

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2000 SULTANDAĞ (MW≈6.0) VE 2002 ÇAY-EBER (MW≈6.4)
DEPREMLERİ (BATI TÜRKİYE) TELESİSMİK
KAYNAK TERS ÇÖZÜMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayan AĞAKİŞİZE

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2025

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2000 SULTANDAĞ (MW≈6.0) VE 2002 ÇAY-EBER (MW≈6.4)
DEPREMLERİ (BATI TÜRKİYE) TELESİSMİK
KAYNAK TERS ÇÖZÜMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayan AĞAKİŞİZE

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Şefik RAMAZANOĞLU

OCAK 2025

Ayan AĞAKİŞİZADE tarafından hazırlanan “2000 Sultandağ ($M_w \approx 6.0$) ve 2002 Çay-Eber ($M_w \approx 6.4$) Depremleri (Batı Türkiye) Telesismik Kaynak Ters Çözümleri” adlı tez çalışması 18.11.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “2000 SULTANDAĞ (MW≈6.0) VE 2002 ÇAY-EBER (MW≈6.4) DEPREMLERİ (BATI TÜRKİYE) TELESİSMİK KAYNAK TERS ÇÖZÜMLERİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(18/11/2024)

Ayan AĞAKİŞİZE



TEŞEKKÜR

Üniversite hayatım boyunca eğitime ve tez çalışmama, bilgisi ve tecrübesiyle çok önemli katkılarda bulunan başta Dr. Şefik RAMAZANOĞLU'na, sonrasında çalışmamın çeşitli aşamalarında yardımcı olan Prof. Dr. Murat UTKUCU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hem eğitimim hem de tez çalışmam sürecinde benden desteğini egirgemeyen eşime ve aileme, tez çalışmamda yardımcı olan arkadaşım Yüksek Makine Mühendisi İbrahim DEMİRAG'A en içten teşekkürlerimi sunarım.



Ayan AĞAKİŞİZE



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2. Türkiye’de Tektonik Ortama ve Deprem Tarihine Genel Bakış	4
1.3. Türkiye’nin Sismotektoniği.....	5
1.3.1. Batı Türkiye’nin sismotektoniği	5
1.3.1.1. Batı Türkiye'deki sismik aktivitenin arkasındaki temel faktörler	6
1.3.1.2. Batı Türkiye'deki başlıca fay sistemleri	7
1.3.1.3. Batı Türkiye'deki önemli depremler	7
1.3.1.4. Batı Türkiye'de sismik tehlike ve risk.....	8
1.4. Çalışmada İncelenen Depremler	9
1.4.1. 15 Aralık 2000 Sultandağ depremi	9
1.4.2. 3 Şubat 2002 Çay-Eber depremi	9
2. YÖNTEM.....	13
3. BULGULAR.....	19
3.1. Çalışmada Kullanılan Veri ve Veriye Uygulanan İşlemler.....	19
3.2. Telesismik Ters Çözüm Uygulamaları.....	19
3.2.1. 15 Aralık 2000 Sultandağ depremi nokta kaynak ters çözümü	20
3.2.2. 03 Şubat 2002 Çay- Eber depremi nokta kaynak ters çözümü	22
3.3. Tartışmalar	25
4. SONUÇLAR	29
KAYNAKLAR.....	31
ÖZGEÇMİŞ.....	33



KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
GCMT	: Küresel Ağırlık Merkezi Moment Tensörü (Global Centroid Moment Tensor)
GD	: Güneydoğu
IRIS DMC	: Sismoloji Veri Yönetim Merkezine Ait Araştırma Kuruluşları Incorporated Research Institutions for Seismology Data Management Center
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğu
M.Ö.	: Milattan Önce
RN	: Referans Noktası
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması (United States Geological Survey)



SİMGELER

M_w	: Moment büyüklüğü
τ	: Zaman evrimi
σ	: Kronecker delta fonksiyonu
ρ	: Yoğunluk [kg/m^3]
Δ	: Residüel hata
ψ_m	: Kuramsal ve gözlemsel sismogramlar arasındaki korelasyon
λ	: Lagrangian çarpımı
V_p	: P dalga hızı [km/sn]
V_s	: S dalga hızı [km/sn]
P	: Kaynağın lokasyonu
D	: Determinant
G	: Genelleştirilmiş ters çözüm
R	: Model ayrımlılık matrisi
N_b	: Kullanılan moment tensör sayısı
N_s	: İstasyon sayısı
M	: Sismik moment tensör [dyne.cm]
x	: Kuzey yönü
y	: Doğu yönü
z	: Derinlik [km]
a_n	: Object fonksiyonu
t	: Zaman [sn]
w	: Yapay dalga şekli (Green's fonksiyonu)



