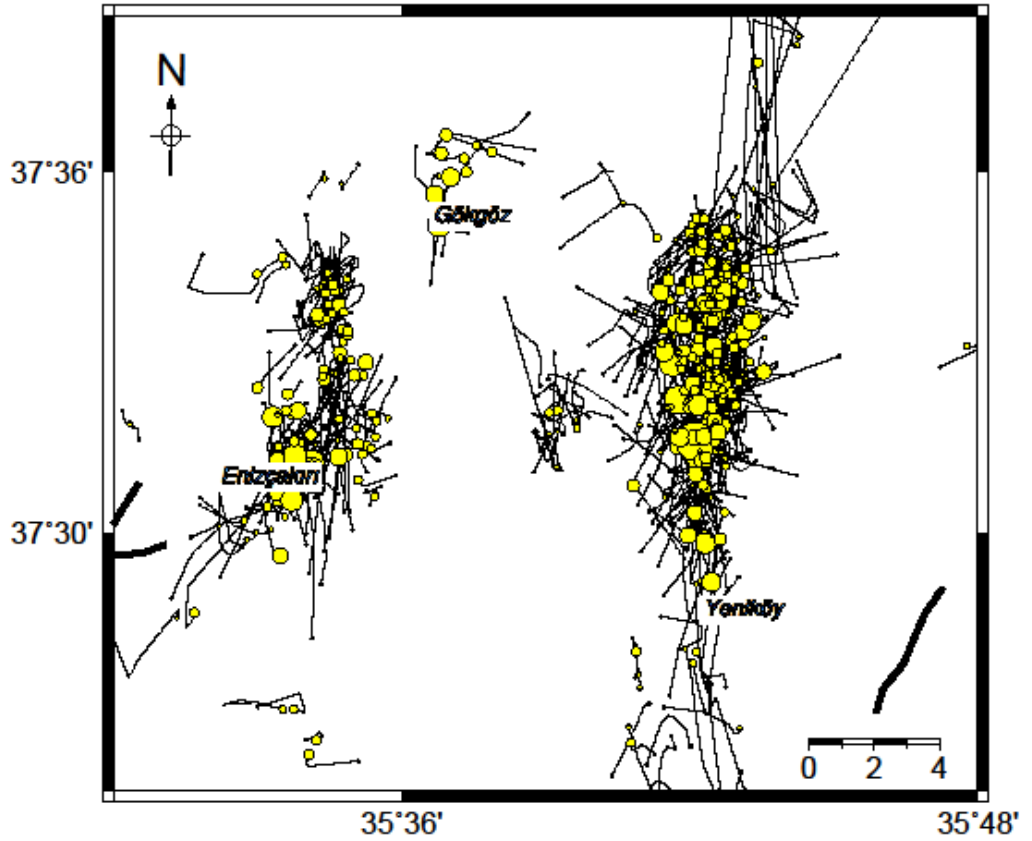
Kilikya bölgesine relokasyon işlemi uygulandıktan sonra, bu bölgelerde ki kümelenmelerde varolan saçılımların toplandığı ve çoğunlukla çizgisel yakın dağılımlar gösterdiği gözlemlendi. Özellikle Adana baseninde bulunan deprem kümelerinde, çizgisellik oldukça iyi bir şekilde ortaya konmuştur (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Kilikya bölgesinde 2007-2011 yılları arasında TÜRDEP projesi kapsamında kaydedilen depremlerin yüksek çözünürlüklü lokasyonları.

Depremlerin derinliğe göre dağılımlarını incelediğimizde basenin içinde yer alan deprem kümelerinin derin odaklı depremlerden oluştuğunu gözlemlemekteyiz.

Relokasyon işlemi yapılırken yakın depremler çift oluşturabileceklerinden ötürü, lokasyon haritasında gözlemleyeceğimiz uzak olan depremler, relokasyon haritasında gözlemlenmeyecektir. Oluşabilecek yanlış algılamaları engellemek adına, çalışma alanı içinde bulunan küçük bir kümelenmenin olduğu yerde, relokasyondan elde edilen sonuçları lokasyon verisinden ayıklayarak bir veri seti oluşturuldu. Sadece relokasyonu elde edilen depremlerin lokasyon sonuçlarının çizdirildiği haritada, iterasyonlar sonucu, depremlerin lokasyondan relokasyon konumlarına nasıl ilerlediği görülmektedir (Şekil 5.4).

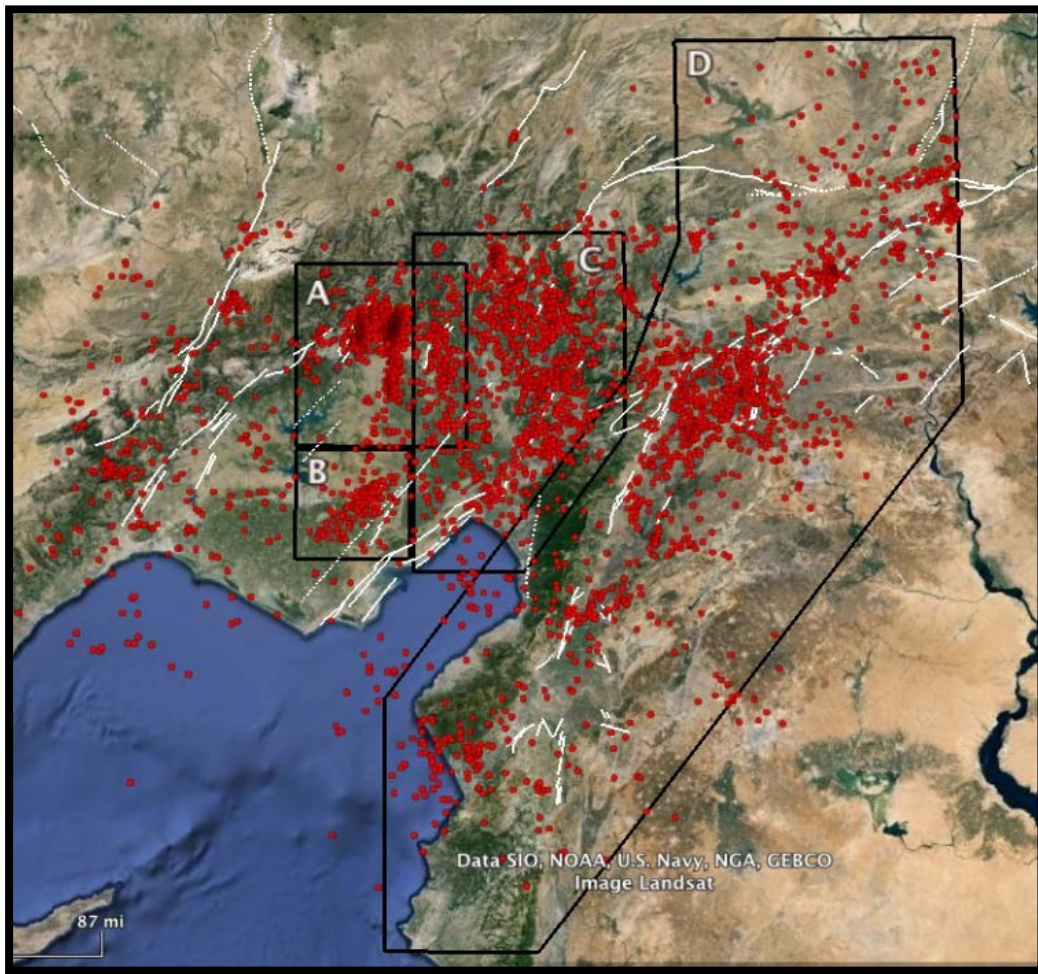


Şekil 5.4 : Çalışma alanı içerisinde bulunan küçük bir alanda, relokasyon sonucu elde edilen depremlerin (sarı noktalar) lokasyon sonuçlarının (gri noktalar) iterasyonlarla, lokasyon verisinden relokasyon verisine doğru nasıl hareket ettiğini gösteren vektörler (siyah çizgiler).

Aynı veri seti kullanılarak hazırlanan haritada, relokasyon verilerinin seçilebilirliğinin, lokasyon verilerine göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Relokasyon verileri, daha dar bir bant üzerinde iken, lokasyon verileri saçılım göstermektedir.

Kilikya bölgesindeki yapıları daha ayrıntılı inceleyebilmek ve relokasyon işlemini yapabilmek için, Kilikya bölgesi dört ayrı çalışma alanına (A,B,C ve D bölgeleri) ayrıldı (Şekil 5.5). Çalışma alanlarının seçimi depremlerin yoğunluk gösterdiği bölgelere göre belirlendi. Şekil 5.5 de görüldüğü gibi bazı çalışma alanları örtüşmektedir (A-C ve C-D çalışma alanları gibi). Relokasyon sonuçları değerlendirilirken örtüşen bölgelerden sadece birine ait olan sonuçlar göz önüne alınmıştır.



Şekil 5.5 : 2007-2011 yılları arası Kilikya bölgesinde gerçekleşmiş olan depremlerin lokasyonları (kırmızı noktalar) ve çalışma kapsamında ayrıntılı incelenecek olan bölgelerin gösterimi (A,B,C,D).

Çalışma alanının kuzeybatısında kalan A bölgesinde, Göksu fay zone ve Kozan fayı aktif olarak çalışmaktadır. Bölgenin güneyinden başlayan Kozan fayı, İmamoğlu'nun kuzeyi boyunca KD-GB doğrultusunda Mersine kadar devam etmektedir. Göksu fay zone ise K45°D doğrultulu olup Sarı-Taşköprü arasında 130km boyunca uzanmaktadır. Kozan'ın GB' sında bulunan Göksu nehri boyunca izlenebilen bu fay zone Sarız'dan itibaren KD-GB doğrultusunda devam etmektedir. KD-GB doğrultusunda sol yönlü doğrultu atım gösteren bu fayın eğimi düşeye yakındır (Duman ve Emre, 2013).

A topographic map of the Kozluk region, showing elevation contours and various geographical features. The map is bounded by coordinates 35°30' to 36°00' longitude and 37°30' to 38°00' latitude. A north arrow is located in the upper right corner. The map displays numerous earthquake epicenters, represented by red circles of varying sizes, indicating the magnitude of the events. Several stations are marked with blue triangles and labeled: AKOD, AKOD, KÖZK, KÖZD, KÖZAN, IMOD, and Sumbas. Other labeled locations include Aladag, Damlık, Kibrislar, Gökçöz, Yeniköy, Tepecikören, and Imamoglu. The map also shows several fault lines, indicated by black lines with tick marks.

43

Relokasyon ve lokasyon sonuçlarını birlikte değerlendirdiğimiz takdirde, relokasyon sonuçlarının daha iyi sonuçlar ürettiğini ve sismik aktivitenin görüldüğü alanın daralıp, çözünürlüğünün arttığı gözlemlenmektedir. Yeniköy-Kıbrıslar arasında konumlanan deprem kümesinde lokasyon sonuçları saçılım gösterirken, relokasyon sonuçları K-G doğrultulu bir aktivite göstermektedir. Gökgöz-Enizçakırı bölgesindeki depremlerin dağılımı geniş bir alanda yayılmış iken, relokasyon sonuçları çok net olmamakla beraber KD-GB doğrultulu bir aktivite göstermektedir (Şekil 5.7).

Relokasyon sonuçlarının daha ayrıntılı incelenmesi adına sismik aktivitenin yoğunluk gösterdiği Gökgöz-Enizçakırı (AA', BB' kesitleri) ve Yeniköy-Kıbrıslar (CC', DD' kesitleri) arasındaki deprem kümelenmeleri üzerinde derinlik kesitleri alındı.

Bilindiği gibi derinlik kesitlerinin araştırılan fayların doğrultusuna dik alınması gerekir. Derindeki veya yüzeydeki haritalanmamış fayların doğrultusu bilinmediği için 10'ar derecelik azimutlarla derinlik kesitleri alındı. Bu çalışmada, 10ar derecelik azimutlarda taranan bölgelerde derinde yada yüzeyde bulunan muhtemel fayları ve derindeki etkilerini belirlemek hedeflendi.

Alınan derinlik kesitleri incelendiğinde, derinde (10-15km) ve yüzeyde (0-5km) olmak üzere birbirinden bağımsız kümelenmiş iki ayrı deprem aktivitesi gözlemlendi (Şekil 5.8 b-e).