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. 2000 Sultandağ Depremi odak ve kaynak parametreleri.	9
Tablo 1.2. 2002 Çay-Eber Depremi odak ve kaynak parametreleri.	10
Tablo 3.1. Ters çözümde kullanılan kabuksal hız yapısı (Thurber (1983)'den uyarlanmıştır). S dalga hızları $V_p/V_s = 1.73$ ilişkisinden yararlanılarak belirlenmiştir.	19
Tablo 3.2. Çalışmada 15 Aralık 2000 Sultandağ ve 03 Şubat 2002 Çay-Eber depremleri nokta kaynak ters çözümlerinden elde edilen kaynak parametreleri.	23



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 1.1.** Anadolu ve Arap levhası haritası üzerinde işaretli Akşehir gölü lokasyonu. 6
- Şekil 1.2.** Şekil 1.1. 'de belirtilen bölgenin detaylı lokasyon haritası. 11
- Şekil 3.1.** 15 Aralık 2000 Sultandağ depreminin nokta kaynak ters çözümünde kullanılan nokta kaynak grid düzlemi modeli. Referans noktası (RN) olarak seçilen nokta-kaynak kare içine alınmıştır. PS-1 ile etiketlenen kırmızı daire, ters çözüm sonucunda belirlenen nokta kaynak konumunu göstermektedir. 20
- Şekil 3.2.** 15 Aralık 2000 Sultandağ depremi nokta-kaynak ters çözümü sonucunda elde edilen kaynak zaman fonksiyonu, varyans değeri ve kaynak mekanizması. Elde edilen çözüme karşılık gelen yapay sismogramlarla (alttaki dalgalar) ile gözlenmiş sismogramların (üstteki dalgalar) karşılaştırılması da gösterilmiştir. İstasyon isimleri ve sismogramların genlik oranları her bir sismogram çiftinin solunda verilmiştir. 21
- Şekil 3.3.** 03 Şubat 2002 Çay-Eber depreminin nokta kaynak ters çözümünde kullanılan nokta kaynak grid düzlemi modeli. Referans noktası (RN) olarak seçilen nokta-kaynak kare içine alınmıştır. PS-1 ve PS-2 ile etiketlenen kırmızı daireler, ters çözüm sonucunda belirlenen nokta kaynakların konumlarını göstermektedir. 22
- Şekil 3.4.** 3 Şubat 2002 Çay-Eber depremi nokta-kaynak ters çözümü sonucunda elde edilen kaynak zaman fonksiyonu, varyans değeri ve kaynak mekanizmaları. Elde edilen çözüme karşılık gelen yapay sismogramlarla (alttaki dalgalar) ile gözlenmiş sismogramların (üstteki dalgalar) karşılaştırılması da gösterilmiştir. İstasyon isimleri ve sismogramların genlik oranları her bir sismogram çiftinin solunda verilmiştir. 24
- Şekil 3.5.** 15 Aralık 2000 Sultandağ ve 03 Şubat 2002 Çay-Eber depremleri için yapılan telesismik ters çözümlerden elde edilen nokta kaynakların konumları. Beyaz yıldız ve kare 2000 Sultandağ depreminin ve kırmızı yıldız ve kareler 2002 Çay-Eber depreminin sırasıyla episantlarını ve kaynak noktalarını göstermektedir. 25
- Şekil 3.6.** Sultandağ ve Çay ilçeleri arasında Sultandağ Fayı'nın jeoloji haritası. 26
- Şekil 3.7.** Sultandağ ve Çay ilçeleri arasında Sultandağ Fayı'nın jeoloji haritasından alınan jeolojik kesit (Koçyiğit ve Özacar, (2003)'den alınmıştır. 27