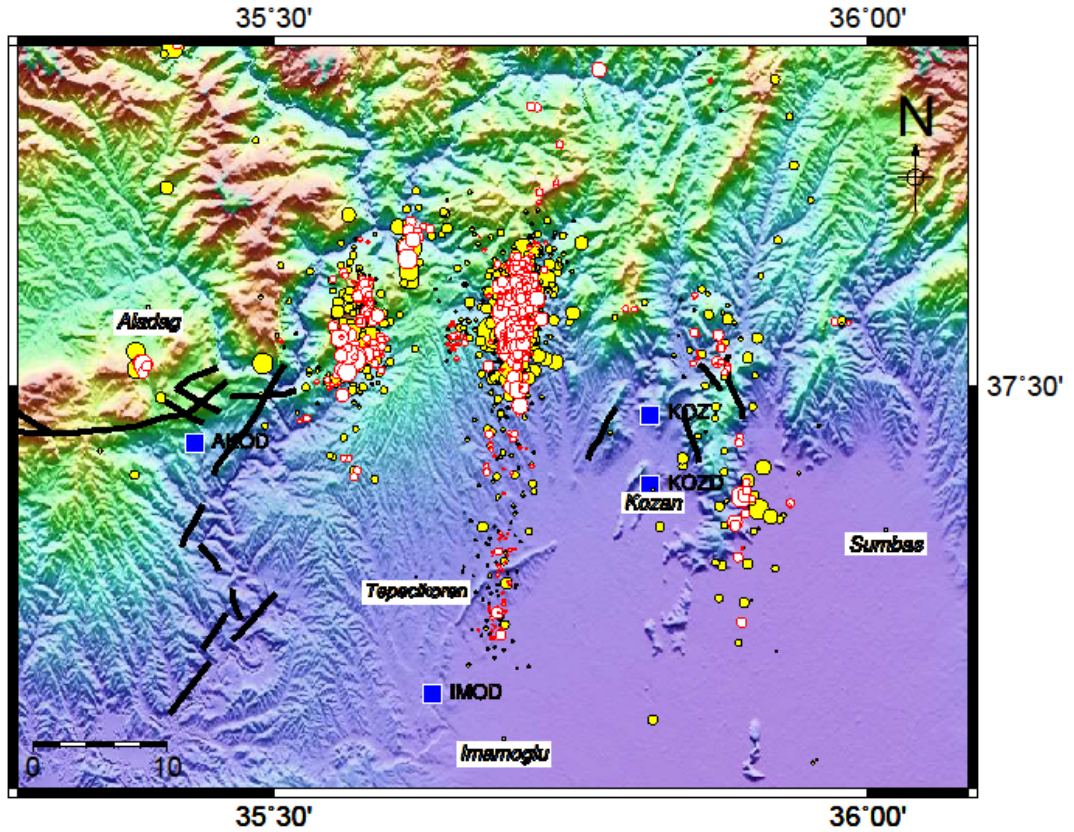
Enizçakırı ve Gökgöz'ü bölgesindeki relokasyon sonuçları derinlik kesitinin azimutunu belirlemede etken oldu. Belirlenen 120 derecelik azimutda AA' ve BB' kesitleri alındı (Şekil 5.8 b,c).

Gökgöz bölgesinde olan sismisite, derinlik kesitinde incelendiğinde AA' kesitinde görüldüğü üzere 10-15km derinlikleri arasında bir yığılma gözlemlenmektedir (Şekil 5.8a).

BB' kesitinde depremlerin derine doğru dağılımları incelendiğinde, bu kesitte izlenen depremlerin çizgisele yakın bir küme içinde derine doğru dağılım gösterdiğini gözlemliyoruz. (Şekil 5.8c).

Yeniköy-Kıbrıslar arasında K-G uzanan deprem kümesi üzerinde iki farklı azimutda derinlik kesiti alındı (Şekil 5.8 d,e). CC' kesitinde 10ar derecelik azimutlarla alınan derinlik kesitleri incelendiğinde K50D doğrultulu kesit üzerinde sismisitenin derine

doğru çizgisellik gösterdiğini gözlemledik(Şekil 5.8d).



Şekil 5.7: Lokasyon (sarı) ve relokasyon (kırmızı) sonuçları.

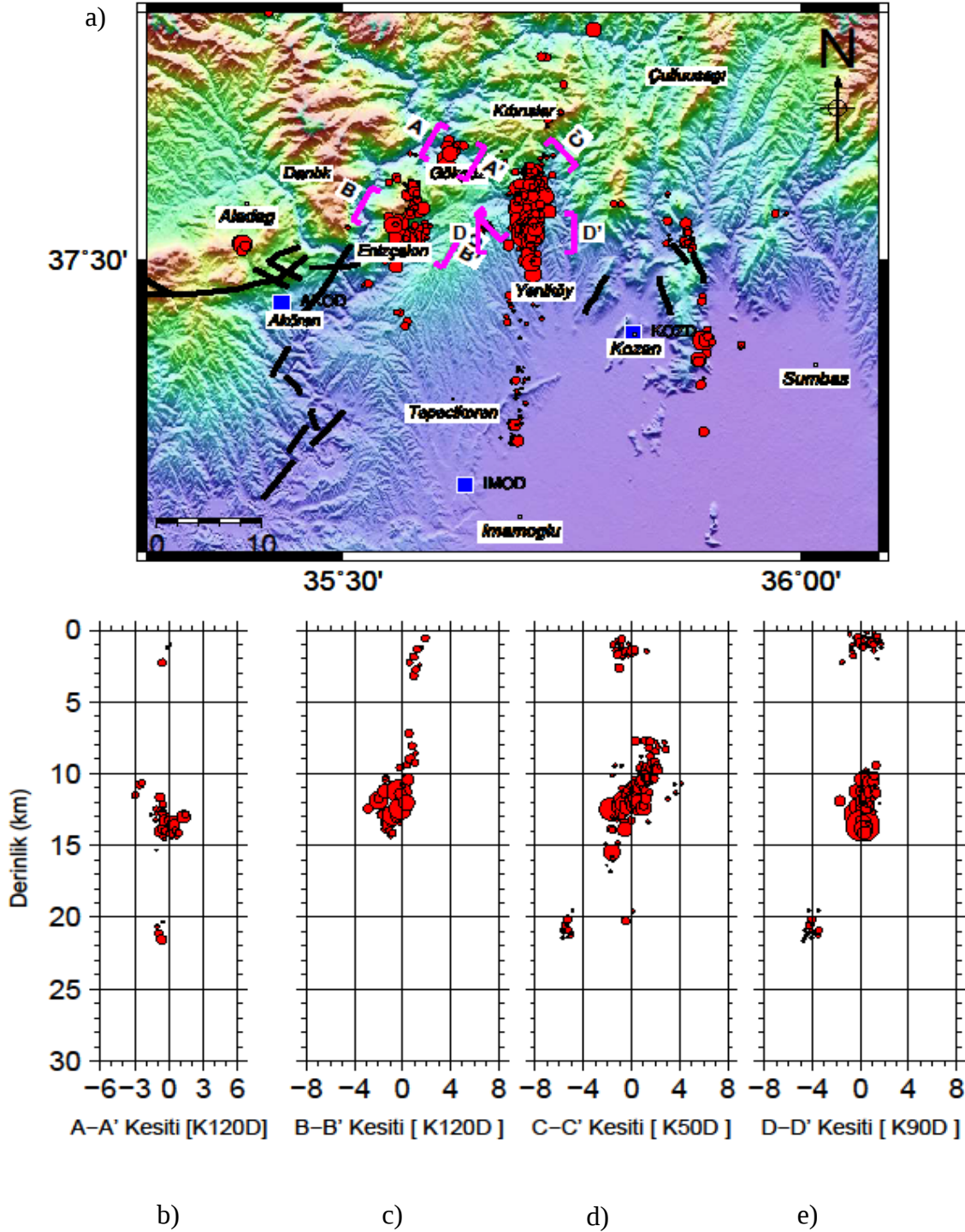
CC' kesitinde 8-16 km arasında gözlemlenen bu çizgisellik GB'ya eğimli bir yapı sergilemektedir. Bu sebeple bu çizgiselliğin eğim-atımlı bir fayla ilişkilendirilebileceğini düşünmekteyiz.

DD' kesitinde de 10-15km arasında derine doğru dar bir zon içinde sismik aktivite gözlemlenmektedir (Şekil 5.8e).

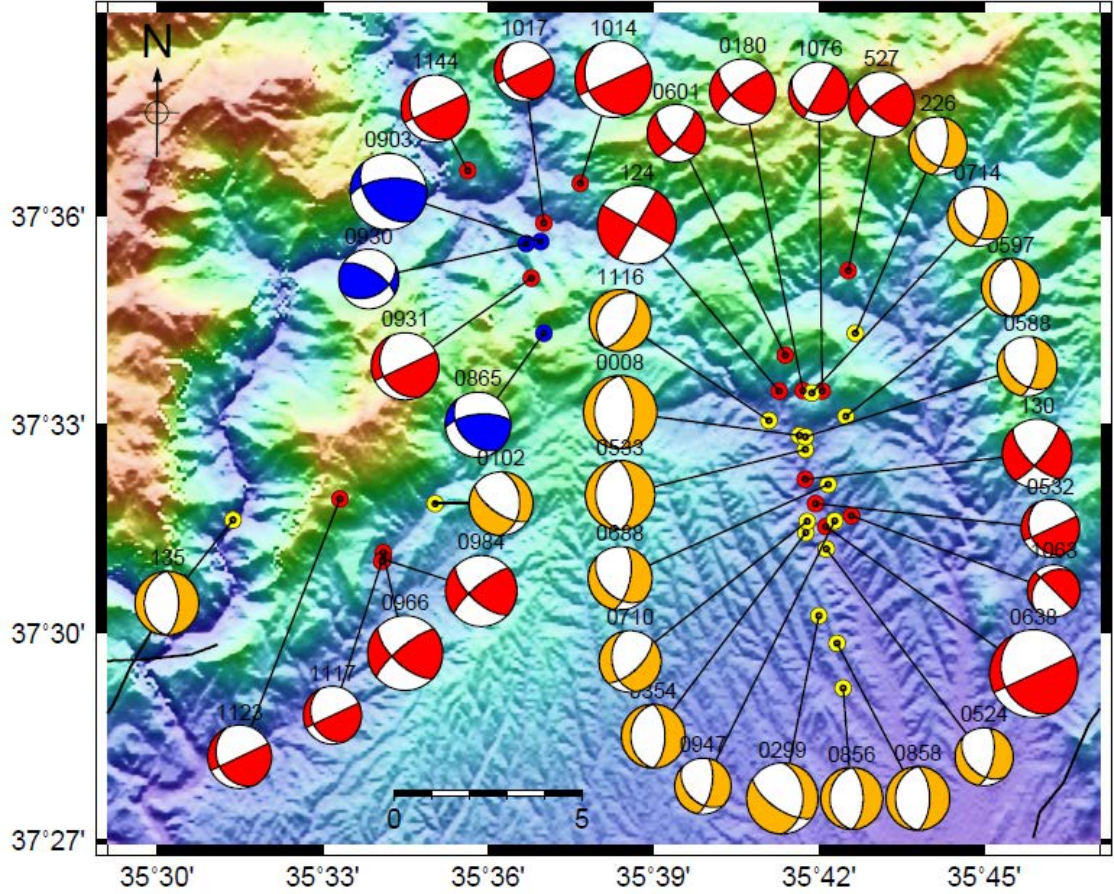
A bölgesinde yer alan depremler için odak mekanizması çözümleri yapıldığında bölgede genel olarak normal ve doğrultu atımlı fayların hakim olduğu tespit edildi. Gökgöz-Enizçakırı deprem kümesi üzerinde doğrultu atımlı özellik gösteren mekanizmalar elde edilmiştir, buda bölgede aktif olan KD-GB doğrultulu sol yanal doğrultu atımlı faylarla ilişkili olabilir.

Yeniköy-Kıbrıslar arasındaki sismik aktiviteye tekabül eden depremlerin odak mekanizma çözümlerini incelediğimizde, bölgede normal faylanmanın aktif olduğu bir sistem görülmüştür. Normal faylanma yöneliminin K-G veya KKB-GGD olduğu Şekil 5.9'da verilen odak mekanizma çözümlerinden görülmektedir. KKB-GGD doğrultusundaki normal faylanmaların CC' ve DD' kesitini kesmekte olduğunu

gözlemliyoruz. Ayrıca, bölgede doğrultu atımlı faylanmalar da tespit edilmiştir. Doğrultu atımlı mekanizmalar incelendiğinde KD-GB doğrultulu düğüm düzlemi bölgede etkin olan KD-GB doğrultulu sol yanal doğrultu atımlı faylara paraleldir.



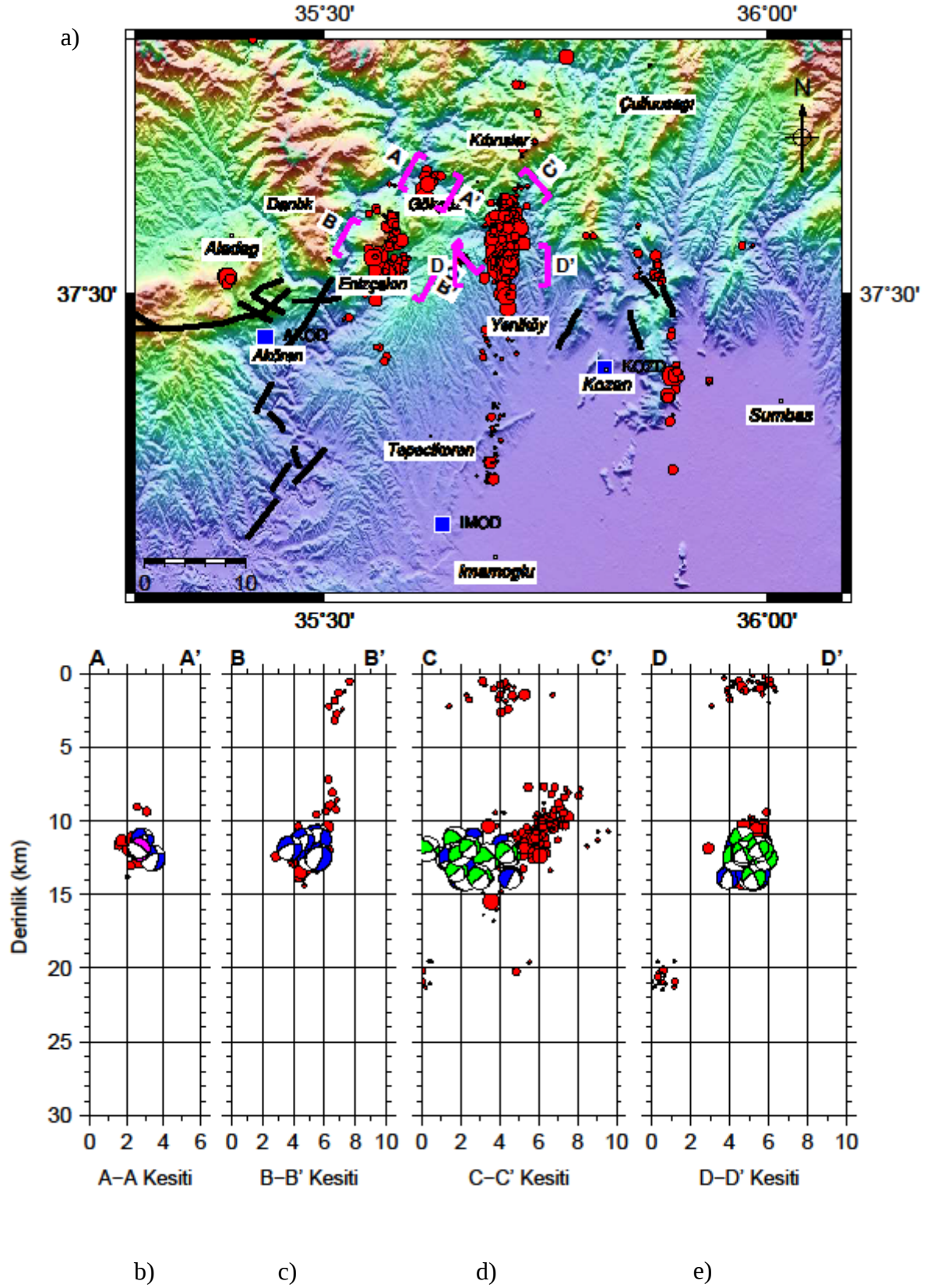
Şekil 5.8 : A bölgesinde relokasyon sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü deprem relokasyonları (a) ve bu relokasyon sonuçları üzerinden farklı azimutlarda alınan derinlik kesitleri (b, c, d, e).



Şekil 5.9: A bölgesi odak mekanizma çözümleri.

Odak mekanizmaları çözümlerini ve derinlik kesitinden elde edilen sonuçları karşılaştırmak adına, odak mekanizma çözümlerini derinlik kesitine yerleştirdik (Şekil 5.10). Bu sayede hangi derinliklerde hangi tür faylanmaların olduğunu gözlemlemek hedeflendi.

Derinlik kesitlerine yerleştirilen odak mekanizması çözümleri ile BB' kesitinde 10-15km arasında doğrultu atımlı mekanizmaların bulunduğu, CC' kesitinde 8-15km arasında büyüklükleri $M=3.0-4.0$ arasında değişen çoğunlukla normal faylanma ile ilişkili depremlerin, aynı zamanda az sayıda doğrultu atımlı faylanma ile ilişkili depremlerin ve DD' kesitinde ise $M=4.7$ büyüklüğünde 60° eğimli doğrultu atımlı faylanma ve büyüklükleri $M=3.0-3.4$ arasında değişen normal faylanma ile ilişkili depremlerin konumlandıkları gözlemlendi (Şekil 5.10). CC' kesitinde gözlemlenen normal faylanma gösteren odak mekanizma sonuçlarından da görüldüğü gibi, düğüm düzlemlerinden biri GB'ya eğimli çizgisel yapıya paraleldir.



Şekil 5.10 : Relokasyon sonuçları (a) üzerinden alınan derinlik kesitlerinde odak mekanizma sonuçlarının gösterimi(b, c, d, e) (mavi: doğrultu atımlı faylanma, yeşil: normal faylanma, pembe: ters faylanma).

5.2 B Bölgesi

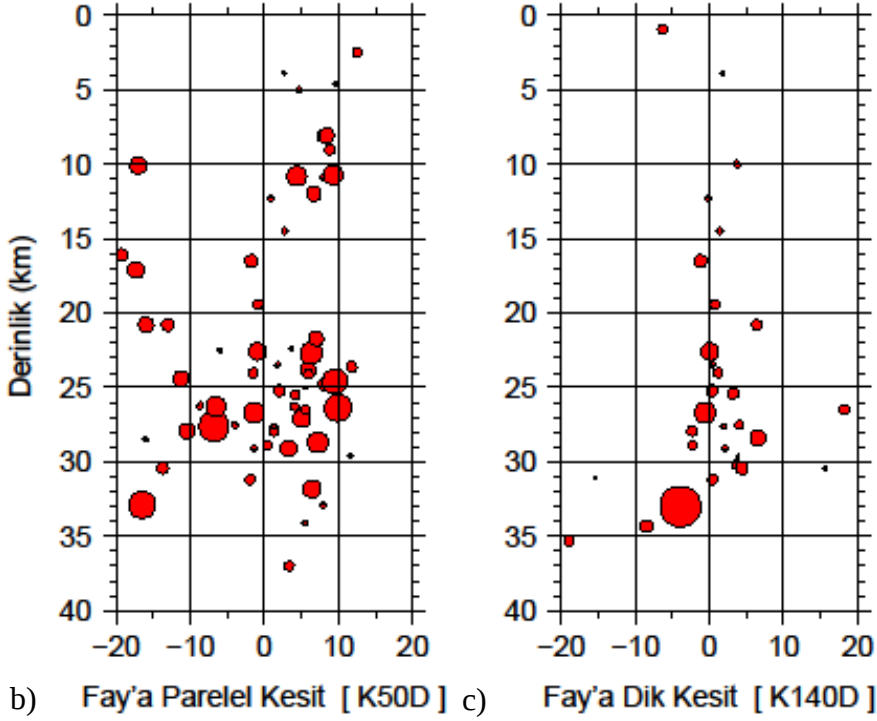
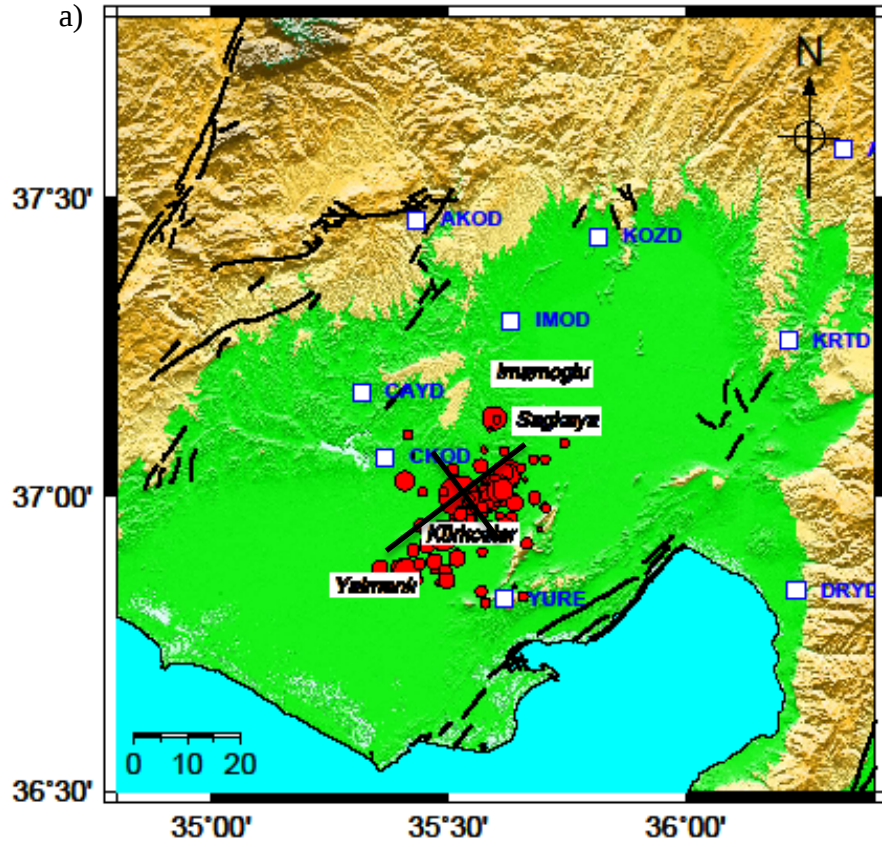
Çalışma alanının güneybatısında bulunan B bölgesi, en küçük alana sahip olan bölge olmakla birlikte sismisitesi A bölgesine oranla oldukça düşüktür. Deprem yoğunluğunun olduğu bölge KD-GB boyunca, İmamoğlu-Sağkaya ile başlamakta, Yenyayla, Kürkçeler, Yalmanlı ile devam etmektedir. B bölgesinde aktif olarak çalışan Yakapınar ve Yumurtalık fay zonları bulunmaktadır.

Bölgede bulunan ve bölgedeki sismik aktivitenin sebeplerinden biri olduğu düşünülen Yakapınar fayı sol yanal özellik taşımakla birlikte 1945 ve 1998 yıllarında gerçekleşen 6.0 ve 6.2 büyüklüğündeki depremlerle ilişkilendirilmektedir.

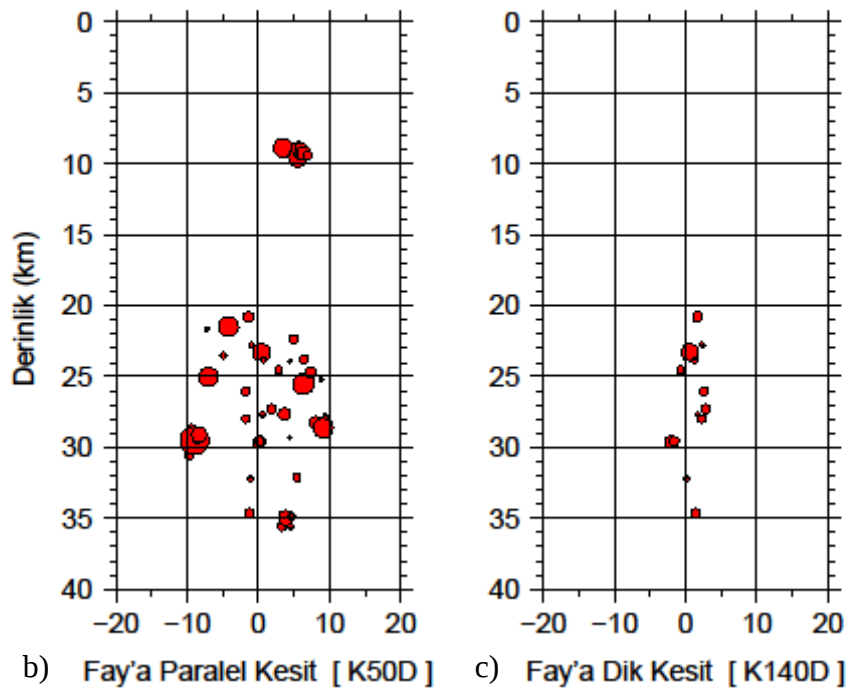
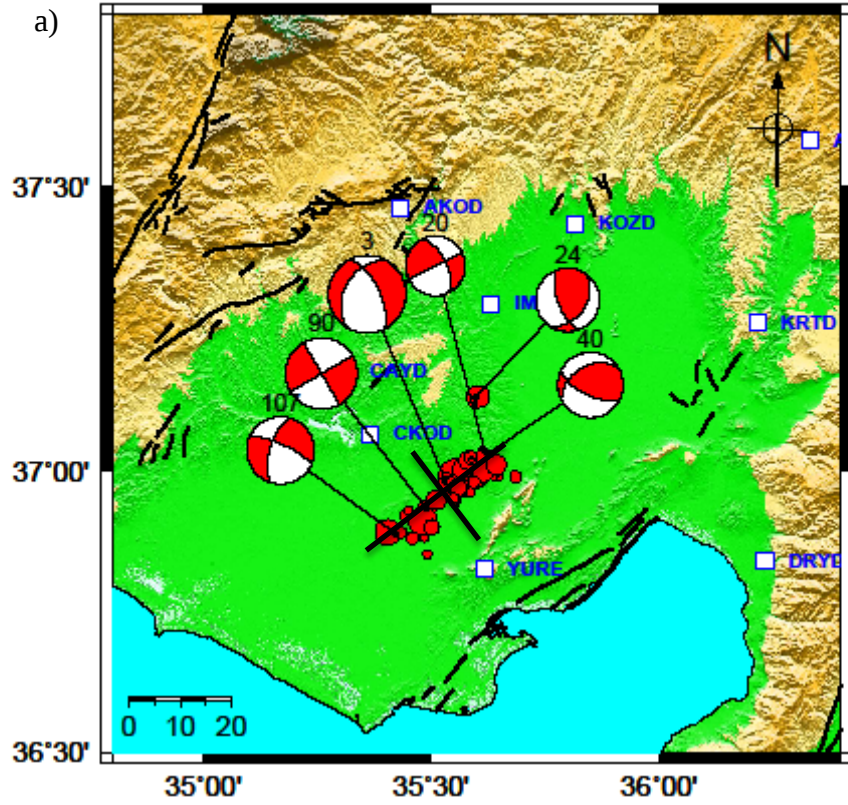
Relokasyon işlemi yapılmadan önce harita görüntüleri incelendiği takdirde, B bölgesi KD-GB yönelimli dağınık bir sismisite sergilemekte olduğu gözlemlendi. Haritada gözlemlenen KD-GB yönelimli yapıyı ayrıntılı inceleyebilmek adına, sismik aktiviteyi dik ve paralel kesecek şekilde iki derinlik kesiti alındı. Lokasyon haritası üzerinden alınan derinlik kesitleri, depremlerin derin odaklı olduğunu göstermektedir (Şekil 5.11).