2000 SULTANDAĞ ($M_w \approx 6.0$) VE 2002 ÇAY-EBER ($M_w \approx 6.4$) DEPREMLERİ (BATI TÜRKİYE) TELESİSMİK KAYNAK TERS ÇÖZÜMLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, 15 Aralık 2000 Sultandağ ve 3 Şubat 2002 Çay-Eber depremlerinin nokta-kaynak ters çözümleri, telesismik mesafelerde kaydedilen geniş bant P dalga şekilleri kullanılarak incelenmiştir. Nokta-kaynak ters çözümü için Kikuchi ve Kanamori (1982, 1991) tarafından geliştirilen yöntem uygulanmıştır. Özet olarak şu şekildedir:

2000 Sultandağ Depremi: Bu deprem, tek bir nokta-kaynak modeli ile başarıyla açıklanmıştır. Deprem odağının 6 km güneydoğusunda ve 9 km derinlikte bulunan bu nokta kaynağın ana kırılmasının yaklaşık 10 saniye sürdüğü ve 1.11×10^{25} dyne.cm sismik momente sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu değer, depremin büyüklüğünü yaklaşık $M_w = 6.0$ olarak göstermektedir. Nokta kaynağın doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 294° , 38° ve -82° olarak hesaplanmıştır.

2002 Çay-Eber Depremi: İlk olarak tek nokta-kaynak modeli kullanılarak analiz edilen bu deprem, daha sonra iki nokta-kaynak modeliyle daha iyi açıklanabilmiştir. İlk nokta-kaynak, deprem odağının 24 km kuzeybatısında ve 4 km derinlikte bulunmuş, ana kırılması yaklaşık 15 saniye sürmüştür ve sismik momenti 2.93×10^{25} dyne.cm olarak hesaplanmıştır. Bu, depremin büyüklüğünü yaklaşık $M_w = 6.3$ olarak önermektedir. Bu nokta-kaynak için doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 282° , 54° ve -70° 'dir. İkinci nokta-kaynak ise, odağın 8 km kuzeybatısında ve 16 km derinlikte yer almış, ana kırılma yaklaşık 8 saniye sürmüş ve sismik momenti 0.52×10^{25} dyne.cm olarak belirlenmiştir. Bu kaynağın doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 261° , 57° ve 50° olarak hesaplanmıştır. İki nokta-kaynağın birleşimi doğrultu, eğim ve kayma açılarını 282° , 53° ve -60° olarak göstermektedir.

Depremlerin Fay Karakteristikleri: 2000 Sultandağ depremi için yapılan çözüm, Sultandağ Fayı'nın kuzeydoğuya eğimli olduğunu ve depremin, Akşehir Gölü'ne doğru ilerleyen normal faylanma özellikli bir kırılmayı temsil ettiğini ortaya koymaktadır. 2002 Çay-Eber depreminde ise, büyük nokta-kaynak Çay ilçesinin batısında, Sultandağ Fayı'nın doğu-batı doğrultusunda gerçekleşen bir kırılmaya işaret ederken, küçük nokta-kaynak Sultandağ ve Çay ilçeleri arasındaki bölgede daha küçük ölçekli bir kırılmayı göstermektedir.

Bu ikinci depremdeki küçük nokta kaynağın ters faylanma karakteri, daha önce yapılan bir çalışmada haritalanmış ve Çay ile Sultandağ ilçeleri arasında eski çökelleri kesen ters faylarla örtüşmüştür. Bu durum, ters çözümle belirlenen ters faylanma karakterinin arazi gözlemleriyle tutarlılık gösterdiğini desteklemektedir.



TELESEISMIC SOURCE INVERSIONS OF THE 2000 SULTANDAĞ ($M_w \approx 6.0$) AND 2002 ÇAY-EBER ($M_w \approx 6.4$) EARTHQUAKES (WESTERN TÜRKİYE)

SUMMARY

Teleseismic source inversion methods have been employed as a crucial tool for investigating the rupture processes of the 2000 Sultandağ and 2002 Çay-Eber earthquakes. This study focuses on teleseismic data-based source inversion analyses to understand the seismic structure of Western Turkey and to resolve tectonic movements in the region. Teleseismic source inversion is a widely used method for understanding the mechanisms of large earthquakes worldwide, providing effective results in determining the characteristics of earthquake sources. In this context, the study highlights the significance of teleseismic analyses by conducting an extensive literature review of seismic activity in Western Turkey and previous studies in the area. The developed method was applied for the point-source inversion. A summary of the findings is as follows:

2000 Sultandağ Earthquake: The 2000 Sultandağ earthquake was successfully modeled using a single point-source model, which provided a clear explanation of the rupture process. The point source, representing the location of the earthquake's initial rupture, was determined to be situated 6 km southeast of the earthquake's hypocenter at a depth of 9 km. The main rupture event, which is characterized as the primary phase of fault movement, lasted approximately 10 seconds. The corresponding seismic moment, a key parameter that quantifies the energy released by the earthquake, was calculated as 1.11×10^{25} dyne.cm. This value of seismic moment is indicative of a moderate-to-large magnitude earthquake, with an estimated magnitude of approximately $M_w = 6.0$. Additionally, the geometrical characteristics of the faulting, including the strike, dip, and rake angles, were derived as 294° , 38° , and -82° , respectively. These angles describe the orientation and direction of the fault rupture, with the strike angle indicating the horizontal orientation of the fault, the dip angle representing the angle at which the fault plane dips into the Earth, and the rake angle specifying the direction of slip along the fault. The calculated values suggest a normal faulting mechanism, typical for the region's tectonic setting.

2002 Çay-Eber Earthquake: The 2002 Çay-Eber earthquake was initially analyzed using a single point-source model. However, this approach was later found to be insufficient to fully capture the complexity of the rupture process, and a two-point-source model provided a more accurate representation of the event. The first point source was located 24 km northwest of the earthquake's hypocenter, at a depth of 4 km. The main rupture associated with this point source lasted approximately 15 seconds, with a corresponding seismic moment of 2.93×10^{25} dyne.cm. This value suggests a magnitude of $M_w \approx 6.3$, which is slightly larger than the 2000 Sultandağ earthquake. The strike, dip, and rake angles for this primary point source were calculated as 282° , 54° , and -70° , respectively. These values indicate a fault orientation that is different from that of the Sultandağ earthquake, with a steeper dip and a different direction of slip along the fault.

The second point source, which contributed to the overall rupture process, was located 8 km northwest of the hypocenter and at a deeper depth of 16 km. This secondary rupture lasted approximately 8 seconds and had a smaller seismic moment of 0.52×10^{25} dyne.cm. The strike, dip, and rake angles for this point source were calculated as 261° , 57° , and 50° , respectively. These values indicate that the second rupture was associated with a different fault segment, with distinct fault geometry and a reverse slip mechanism, as evidenced by the positive rake angle.

When the two point sources were combined, the overall faulting mechanism of the earthquake was modeled as a composite of both sources, with the resulting strike, dip, and rake angles calculated as 282° , 53° , and -60° , respectively. This two-point-source model provided a more comprehensive understanding of the rupture process, highlighting the complex interaction between different fault segments and rupture modes. The two-point-source model also suggests that the earthquake involved both normal and reverse faulting components, which is consistent with the tectonic environment of the region, where active faulting is influenced by a combination of extensional and compressional forces.

Fault Characteristics of the Earthquakes: The solution for the 2000 Sultandağ earthquake indicates that the Sultandağ Fault dips to the northeast and represents a normal faulting rupture moving toward Akşehir Lake. In the case of the 2002 Çay-Eber earthquake, the larger point source indicates a rupture occurring west of Çay district along the east-west segment of the Sultandağ Fault, while the smaller point source shows a relatively smaller-scale rupture between Çay and Sultandağ districts.

The methodology section of the study explains how teleseismic analyses are performed and provides detailed information on the data collection techniques, seismic network configurations, and the advanced inversion techniques applied. The data collection process focuses on the collection of broadband P-wave data recorded at teleseismic distances and the advanced seismic network systems used to properly analyze these data. The accurate acquisition of these data is critical for determining the location, depth, and seismic moment of the earthquake source. Additionally, the details of the inversion techniques used, such as the point-source model demonstrate how these methods are applied in such analyses and the accuracy of the solutions they provide.