Relokasyon işlemi gerçekleştikten sonra, bu bölgedeki deprem lokasyonlarının çözünürlüğünün ve KD-GB yöneliminin seçilebilirliğinin arttığı gözlemlendi (Şekil 5.12a). Relokasyon sonuçları üzerinden, KD-GB yönelimine dik ($K130^{\circ}D$) ve paralel ($K40^{\circ}D$) kesitler alındı (Şekil 5.12b-c). Alınan dik kesitte, derine doğru dike yakın bir çizgisellik gözlemlenirken, paralel kesitte bir saçılım gözlenmektedir. Dik derinlik kesitlerinde düşey çizgisellik sergileyen az sayıda ki depremler 20 ila 40km arasında konumlanmaktadır. Lokasyon sonuçlarında olduğu gibi, relokasyon sonuçlarında, bölgenin derin depremler ürettiğini söylemektedir.

Yapılan odak mekanizması çözümleri, bölgede doğrultu ve eğim atımlı fayların bulunduğunu göstermektedir (Şekil 5.12a). Relokasyon sonuçları ile bağdaşan odak mekanizması çözümleri, derinde bulunan sismisitenin sol yanal doğrultu atımlı bir faylanma ile ilişkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.11 : B bölgesindeki deprem lokasyonları ile odak mekanizma çözümleri (a) ve lokasyon verisi üzerinden alınan farklı azimutlardaki derinlik kesitleri (b,c).



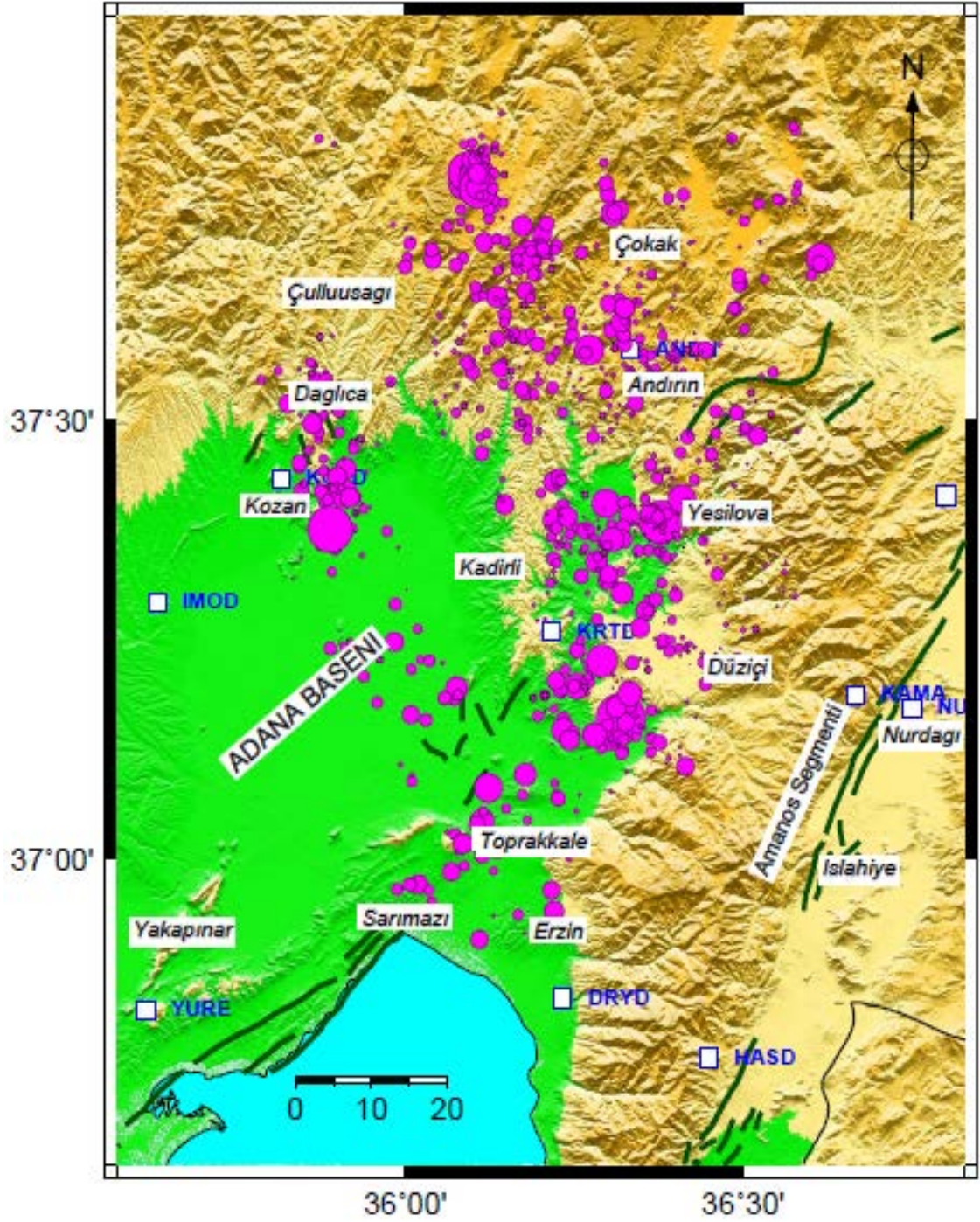
Şekil 5.12 : B bölgesinde, relokasyon sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü deprem lokasyonları ile odak mekanizma çözümleri (a) ve relokasyon çözümleri üzerinden alınan farklı azimutlardaki derinlik kesitleri (b,c).

5.3 C Bölgesi

A bölgesinden daha geniş alana sahip olmasına rağmen, C bölgesinde daha az sismik aktivite gözlenmektedir. Bölgede sismisitenin yoğun olduğu iki küme görülmektedir (Şekil 5.13). Bunlardan ilki, C bölgesinin batısında kalan ve Dağlıca'dan başlayıp Kozan' nın güneyine kadar uzanmıştır. Aktivitenin yoğunlaştığı ikinci bölge ise, ilk kümelenmeye göre daha geniş alana yayılmış ve daha fazla deprem içermektedir. Bu aktivitenin yoğunlaştığı ikinci bölge ise Çokak civarında başlayıp güneye doğru Andırın, Yeşilova, Düziçi ve Toprakkale boyunca uzanıp Sarımazı civarında sonlanmaktadır.

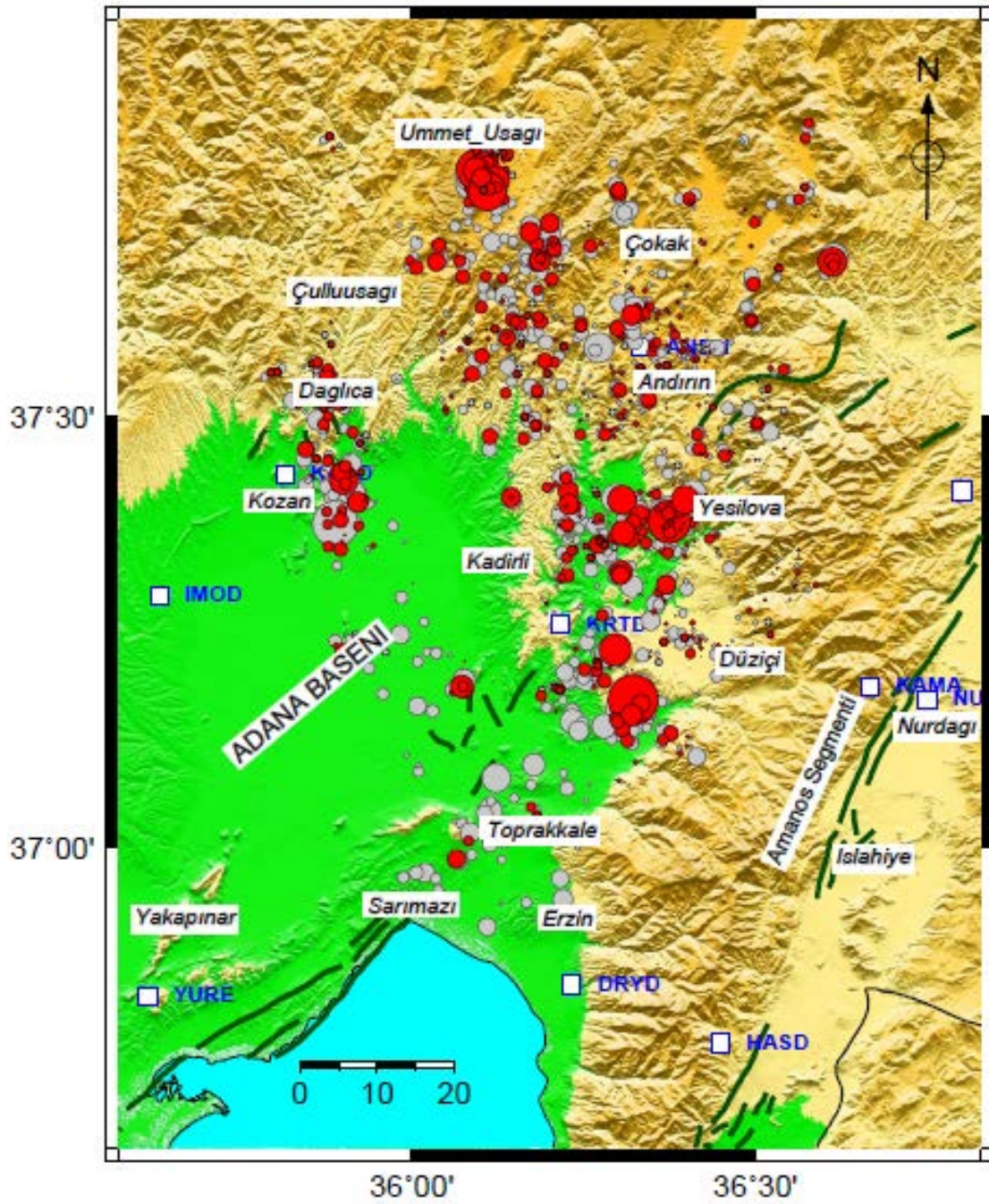
Bölgede aktif üç fay zone bulunmaktadır. Kuzeydoğusunda Çokak, merkezinde ise Toprakkale ve İskenderun-Düziçi fay zone bulunmaktadır. Bunların yanı sıra ikinci aktivitenin olduğu alana oldukça yakın olan Yumurtalık fayda bölgede aktif çalışan diğer bir faydır. Çalışma alanının kuzey kısmındaki sismisiteye yakın konumlanan Çokak fayının ana karakteri sol yanal doğrultu atımlıdır. İkinci alandaki aktivitede etkisi olan faylardan biri olduğu düşünülen Toprakkale fayı ise, Toprakkalenin batısında kalan bölümünde normal bileşenli bir çökme ile karakterize edilmektedir. Bölgede etkisi olan İskenderun-Düziçi fayının kollarından biri olan Erzin fayının tektonik olarak etkin rol oynadığı düşünülmektedir. İskenderun-Düziçi fayının genel karakteri KB yönelimli normal faylardan oluşmaktadır fakat Erzin kolunun gösterdiği genel yönelim ise $K15^{\circ}$ - 20° D olan paralel faylar içermektedir (Duman & Emre 2013).

Lokasyon ve relokasyon sonuçları birlikte değerlendirildiği takdirde, relokasyon sonuçlarının daha iyi çözümler ürettiğini ve sismik aktivitenin görüldüğü alanın daralıp, çözünürlüğünün arttığı gözlemlenmektedir. C bölgesinin batısında bulunan K-G doğrultu deprem kümesinin seçilirliğinin arttığı gözlemlenirken, kuzeyinde bulunan deprem kümesinde gözlemlenen saçılımların azaldığı kaydedilmiştir (Şekil 5.14).Elde edilen relokasyon sonuçlarına göre C bölgesinde, 4 ayrı küçük deprem kümesi bulunmaktadır (Şekil 5.14). Batısında, Kozan yakınlarında K-G doğrultulu bir kümelenme var iken, diğer bir kümelenme ise kuzeyde Ümmetuşağı bölgesinde, üstüste binmiş depremlerden oluşmaktadır. C bölgesinin güneydoğusunda bulunan kısımda ise iki ayrı kümelenme bulunmaktadır (Şekil 5.14).