The analyses reveal significant differences in the rupture processes of the 2000 Sultandağ and 2002 Çay-Eber earthquakes. The ruptures are characterized by different source mechanisms, with varying strike, dip, and slip angles. The study emphasizes that the two earthquakes exhibit distinct features, as each occurred on different fault segments and involved different rupture mechanisms. These differences provide a better understanding of the tectonic structures and stress distributions in the region. A comparison of the results offers in-depth insights into the seismotectonic structure of Western Turkey, helping to model the distribution of tectonic stress and rupture processes more clearly.

This study not only contributes to a deeper understanding of these specific earthquakes but also provides important implications for seismic hazard assessment and the development of risk mitigation strategies in Western Turkey. Accurate determination of earthquake source characteristics facilitates the creation of more reliable seismic hazard maps for future large earthquakes, which is of great significance given the population density and infrastructure in the region. Furthermore, the data obtained can be used in the development of seismic risk

management strategies, particularly in assessing whether settlements and critical infrastructure are at risk.

The study underscores the critical role of teleseismic source analyses in understanding earthquake dynamics. Determining the characteristics of earthquake sources is a fundamental tool for understanding how fault systems behave and what types of rupture mechanisms are at play. When combined with local seismic network data, teleseismic analyses provide more comprehensive and accurate results. In this sense, this study not only provides insights into the two specific earthquakes but also serves as a guide for broader future research in seismology. Future studies can continue examining other significant earthquakes and potential hazards in the region, further enhancing the applicability of such analyses on both local and global scales.





1. GİRİŞ

Depremler, özellikle Batı Türkiye gibi aktif depremsellik ile karakterize edilen bölgelerde, önemli toplumsal etkileri olan karmaşık jeolojik olayları temsil etmektedir. Bölge coğrafyasında silinmez izler bırakan bu sismik olaylar arasında 2000 Sultandağ depremi ($MW \approx 6,0$) ve 2002 Çay-Eber depremi ($MW \approx 6,4$) ayrıntılı bir inceleme gerektiren önemli olaylar olarak öne çıkmaktadır. Bu tez, bu depremlerin telesismik kaynak uygulamalarını inceleyerek, kırılma süreçlerinin karmaşıklığını ortaya çıkarmak için ileri analitik teknikler kullanmaktadır. Batı Türkiye'deki sismik aktivite, Avrasya ve Anadolu levhalarının yakınlaşmasının yoğun jeolojik dinamiklere yol açtığı karmaşık tektonik ortamı nedeniyle uzun süredir sismologların dikkatini çekmektedir. Yakın zamanda meydana gelen 2000 Sultandağ ve 2002 Çay-Eber depremleri, belirli bir jeolojik bağlamda sismik davranıştaki değişiklikleri araştırmak için eşsiz bir fırsat sunmaktadır. Bu olayların kırılma süreçlerini anlamak, yalnızca bölgenin sismik geçmişini çözmek için hayati önem taşımaz, aynı zamanda sismik tehlike değerlendirmesi ve riskin azaltılması açısından da daha geniş çıkarımlara sahiptir. Deprem mekanizmalarını araştırmak için karmaşık bir yöntem olan telesismik kaynak ters çevrimleri, bu araştırmanın odak noktası olarak ortaya çıkıyor. Uzak sismoloji istasyonlarında kaydedilen telesismik verileri analiz edilerek Sultandağ ve Çay-Eber depremleri sırasında ki fay kırılmasının uzay-zamansal özelliklerini ortaya çıkarmayı amaçlanıyor. Bu gelişmiş yaklaşım, geleneksel sismolojik yöntemlerin sağlayabileceğinin ötesine uzanan içgörüler sunarak, ilgili sismik süreçlerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına olanak tanır. Bu tezin yapısı şu şekilde ortaya çıkmaktadır: Literatür taraması, Batı Türkiye'deki sismik aktiviteye ilişkin mevcut bilgileri sentezleyerek, telesismik kaynak ters çevirmelerinin ele alabileceği boşlukları vurgulayarak sahneyi hazırlamaktadır. Metodoloji bölümü, veri toplama sürecini, sismik ağ konfigürasyonlarını ve kullanılan telesismik kaynak ters çevirme tekniklerinin karmaşıklığını ayrıntılarıyla anlatmaktadır. Sonraki bölümlerde ters çevirmelerin sonuçları sunulmakta ve analiz edilmekte, Sultandağ ve Çay-Eber depremlerinin kırılma süreçlerinin ayrıntılı bir incelemesi sağlanmaktadır. Karşılaştırmalar ve