Şekil 5.13 : C bölgesinde deprem lokasyonları.

Relokasyon sonuçlarının ayrıntılı olarak incelenmesi ve derindeki yapıların gözlemlenebilmesi için, kümelenme gözlemlenen yerlerde 10'ar derecelik azimutlarda derinlik kesitleri alındı. A bölgesinde alınan kesitlerde gözlemlendiği gibi C bölgesindeki kesitlerde de genellikle biri yüzeyde diğeri derinde olmak üzere farklı derinliklerde ve birbirinden bağımsız iki deprem kümesi gözlemlendi (Şekil 5.15b-e).



Şekil 5.14 : C bölgesi lokasyon (gri) ve relokasyon (kırmızı) sonuçları.

C bölgesinin güneydoğusunda bulunan deprem kümelerinden ilki üzerinde 50° lik azimutla AA' kesiti alınmıştır (Şekil 15a). Bu küçük deprem kümesine ait AA' kesiti incelendiğinde sismisitenin 0-5km arasında yüzeye yakın konumlandığı görülmektedir (Şekil 5.15b).

Sismisitenin harita üzerindeki dağılımında herhangi bir çizgisellik yakalamak zor olsa da, derinlik kesitlerini 10'ar derece aralıklarla taradığımızda sismisitenin 50° lik azimutda tek bir noktaya doğru yığıldığı gözlenmektedir. Bu gözlem, kümenin KB-

GD gidişli bir fay ile ilişkili olabileceğine işaret etmektedir. Bu küçük küme yakınlarında doğrultu atımlı mekanizmalar mevcuttur (Şekil 5.16).

Doğrultu atımlı fayların düğüm düzlemlerinden biri KB-GD yönünde uzanmaktadır. Bölgedeki deprem kümesi tekil bir fay ile alakalı ise, AA' kesitindeki yüzeye yakın bu küçük deprem kümesi KB-GD gidişli sağ yanal doğrultu atımlı bir fayla ilişkilendirilebilir. Bölgenin güneydoğusunda bulunan bir diğer kümelenme için 120°'lik azimutla alınan BB' kesitinde, çizgiselliğe rastlanılmadı (Şekil 5.15c).

Batıda bulunan K-G doğrultulu kümelenmeye dik olacak şekilde 90°'lik azimutla kesit alındı ve derinde olan yapılar hakkında ayrıntılı bilgi edinmek hedeflendi (Şekil 5.15a). Alınan CC' kesitinde 20-23 km arasında bir kümelenme bulunmakla birlikte genel olarak depremler aynı derinlikte toplanmıştır (Şekil 5.15d).

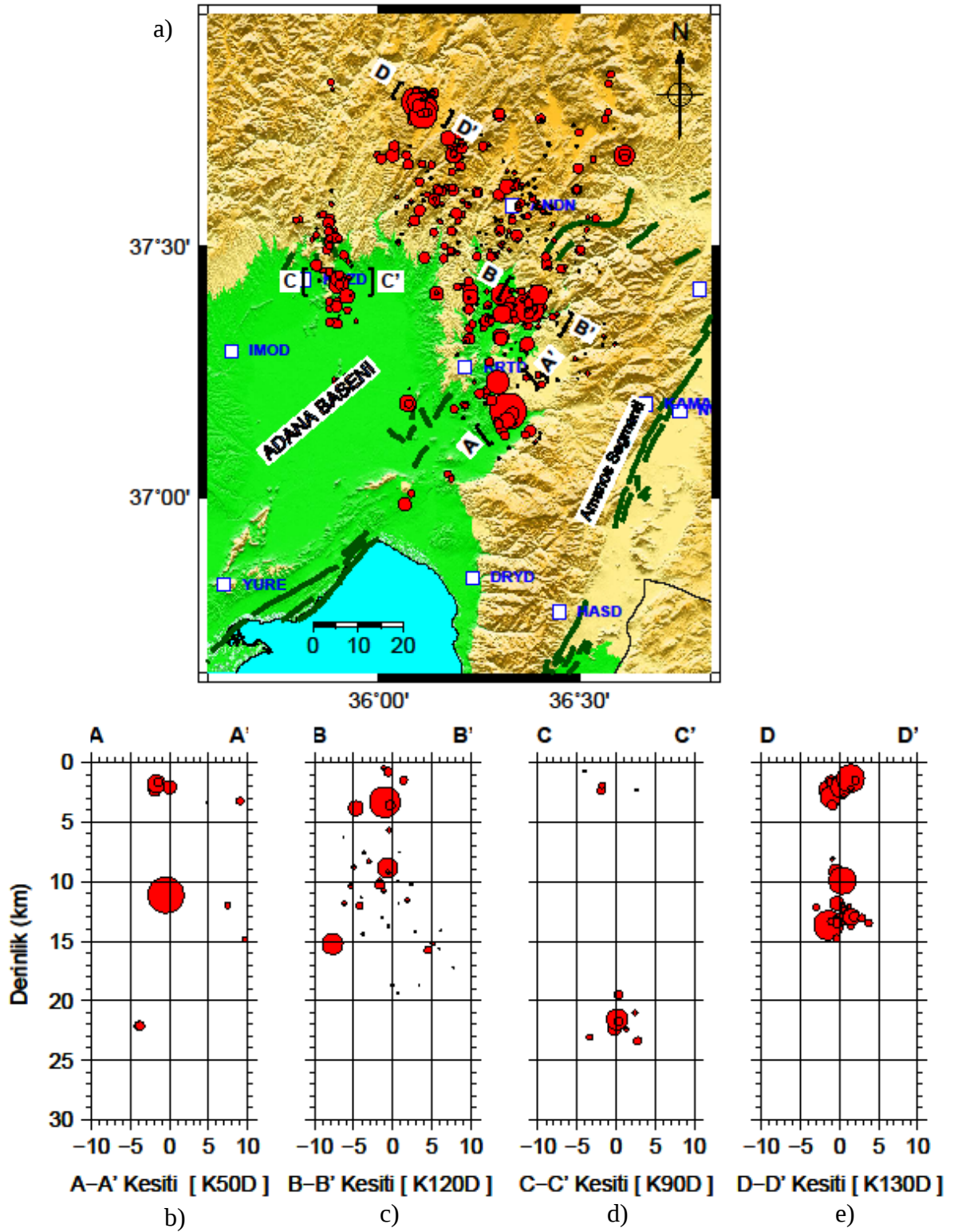
C bölgesinin kuzeyinde bulunan deprem kümesi için alınan DD' kesitinde ise iki farklı derinlikte birbirinden bağımsız deprem kümelerine rastlanıldı (Şekil 5.15e). DD' kesitinde, biri 0-5 km arasında yüzeye yakın, diğeri 8-15km arasında derinde olmak üzere iki deprem kümesinin farklı derinliklerde konumlandığı gözlemlendi (Şekil 5.15e).

Odak mekanizmaları çözümleri incelendiğinde ise, C bölgesinde çoğunlukla doğrultu atımlı ve yer yer eğim atımlı mekanizmalar gözlemlendi (Şekil 5.16). AA', BB', ve DD' kesitlerinin alındığı yerlerde bulunan odak mekanizma sonuçları doğrultu atımlı fayların hakim olduğu yerlerdir (Şekil 5.16).

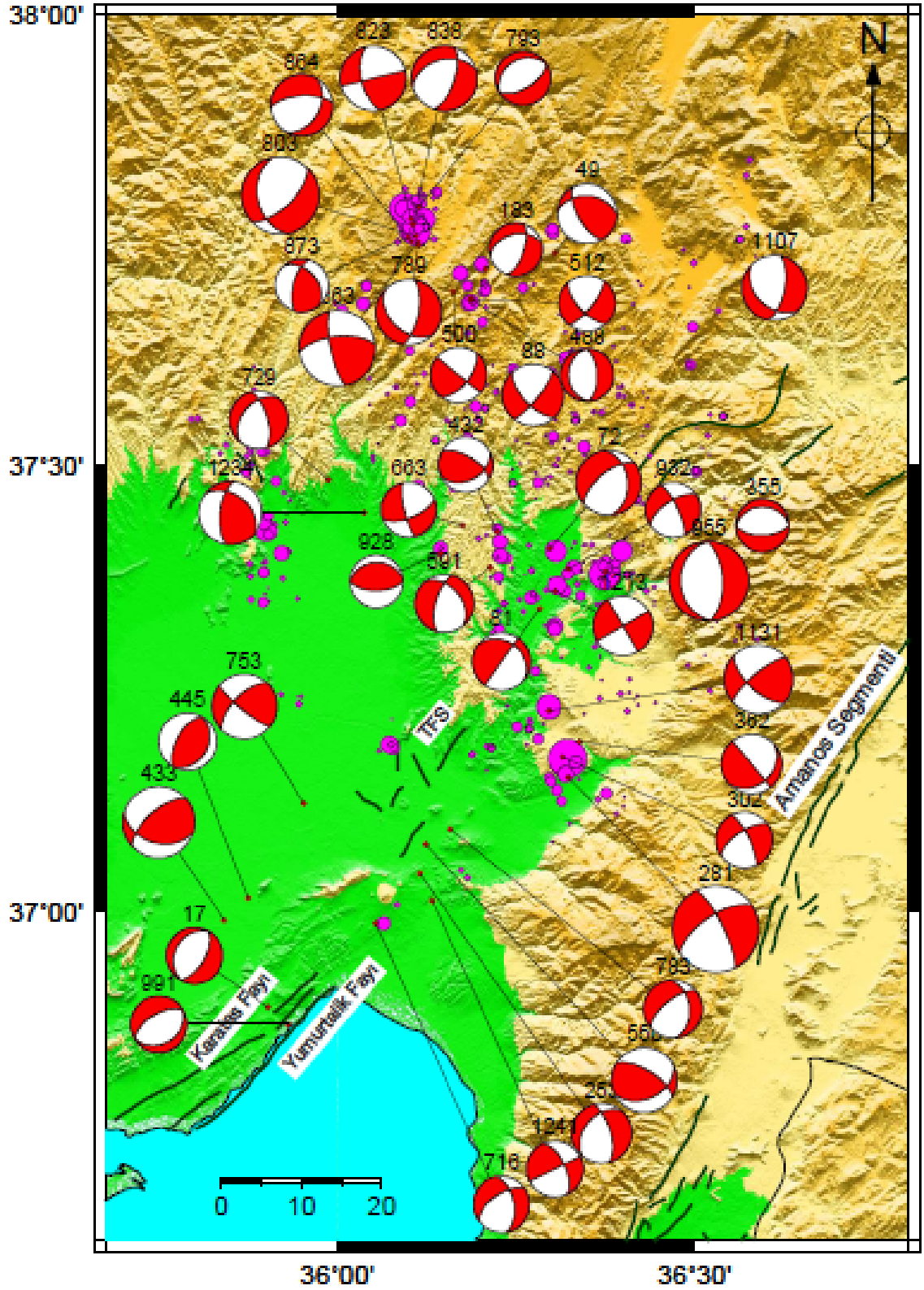
Bu kümelenmelerin dışında, C bölgesinde Toprakkale fay sistemine paralel doğrultu atımlı odak mekanizma ve yer yer doğrultu atım bileşeni olan eğim atımlı oblik mekanizma çözümleri elde edilmiştir (Şekil 5.16).

5.4 D Bölgesi

En büyük alana sahip olan D bölgesinde sismisite yoğunluğu fazla olmasına rağmen genellikle dağınık bir saçılım sergilemektedir. Depremlerin genel dağılımı, Sürge' de başlayıp, Gölbaşı, Pazarcık, Türkoğlu, Nurdağı, Deliosman boyunca devam edip Hatay-Samandağ civarında sonlanmaktadır. Bölgede sismik aktivitenin yoğunluk gösterdiği bölgeler ise Gölbaşı, Pazarcık, Türkoğlu, ve Sürge 'dür (Şekil 5.17).



Şekil 5.15 : C bölgesinde, relokasyon sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü deprem relokasyonları (a), ve derindeki yapıları ayrıntılı inceleyebilmek adına kümelenmelerin gözlemlendiği bölgeler için farklı azimutlarla alınan derinlik kesitleri (b,c,d,e).



Şekil 5.16 : C bölgesi odak mekanizma çözümleri.

Çardak fayı çalışma alanında en uzun fay olmakla birlikte doğu ve batı olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğu kısmı doğrusal bir yapıya sahip ve K75B doğrultusundadır (Şekil 2.2). Ayrıca aktif sol yanal bir faylanma göstermektedir. Bölgedeki diğer aktif

fay olduğu düşünölen Sörgö fayının ise yüzey kırığı olmamakla birlikte bölgede 1986 yılında gerçekleşen Ms 5.8 büyüklüğündeki depremi oluşturduğu düşünölmektedir (Duman,T., Emre,Ö., 2013).

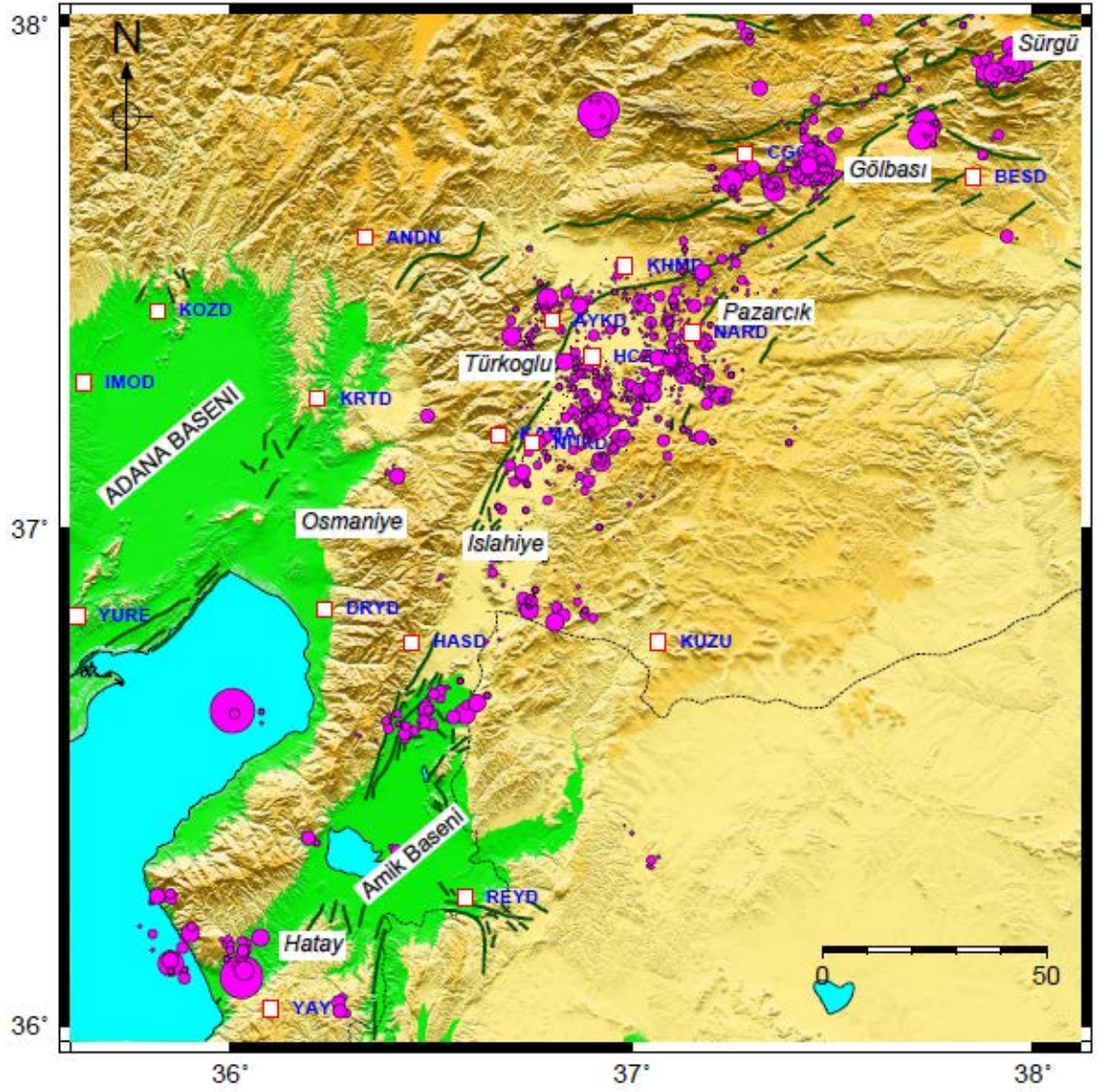
D bölgesi, ÖDFZ, Maraş Üçlü Eklemleri ve DAFZ' nin ana kolunu barındırmasından dolayı karmaşık yapılar göstermektedir (Şekil 2.1). D bölgesinde DAFZ 'nın ana kolunun segmentleri olan ve K-G doğrultu sırasıyla, Erkenek, Pazarcık, ve Amanos segmenti bulunmaktadır(Şekil 2.2).

Relokasyon işlemi uygulanmadan önce bölgedeki sismisite, KD-GB eğilimli geniş bir bant şeklinde gözlemlenirken relokasyon işlemi uygulandıktan sonra aynı yönelimde fakat daha dar bir bant üzerinde toplandıkları gözlemlendi (Şekil 5.18). Bu da relokasyon işlemi uygulandıktan sonra bölgedeki sismisitenin çözünürlüğünün göreceli olarak arttığını göstermektedir. Ayrıca relokasyon ve lokasyon sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, relokasyon verilerinde DAF'a paralel olan kolların seçilebilirliğinin arttığı gözlemlenmektedir (Şekil 5.18).

Relokasyon sonuçları, DAFZ'nun ana koluna paralel süreksiz olan fayların aktif olduğunu göstermektedir. Bu süreksiz fayların dört farklı yerde küçük kümeler oluşturmuştur (Şekil 5.18). Bu deprem kümelenmeleri kuzeydoğuda Sörgö ile başlayıp DAFZ'a paralel olacak şekilde Gölbaşı, Pazarcık, ve Türkoğlu ile sonlanmaktadır.

Relokasyon sonuçlarının ayrıntılı olarak incelenmesi ve derindeki yapıların gözlemlenebilmesi için, DAF'a paralel kümelenme gözlemlenen 4 ayrı kolda 10'ar derecelik azimutlarda derinlik kesitleri alınarak, bütün kesitler incelendi. Dört ayrı küme üzerinde oluşan aktivitelere dik olacak şekilde derinlik kesitlerinin azimutları belirlendi. Aktivitenin yoğunluk gösterdiği ve kümelenme oluşturduğu yerler olan Sörgö, Gölbaşı, Pazarcık ve Türkoğlu'nda sırasıyla 120° (AA'), 120° (BB'), 140° (CC'), ve 120° (DD') azimutlarıyla derinlik kesitleri alındı (Şekil 5.19a).

Amanos segmentine paralel olarak izlenen sismisitenin olduğu kısımlarda AA' ve BB' kesitleri alındı (Şekil 5.19b,c). Alınan AA' kesitinde, derine doğru bir çizgisellik gözlemlenmektedir. Kümelenmeye dik alınan bu kesitte, derine doğru dik bir açıda gözlemlenen çizgisellik, bölgenin doğrultu atımlı fayları barındırma ihtimalini göstermektedir (Şekil 5.19b). BB' kesitinde ise, 0-5km arasındaki bir derinlikte sismik aktivitenin kümelenmesi görölmektedir (Şekil 5.19c).

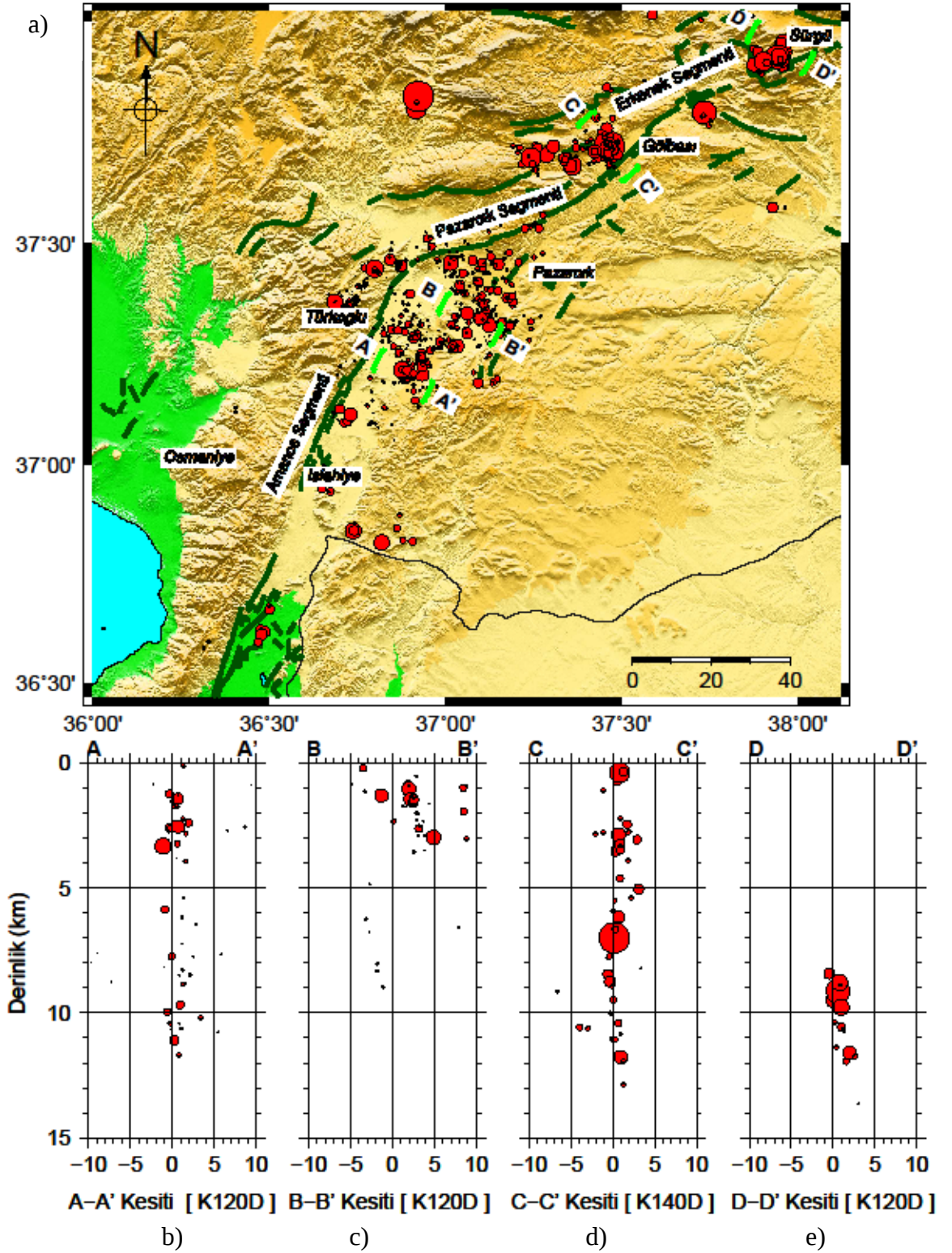


Şekil 5.17 : D bölgesinde deprem lokasyonları.

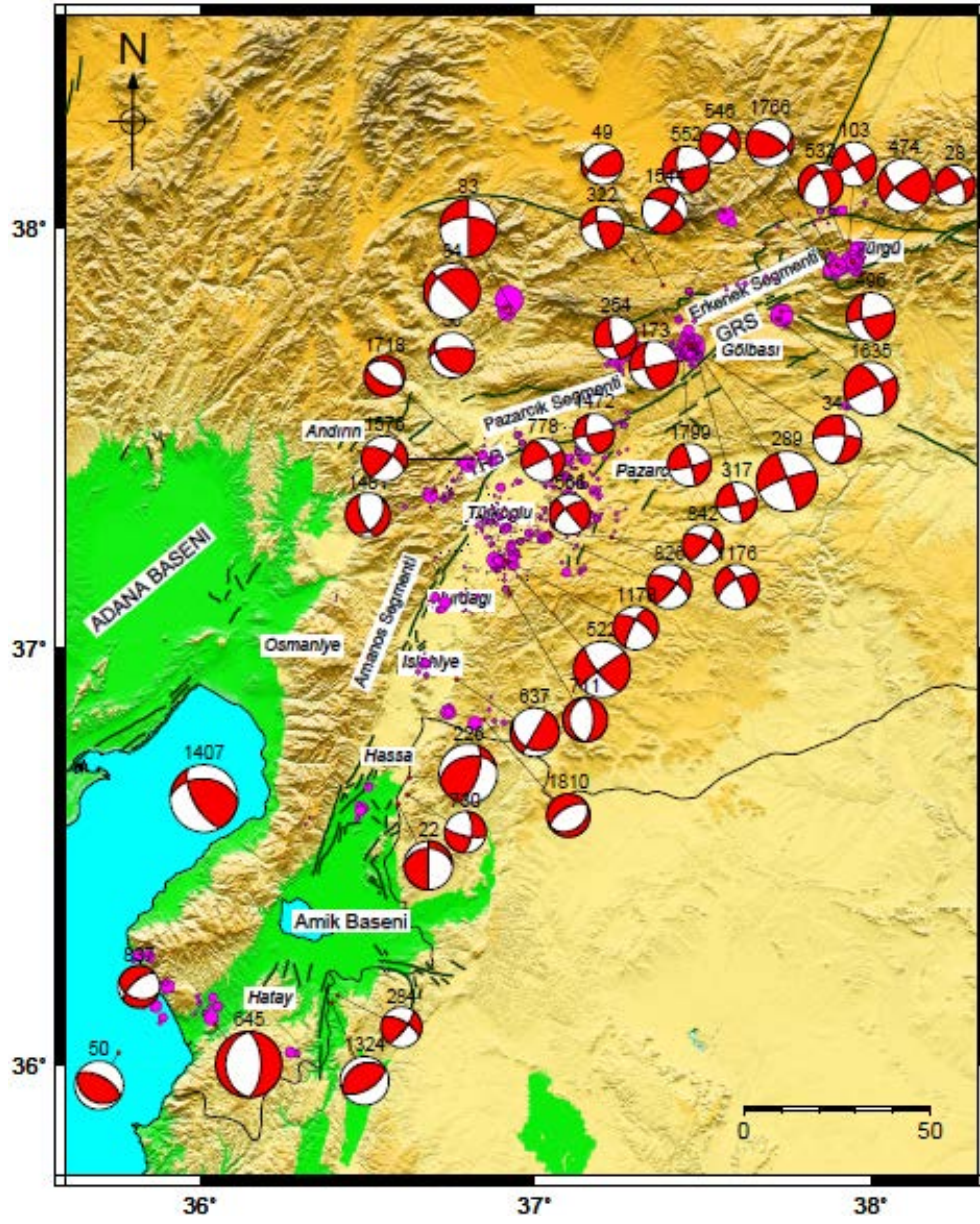
Gölbaşı'nda gözlemlenen kümelenme üzerinden alınan CC' derinlik kesitinde 90°'ye yakın bir çizgisellik gözlemlenmektedir (Şekil 5.19d). Bu bulgu, Gölbaşı bölgesinde 90° eğimli bir faylanmanın varlığını işaret etmektedir.