karşıtlıklar yoluyla, bu bölgede ki sismik davranışın incelikli bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulunan modelleri ayırt etmeyi amaçlıyoruz. Sismik olaylar manzaraları ve toplulukları şekillendirmeye devam ederken, bu araştırmanın bulguları yalnızca belirli depremlere ilişkin anlayışımızı derinleştirmekle kalmıyor, aynı zamanda sismolojideki daha geniş bilgi birikimine de katkıda bulunuyor. Batı Türkiye'deki sismik dinamikleri açıklayarak, gelecekte yapılacak olan araştırmalara bilgi sağlamayı ve benzer tektonik karmaşıklığa sahip bölgelerde ki sismik riskleri değerlendirme ve azaltma becerilerimize de katkı sağlayacağını düşünüyoruz.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Telesismik kaynak ters çözümleri (Tan, O., Taymaz, T., 2001), sismik kaynak, fay mekanizması ve kırılma dinamikleri hakkında detaylı bilgi sağlayarak 2000 Sultandağı ve 2002 Eber depremleri gibi depremlerin incelenmesinde önemli bir rol oynar. Her iki olay için de bu faktörleri anlamak, bölgenin sismik tehlikelerini ve aktif fay sistemlerinin davranışlarını analiz etmek için önemlidir. Telesismik kaynak uygulamalarını bu belirli depremler için neden önemli olduğunu açıklayalım:

15 Aralık 2000 Sultandağ depremi: Bu deprem, Batı Anadolu'da bulunan Sultandağı-Akşehir fay zone boyunca meydana gelmiştir. Telesismik kaynak ters çözümler uygulaması, odak mekanizmasını (faylanmanın doğası, normal, ters veya doğrultu atımlı olup olmadığı) ve fay düzleminin geometrisini belirlemeye yardımcı olur. 2000 Sultandağ depremi için, telesismik ters çözümler muhtemelen bunun bölgedeki genişleme tektoniğiyle tutarlı, normal bir faylanma olayı olduğunu tespit etmiştir. Bu gerilme rejimine dair ipuçları, sismologların fayın tektonik kuvvetler altında nasıl davrandığını modellemesine yardımcı olacaktır.

3 Şubat 2002 Çay-Eber Depremi: Sultandağ depremine benzer şekilde, 2002 Çay-Eber depremi de önemli bir fay sistemini içeriyordu ve telesismik ters çözümler, fay tipinin ve kırılma yayılımının yönünün belirlenmesine katkıda bulunuyordu. Bu önemlidir çünkü tektonik stres rejimi değişebilir ve hassas fay parametreleri gelecekteki deprem tehlikesini tahmin etmeye yardımcı olacaktır.

Telesismik kaynak ters çözüm uygulaması, bir deprem sırasında sismik kırılmanın fay düzlemi boyunca nasıl yayıldığı konusunda kritik veriler sağlar. Hem 2000 Sultandağı hem de 2002 Eber depremlerinde, teknik muhtemelen kırılma uzunluğu, kayma dağılımı ve olay sırasında fay boyunca enerjinin nasıl serbest bırakıldığı

konusunda ipuçları sağlayacaktır. Bu bilgi, fayın hangi bölümlerinin hareket ettiğini, farklı noktalarda ne kadar yer değiştirme meydana geldiğini ve enerjinin nerede yoğunlaştığını anlamak için değerlidir; bu da yakındaki fay bölümlerinde gelecekte ki sismik aktiviteyi etkileyebilir. Sultandağı depremi örneğine bakacak olursak, orta büyüklükte bir depremdi ancak telesismik kırılmanın tek taraflı mı yoksa iki taraflı mı yayıldığını ve çevredeki alanlardaki hasar dağılımını etkileyip etkilemediğini göstermesi açısından bir fikir vermiştir.

Telesismik kaynak ters çözüm uygulamasının temel avantajlarından biri de, deprem kırılmasının derinliği hakkında bilgi sağlama yeteneğidir. Hem Sultandağ hem de Çay-Eber depremleri örneğinde telesismik uygulamalar, bu depremlerin sığ depremler olduğunu (muhtemelen yüzeyden 10 km uzaklıkta meydana gelen) tespit etmeye yardımcı olup, her iki olayda da oluşan hasarın daha detaylı incelenmesine olanak sağlamıştır.