Sürğü bölgesinde alınan DD' kesiti incelendiğinde, aktivitenin derinde (8-12km) olduğu ortaya çıkmaktadır. Derinlik kesitinde net bir çizgisellik gözlenmemekle birlikte, depremler 8-12km arasında takip edilmektedir (Şekil 5.19e).

Odak mekanizması çözümleri incelendiğinde, bölgede yoğunlukla DAFZ ve kolları ile uyum gösteren doğrultu atımlı mekanizmalar bulunmaktadır (Şekil 5.20). Derinlik kesitleri ve odak mekanizma çözümleri birlikte değerlendirildiğinde kesitlerde gözlenen çizgisellikler ile derinlik kesitlerinin alındığı noktalarda gözlemlenen



Şekil 5.19 : D bölgesinde, relokasyon sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü deprem lokasyonları, ve derindeki yapıları ayrıntılı inceleyebilmek adına kümelenmelerin gözlemlendiği bölgeler için farklı azimutlarla alınan derinlik kesitleri.



Şekil 5.20 : D bölgesi odak mekanizma çözümleri.

6. SONUÇLAR

Doğu Akdeniz bölgesinde yer alan Kilikya bölgesi, içinde barındırdığı Bitlis Bindirme zonu, Ölü Deniz fay zonu, Kıbrıs yayı, Doğu Anadolu fayı ana segmenti ve kuzey kolları sebebiyle oldukça karmaşık bir tektonik yapı sergilemektedir.

Çalışmanın amacı, bölgede derinde/yüzeyde haritalanmış/haritalanmamış fayları belirlemek ve bölgenin tektoniği hakkında bilgi sahibi olabilmektir. Bu tez kapsamında İkili Farklar yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, relokasyon sonuçlarını ve bu sonuçlardan elde edilen derinlik kesitlerindeki çizgisellikleri kullanarak fayların doğrultularını ve eğimlerini başarılı bir şekilde tespit etmektedir.

Bu amaç doğrultusunda, çalışma alanı dört ayrı alt bölgeye ayrıldı (A, B, C ve D bölgeleri). Ayrılan bölgeler üzerinde deprem kümelenmelerinin olduğu kısımlarda alınan derinlik kesitlerinde, Kilikya bölgesinde biri yüzeyde biri derinde olmak üzere birbirlerinden bağımsız iki deprem kümesinin varlığı tespit edildi.

A bölgesinde, daha önce haritalanmamış bir normal faylanmanın varlığı tespit edilirken, B bölgesinde ise varolan ama yüzey kırığı bulunmayan Yakapınar fayının, derinlik kesitlerinde ve relokasyon haritalarında seçilebildiği görüldü. Adana baseninde bulunan B bölgesi ve A bölgesinin bir kısmında, derin odaklı depremlerin varlığı gözlemlendi.

C bölgesinde harita düzleminde net bir çizgisellik gözlenmez iken, alınan derinlik kesitlerinde belli azimutlarda depremlerin lokalize olduğu görülmektedir. Depremlerin belli bir derinlikte yığılması da derindeki aktif yapıların doğrultusu hakkında bilgi sağlamaktadır.

D bölgesinde incelenen relokasyon haritalarında ve bunlardan elde edilen derinlik kesitlerinde, DAFZ 'nın kendisinin ve kuzey kolunun takip edilebildiği gözlemlenmiştir. Odak mekanizma sonuçlarında desteklediği üzere, D bölgesi doğrultu atım özelliği taşıyan DAF ve onun kolları ile uyumlu özellikler göstermiştir.

İkili Farklar yöntemi, Kilikya bölgesi için başarılı sonuçlar üretmiştir. Bu bölgedeki aktif yapıların daha detaylı araştırılabilmesi için, bölgenin sismolojik açıdan uzun dönemli projelerle veya yoğun bir sismik ağla izlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdere, S.**, 1976. Remote sensing verilerinden yararlanarak hazırlanan Güney Anadolu bölgesinin tektonik haritası, *MTA Enst. Derg.*, **87**, 21-26.
- Aktar, M., Ergin, M., Özalaybey, S., Tapırdamaz, C.**, 2000. A lower-crustal event in the northeastern Mediterranean: The 1998 Adana Earthquake (M_w 6.2) and its aftershocks *Geophysical Research Letters*, 27(16) 2361-2364.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F.**, 1972. The East Anatolian fault system; thoughts on its development. *Bull. Min. Res. And Explor. Inst. Of Turkey (M.T.A.)*, **78**, 33-39.
- Barka, A. A., ve Kandisky-Cade, K.**, 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, **7(3)**, 66-684.
- Biju-Duval, B., Letouzey, J., ve Montadert, D.**, 1978. Structure and evolution of the Mediterranean basins, *Initial reports of the D.S.D.P.*, **42**, 951-084.
- Bulut, F., M. Bohnhoff, T. Eken, C. Janssen, T. Kılıç, ve G. Dresen** 2012. The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations, *J. Geophys. Res.*, 117, B07304, doi:10.1029/2011JB008966.
- Chorowics, J., Luxey, P., Lyberis, N., Carvalho, J., Parrot, J. F., Yürür, T., ve Gündoğdu, N.**, 1994. The Maraş triple junction (southern Turkey) based on digital elevation model and satellite imaginary interpretation, *Jour. Of Geoph. Res.*, **99**, B10, 20225-20242.
- Çemen, I., Perinçek, D.**, 1987. Extensional origin of the northern part of the Hatay-Karasu half graben, *Annu. Geol. Congr.*, Ankara.
- Dewey, J. F., Pitman, W.C., Ryan, W. B. F., ve Bonnin, J.**, 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine system, *G.S.A. Bull.*, **54**, 3137-3180.
- Dewey, J. F., Hemphson, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F. & Şengör, A. M. C.** 1986. Shortening of the continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia: a young collision zone. In: Coward, M. P. & Ries, A. C. *Collision Tectonics*. Geological Society London Special Publications, **19**, 3-36.
- Duman, T. Y., ve Emre, Ö.**, 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics, *Geological Society*, **372**, 495-529.
- Ergin, M.**, 1999. Present day seismicity and seismotectonic characteristics of the Cilician Region, Ph.D. Thesis, İstanbul Technical University, pp. 312.

- Gülen, L., Barka, A. A., ve Toksöz, M. N.,** 1987. Continental collision and related complex deformation; Maraş triple Junction and surrounding structures in SE Turkey. *Spec. Publ., Hacetepe Univ. Ankara*, 88-133.
- Harsch, W., Kupper, T., Rust, B., ve Sager, R.,** 1981. Seismotectonic consideration on the nature of the Turkish-African plate boundary. *Geol. Rundsch*, **70**, 368-384.
- Hempton, M. R.,** 1987. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea . *Tectonics*, **6(6)**, 687-705.
- Jackson J. A., ve McKenzie, D. P.,** 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **77**, 185-246.
- Karığ, D. E. ve Kozlu, H.,** 1990. Late Palaeogene-Neogene evolution of the triple junction region near Maraş, south-central Turkey, *J. Of the Geophysical Soc.*, **147**, 1023-1034.
- Kempler, D., ve Garfunkel, Z.,** 1994. Structures and kinematics in the northeastern Mediterranean: A study of an irregular plate boundary, *Tectonophysics*, **234**, 19-32.
- Lineart, B. R.,** 1994. Users manual for HYPOCENTER 3.2: A computer program for locating earthquakes locally, regionally and globally, *Hawaii Institute of Geophysics and Planetology*, 1-72.
- McKenzie, D.P.,** 1970. The plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, **226**, 239-241.
- McKenzie, D.P.,** 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, **30**, 109-185.
- McKenzie, D. P.** 1976. The East Anatolian Fault; a major structure in eastern Turkey. *Eart and Planetary Science Letters*, **29**, 189-193.
- Müehlberger, W.R.,** 1981. The splintering of the Dead Sea Fault Zone in Turkey, *Yerbilimleri*, **8**, 123-130.
- Özer, B., Duval, B., Courier, P., ve Letouzey, P.,** 1974. Antalya-Mut ve Adana Neojen havzasının jeolojisi, *Türkiye 2. Petrol Kongresi Tebliğleri*, Ankara., 57-84.
- Özer, B., ve Çuhadar, Ö.,** 1986. Adana baseni değerlendirmesi, *TPAO Rapor No:2207*, Ankara.
- Paige, C.C. ve M.A. Saunders** 1982. LSQR: Sparse linear equations and least squares problems, *ACM Transactions on Mathematical Software* **8/2**, 195-209.
- Perçinek, D., Günay, Y., ve Kozlu, H.,** 1987. New observation on strike-slip faults in east and southeast Anatolia, *7th Biannu. Pet. Cong. Turk. Assoc. Pet. Geol. Proc.*, Ankara, pp.89-103.
- Rotstein, Y.,** 1984. Counterclockwise rotation of the Anatolian block. **108**, 71-91.
- Savostin, L. A., Sibuet, J. C., Zonesshain, L. P., Le Pichon, X. & Roulet, M. J.,** 1986. Kinematic evolution of the Tethys belt from the Atlantic Ocean to the Pamirs since the Triassic. *Tectonophysics*, **123**, 1-35.

- Smith, A. G., 1971.** Alpine deformation and oceanic areas of the Tethys, mediterranean and Atlantic, *G.S.A.Bull.*, **82**, 2039-2070.
- Stein, S. ve Wysession, M., 2003.** *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure*. Oxford: Blackwell.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y., 1987.** An example of a triple junction of faults in Turkey: the Karlıova area. 11. *Annual Geological Congrees*. Ankara.
- Şengör, A. M. C., ve Yılmaz, Y., 1981.** Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, **75**, 181-241.
- Şengör, A. M. C. 1979.** The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society, London*, **136**, 269-282.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., ve Şaroğlu, F., 1985.** Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in strike-slip faulting and basin formation. *Society of Econ. Paleont. Min. Sec. Pub.* **37**.
- Tan, O., Pabuçcu Z., Tapırdamaz M. C., İnan S., Ergintav S., Eyidoğan H., Aksoy E., and Kuluöztürk F., (2011).** Aftershock study and seismotectonic implications of the 8 March 2010 Kovancılar (Elazığ, Turkey) earthquake (MW = 6.1), *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L11304, doi:10.1029/2011GL047702.
- Walsh, D., Arnold, R. ve Townend, J., 2008.** A Bayesian approach to determining and parameterising earthquake focal mechanisms. *Geophysical Journal International*, **176**(1): 235-255.
- Wauldhauser, F., ve Ellsworth, W. L., 2000.** A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **90**, 1353-1368 .
- Wauldhauser, F., ve Schaff, D. P., 2008.** Large-scale relocation of two decades of Northern California seismicity using cross-correlation and double-difference methods, *Journal of Geophysical Research*, **113**, B08311, doi:10.1029/2007JB005479.

EKLER

EK A: Odak mekanizma çözümleri

EK A

Çizelge A.1 : A bölgesi odak mekanizası çözümleri. **ID:** deprem numarası, **Z:** depremin derinliği, **ϕ :** fay düzleminin doğrultusu, **δ :** fay düzleminin eğimi, **λ :** kayma açısı, **Nist:** lokasyon çözümünde kullanılan istasyon sayısı, **Npol:** odak mekanizma çözümünde kullanılan polarite sayısı.

ID	Tarih	Saat	Boylam (D°)	Enlem (K°)	Z (km)	ϕ (°)	δ (°)	λ (°)	M_L	Nist	Npol
44	25/09/07	20:06:36	35.444	37.487	9.1	196	64	-55	3.5	22	13
102	25/11/07	12:33:23	35.584	37.531	8.2	1	41	-41	3.4	19	14
124	23/12/07	23:55:07	35.688	37.558	0	30	90	0	4.2	20	18
130	24/12/07	11:14:17	35.716	37.530	10	39	76	-26	3.7	19	15
135	28/12/07	13:44:26	35.523	37.527	11.8	180	30	-90	3.4	13	11
180	27/03/08	02:09:25	35.713	37.535	11.2	230	76	27	3.5	20	12
206	01/06/08	08:49:41	35.581	37.171	27.1	271	76	-26	3.2	24	16
226	09/07/08	09:52:48	35.711	37.572	7.7	11	64	-56	3.1	21	10
254	25/08/08	15:30:02	35.916	37.447	23.6	231	60	0	3.2	17	14
255	25/08/08	15:51:26	35.914	37.420	20.1	64	41	41	3.7	22	21
256	25/08/08	16:39:29	35.902	37.449	24	72	64	16	3	17	13
299	21/10/08	09:08:31	35.700	37.504	11	1	41	-41	3.8	23	20
354	21/11/08	19:49:45	35.717	37.510	11.2	180	30	-90	3.4	19	13
524	18/03/09	10:47:36	35.688	37.508	8.6	11	64	-56	3.1	16	9
527	22/03/09	19:23:33	35.709	37.587	10	230	76	27	3.5	9	14
532	23/03/09	01:58:48	35.699	37.531	11.6	245	90	60	3.1	11	12

533	23/03/09	04:23:26	35.696	37.544	8.7	357	60	-90	3.7	14	15
584	04/05/09	10:03:53	35.975	37.233	3.1	344	64	56	3	17	15
588	11/05/09	22:00:52	35.696	37.547	11.3	11	64	-56	3.2	17	16
597	20/05/09	15:41:27	35.681	37.56	13.2	180	30	-90	3.1	16	14
601	26/05/09	02:12:16	35.710	37.541	12.4	39	75	-26	3.1	19	14
607	01/06/09	13:50:12	35.917	37.406	3.3	257	90	30	3.1	20	15
638	24/07/09	05:48:19	35.695	37.524	12.1	245	90	60	4.7	29	30
688	03/08/09	23:50:11	35.688	37.535	14.6	11	64	-56	3.4	23	21
710	23/08/09	14:36:32	35.713	37.543	11.1	46	64	-56	3.3	15	15
714	25/08/09	07:35:41	35.702	37.542	10.2	11	64	-56	3.2	17	16
856	17/12/09	04:39:55	35.712	37.517	12.7	180	30	-90	3.3	17	11
858	17/12/09	04:56:14	35.708	37.524	13.6	180	30	-90	3.4	18	12
865	22/12/09	15:16:29	35.617	37.572	13.7	264	64	56	3.5	17	13
903	24/01/10	19:59:53	35.616	37.594	11.7	264	62	56	4.1	10	9
930	18/03/10	07:44:04	35.621	37.610	4.1	64	41	41	3.2	16	15
931	18/03/10	07:45:42	35.612	37.584	12.1	245	90	60	3.6	18	18
947	30/04/10	01:39:29	35.709	37.540	10.5	11	64	-56	3	18	17
960	07/06/10	09:42:34	35.399	37.339	0	39	75	-26	3.4	16	13
966	05/07/10	22:05:17	35.579	37.534	12.2	230	75	26	4	21	24
984	07/07/10	08:44:04	35.562	37.533	14.1	230	75	26	3.8	21	23

1014	05/08/10	05:31:14	35.628	37.608	10.1	245	90	60	4.1	17	19
1017	08/08/10	21:34:50	35.604	37.605	11.5	245	90	60	3.2	17	15
1020	15/08/10	05:51:24	35.870	37.490	13.3	326	41	-41	3.1	18	13
1049	03/10/10	17:25:52	35.902	37.722	6.9	89	64	56	3	15	15
1063	21/10/10	13:53:55	35.719	37.534	9.6	225	30	0	2.8	11	12
1074	22/11/10	04:51:41	35.415	37.712	8.4	239	30	-90	3.8	22	22
1076	25/11/10	00:08:48	35.701	37.558	10.6	210	90	60	3.2	16	14
1116	22/04/11	13:12:58	35.685	37.551	11.1	209	30	-90	3.3	17	12
1117	23/04/11	05:31:25	35.568	37.517	10.6	245	90	60	3.1	13	14
1123	24/04/11	11:32:00	35.590	37.509	12.2	245	90	60	3.4	17	13
1144	02/06/11	23:12:52	35.594	37.611	10.4	245	90	60	3.6	13	12
1147	29/06/11	19:48:06	35.865	37.390	14.9	295	52	65	4.7	24	23

Çizelge A.2 : B bölgesi odak mekanizma çözümleri. Sembol açıklamaları için Çizelge A.1'e bakınız.

ID	Tarih	Saat	Boylam (D°)	Enlem (K°)	Z (km)	ϕ (°)	δ (°)	λ (°)	M_L	Nist	Npol
3	06/05/07	22:56:26	35.530	36.984	29.7	211	41	-41	3.8	19	24
20	30/01/08	10:32:01	35.617	37.036	26.6	64	90	30	2.9	10	14
24	27/02/08	23:45:58	35.598	37.129	22.4	159	64	56	3.1	9	15
40	25/08/08	13:26:02	35.625	37.030	24.1	239	41	41	3.2	15	16
90	22/06/10	13:24:05	35.490	36.932	27.6	60	90	0	3.5	12	12
107	26/05/11	15:01:48	35.422	36.888	30.4	197	64	-16	3.3	9	13

Çizelge A.3 : C bölgesi odak mekanizma çözümleri. Sembol açıklamaları için Çizelge A.1'e bakınız.

ID	Tarih	Saat	Boylam (D°)	Enlem (K°)	Z(km)	ϕ (°)	δ (°)	λ (°)	M_L	Nist	Npol
17	08/05/07	19:56:37	35.903	36.892	20.3	210	30	-90	3.2	17	14
49	31/08/07	15:29:54	36.304	37.736	5.8	274	41	41	3.4	17	15
52	14/09/07	01:29:09	36.234	37.146	9	180	0	-179	3.4	13	13
72	29/10/07	11:58:05	36.297	37.406	14.4	231	64	-56	3.7	22	15
81	05/12/07	18:36:51	36.283	37.339	4.4	35	90	60	3.3	16	16
88	12/01/08	11:33:40	36.274	37.578	7.4	39	75	-27	3.5	25	23
183	08/09/08	22:22:14	36.208	37.719	1.1	256	41	-41	3	22	23
253	03/12/08	06:18:40	36.116	37.042	5	221	41	-41	3.4	27	19
281	17/01/09	07:45:26	36.324	37.150	9.3	236	64	-16	4.9	47	28
302	26/01/09	21:52:53	36.316	37.173	3.9	236	64	-16	3.2	26	19
355	28/03/09	18:10:07	36.595	37.432	9.7	269	30	-90	3	10	10
362	14/04/09	09:14:06	36.339	37.19	5.9	50	30	0	3.4	15	19
432	04/06/09	09:59:59	36.224	37.426	5.5	64	41	41	3.1	18	17
433	04/06/09	13:02:14	35.842	36.99	18.3	229	64	56	4.1	23	26
445	11/06/09	00:36:17	35.875	37.015	11.2	30	30	90	3.3	19	15
488	21/07/09	02:44:14	36.186	37.685	10	358	60	-90	3	20	18
500	11/08/09	22:11:59	36.163	37.693	0.1	38	60	0	3.2	24	18
512	26/08/09	22:56:33	36.187	37.684	2.4	39	76	-27	3.2	19	19

550	13/10/09	04:22:57	36.124	37.075	6.5	64	41	41	3.7	28	24
591	08/11/09	19:28:04	36.214	37.386	9.1	196	64	-56	3.3	22	17
663	21/01/10	04:09:20	36.176	37.432	14.9	69	64	-16	3.1	17	19
716	24/03/10	03:34:48	36.054	36.986	20.6	235	61	-42	3.2	16	21
729	05/04/10	13:55:36	35.987	37.483	14.3	221	41	-41	3.3	16	19
753	30/04/10	09:35:01	35.953	37.121	11.9	224	62	11	3.7	13	16
783	31/05/10	11:53:52	36.158	37.092	4	231	64	-56	3.3	13	18
789	07/06/10	21:59:53	36.113	37.744	0.1	11	64	-56	3.7	24	23
793	07/06/10	22:09:52	36.114	37.787	2.8	239	30	-90	3.1	19	14
803	08/06/10	04:26:15	36.11	37.755	1	46	64	-56	4.4	28	28
823	08/06/10	07:43:41	36.103	37.774	4.2	257	90	30	3.7	21	23
838	08/06/10	14:38:38	36.106	37.768	0	256	41	-41	3.7	20	21
863	12/06/10	20:58:57	36.113	37.748	0.1	265	64	16	4.3	29	31
864	12/06/10	21:05:39	36.104	37.749	4	266	64	-56	3.5	24	24
873	15/06/10	21:39:05	36.099	37.754	1.1	319	41	41	3	16	16
928	10/10/10	20:57:59	36.143	37.401	1.1	89	60	90	3	18	16
932	14/10/10	05:45:08	36.324	37.384	0.5	236	64	-16	3.1	20	18
955	16/11/10	10:50:32	36.376	37.381	4.6	358	60	-90	4.5	39	31
991	22/11/10	06:07:28	35.931	36.873	0.6	239	60	-90	3.2	18	18
1107	06/02/11	12:30:28	36.612	37.697	4.1	11	64	-56	3.7	23	23

1131	22/03/11	00:44:15	36.296	37.225	1	230	76	27	3.9	26	24
1213	07/09/11	16:02:48	36.305	37.359	1.2	60	90	0	3.4	17	17
1234	06/10/11	04:27:21	36.037	37.446	14.6	309	41	41	3.6	15	22
1241	24/10/11	06:53:09	36.133	37.012	4	64	90	30	3.2	13	14

,

Çizelge A.4 : D bölgesi odak mekanizma çözümleri. Sembol açıklamaları için Çizelge A.1'e bakınız.

ID	Tarih	Saat	Boylam (D°)	Enlem (K°)	Z (km)	ϕ (°)	δ (°)	λ (°)	M_L	Nist	Npol
22	05/05/07	22:08:06	36.590	36.627	4.8	0	90	60	3.6	24	17
28	19/05/07	23:49:15	37.979	37.893	0	64	90	30	3	17	13
49	13/06/07	09:41:11	37.382	37.865	4	229	64	56	3.1	12	13
50	13/06/07	21:54:37	35.759	36.028	8.7	118	30	90	3.6	12	15
56	11/07/07	10:02:43	36.928	37.798	2.2	264	64	56	3.4	20	18
83	15/09/07	05:26:51	36.929	37.813	0	270	60	0	4.3	26	30
84	15/09/07	23:28:48	36.910	37.811	0.1	225	30	0	4.2	31	36
103	10/10/07	19:12:36	37.936	37.967	5.2	60	90	0	3.3	18	17
173	22/01/08	06:26:57	37.354	37.675	3	257	90	30	3.6	24	20
226	03/05/08	03:20:53	36.624	36.691	10	19	64	56	4.4	16	15
254	20/06/08	06:10:42	37.285	37.710	3.9	69	64	-16	3.2	17	13
284	06/08/08	21:06:36	36.410	36.167	27.4	38	76	27	3	13	10
289	20/08/08	11:01:39	37.464	37.728	4.8	250	81	-3	4.5	33	29
317	05/09/08	17:30:36	37.475	37.719	2.4	75	82	6	3	26	18
322	07/09/08	19:19:12	37.293	37.922	1.9	265	64	16	3.2	26	22
347	08/10/08	03:07:06	37.463	37.719	0.4	271	76	-27	3.6	31	24

474	12/01/09	23:40:32	37.946	37.917	2.2	230	76	27	4	22	30
496	30/01/09	09:00:38	37.734	37.803	5	257	90	30	3.6	23	18
522	26/02/09	08:53:42	36.918	37.206	0.9	232	86	15	4.2	31	31
532	03/03/09	16:15:55	37.944	37.922	9.3	228	48	-31	3.3	11	11
546	09/03/09	16:02:07	37.876	37.911	5.8	38	76	27	3	14	17
552	11/03/09	15:32:26	37.564	38.037	1.4	257	90	30	3.5	17	24
566	23/03/09	23:20:55	37.104	37.322	0.9	231	60	0	3	14	13
637	11/06/09	01:00:02	36.764	36.926	7.6	210	90	60	3.6	35	29
645	17/06/09	04:29:14	36.046	36.096	18.5	180	30	-90	4.9	39	44
711	26/08/09	15:55:54	36.927	37.133	3.7	180	30	-90	3.3	19	20
730	10/09/09	00:57:52	36.618	36.650	0	5	64	-16	3.1	17	14
778	12/10/09	12:24:24	37.024	37.451	4.8	64	90	30	3.2	23	18
826	31/10/09	10:18:06	37.049	37.271	4.1	38	76	27	3.3	22	20
837	31/10/09	20:52:55	35.819	36.188	9.6	106	41	-41	3.1	16	11
842	01/11/09	00:53:42	37.042	37.279	5.7	38	76	27	3	20	15
1176	12/04/10	23:01:58	37.228	37.268	3.9	236	64	-16	3.3	23	17
1178	15/04/10	08:35:15	36.915	37.213	4	207	76	-27	3.3	16	15
1324	17/08/10	08:31:44	36.393	36.149	14.8	59	60	90	3.6	11	13

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Kübra HOCAOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 01.01.1990

E-Posta: kubrahocaoglu@gmail.com

Adres: Gayrettepe / Beşiktaş

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Programı