Ek olarak, bu uygulamalar sismik moment hesaplamaya yardımcı olarak depremler sırasında salınan toplam enerjinin daha doğru bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Bu veriler, gelecekteki olaylar için tehlike değerlendirmelerini iyileştirmek amacıyla yerel güçlü hareket verileriyle karşılaştırılabilir.

Büyük depremlerden sonra, telesismik uygulamalar stres değişimlerini ve artçı şoklar veya yakındaki fayların tetiklenmesi potansiyelini anlamaya yardımcı olur (Alptekin, Ö., Barka, A.A., Nalbant, S.S., 1996). Örneğin: 2000 Sultandağı depreminden sonra, uygulamalar yakındaki faylara stres transferini tahmin etmek için kullanılabilirdi ve bu da potansiyel olarak 2002 Eber depremini haber verirdi. Her iki olay için de, kaymanın dağılımını haritalamak ve bunu artçı şok aktivitesiyle karşılaştırmak, fayın hangi kısımlarının hala kilitli olduğunu ve gelecekte depremler üretebileceğini anlamamızı sağlar.

Hem 2000 Sultandağı hem de 2002 Eber depremleri, Anadolu Plakasının genişlemeye uğradığı tektonik olarak karmaşık bir bölgede meydana geldi. Telesismik ters çözümler bölgenin normal fay sistemlerinin nasıl davrandığı, stresin nasıl biriktiği ve serbest bırakıldığı ve bölgesel tektonik ortamın nasıl evrimleştiği konusunda daha geniş bir anlayışa katkıda bulunmaya yardımcı olur. Bu uygulamalardan elde edilen veriler daha büyük tektonik modellere aktarılarak araştırmacıların bölgenin genel sismik riskini anlamalarına ve hangi fay

segmentlerinin gelecekte deprem üretme olasılığının en yüksek olduğunu belirlemelerine yardımcı olur.

Dolayısıyla, 2000 Sultandağı hem de 2002 Çay-Eber depremlerinin kaynak ters çözümlerinin yapılması, genelde bölgenin tektoniğini anlamanın yanı sıra özelde bu depremlerin Sultandağ-Akşehir Fay Zonu'nun hangi kısımlarında oluştuğu hususlarında değerli bilgiler sağlayacaktır. Telesismik kaynak uygulamaları depremin özellikleri, faylanma mekanizması ve kırılma davranışı hakkında ayrıntılı veriler sağlanması adına önemli olmuştur. Bu uygulamalardan yararlanılarak, sismologlar Türkiye'nin yüksek sismik bölgelerinde sismik tehlike değerlendirmesi ve azaltma stratejileri için gerekli olan odak mekanizmaları, kayma dağılımı ve enerji salınımı hakkında önemli bilgilere ulaşmaktadırlar. Ayrıca bu uygulamalar sayesinde yalnızca geçmişteki sismik aktiviteyi kavramaya değil, aynı zamanda belirli bölgelerdeki gelecekte oluşabilecek depremleri önceden tahmin etmeye ve buna hazırlıklı olmaya da yardımcı olacaktır.

1.2. Türkiye’de Tektonik Ortama ve Deprem Tarihine Genel Bakış

Batı Türkiye, başta Avrasya ve Afrika levhaları olmak üzere büyük tektonik levhaların birleştiği noktada yer almakta olup dinamik ve sismik açıdan aktif bir bölge oluşturmaktadır. Alanı etkileyen başlıca tektonik özellikler şunlardır: Kuzey Anadolu Fayı (KAF): KAF, Türkiye'nin kuzeyi boyunca uzanan sağ yanal doğrultu atımlı önemli bir faydır. Anadolu Levhasının Avrasya Levhasına göre batıya doğru hareketini karşılar. Fay, Batı Türkiye'de gözlenen sismik aktivitede önemli bir rol oynamaktadır. Batı Türkiye'nin güneyinde, Afrika Plakası Helenik Yay boyunca Avrasya Plakasının altına dalıyor. Bu batma süreci bölgesel tektonik karmaşıklığa ve sismik aktiviteye katkıda bulunur. Bölge, kuzeyde Avrasya Plakası'nın ve güneyde Anadolu Plakası'nın etkileşimi ile karakterize olup, fay sistemleri boyunca önemli sismik gerilmelere yol açmaktadır. Batı Türkiye'deki sismik olayların tarihi kayıtları, Efes ve Truva gibi arkeolojik alanlarda bulunan kanıtlarla yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Antik yapılar, manzarayı şekillendiren ve insan yerleşimlerini etkileyen sismik kuvvetlere tanıklık ediyor. Tarihsel depremsellik, özellikle İstanbul gibi aktif fay hatları üzerinde yer alan kent merkezlerinin gelişimini ve mimarisini etkilemiştir. Yoğun nüfuslu bölgelerdeki yapıların hasar görülebilirliğini değerlendirmek için sismik geçmişi anlamak çok önemlidir. Tektonik ortam ve

tarihsel depremsellik, aşağıdakileri içeren devam eden sismik tehlike değerlendirmelerine katkıda bulunur: Sismologlar, Türkiye'nin batısında farklı büyüklükte depremlerin meydana gelme olasılığını tahmin etmek için olasılıksal sismik tehlike modellerini kullanıyor. Bu modeller fay özellikleri, tarihsel depremsellik ve yer sarsıntısı gibi faktörleri dikkate alır. Büyük fayların, özellikle de Kuzey Anadolu Fayı'nın segmentasyonunu anlamak, sismik tehlikeyi değerlendirmek ve farklı bölgelerdeki deprem davranışını tahmin etmek için önemlidir. Türkiye, yapıların depreme karşı dayanıklılığını artırmak için tasarlanmış bina yönetmeliklerini uygulamaya koymuştur. Modern inşaat uygulamaları, binaların deprem kuvvetlerine karşı hassasiyetini azaltmayı amaçlamaktadır.

1.3. Türkiye'nin Sismotektoniği

Türkiye, şimdiye kadar kayıtlara geçmiş depremlere göre, bilinen M.Ö. 2000 yılından bu yana defalarca kırılma ve faylanmaya neden olmuş büyük depremlerle karşı karşıya gelmiştir. Özellikle, 1989 ile 1998 yılları arasında, magnitudü 4.0 ve üzeri olan depremler sonucunda Helenik-Kıbrıs Yay, Ege Graben Sistemi, Kuzey Anadolu Fayı(KAF), Doğu Anadolu Fayı(DAF), ve Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi gibi önemli tektonik bölümlerdeki bu faylanmalarda oluşabilecek sismik boşluklarla ilgili önemli fikirler sağlamıştır. Ayrıca bu araştırmalar bizlere, Türkiye'de bu kırılmalar sonucunda oluşmuş tahmini 15 kadar sismik boşluk olabilme ihtimalini düşündürmektedir. Son 10 yıllık süreçte, bu boşlukların özellikle baş ve son kısmında meydana gelmiş mikro-depremlerin yine buralarda yoğunlaşmasına rağmen, normalde kırılması beklenen uzun faylarda hiçbir hareketlenme görülmemiştir. Türkiye'de bulunan aktif fayların gruplandırılması, gelecekte meydana gelebilecek depremlerin risk ve sismik analizlerin yapılabilmesi için deprem kırık uzunluklarının başlangıç ve bitiş kısımlarını belirtmesi son derece önem taşımaktadır.

1.3.1. Batı Türkiye'nin sismotektoniği

Batı Türkiye, Anadolu, Avrasya ve Afrika levhalarının birleştiği noktada yer alan, dünyanın sismik açıdan en aktif bölgelerinden biridir (Alptekin, 1978; Jackson ve McKenzie, 1984) . Bu tektonik ortam, bu levhaların hareketi ve bölgesel genişleme kuvvetleri tarafından yönlendirilen önemli sismik tehlikeler yaratır. Bölgenin sismik aktivitesi öncelikle Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve bölgedeki çeşitli normal fay

sistemleriyle ilişkilidir ve Batı Türkiye'yi sık ve bazen yıkıcı depremlere eğilimli hale getirir.



Şekil 1.1. Anadolu ve Arap levhası haritası üzerinde işaretli Akşehir gölü lokasyonu.

1.3.1.1. Batı Türkiye'deki sismik aktivitenin arkasındaki temel faktörler

Anadolu Levhası Hareketi (Şekil 1.1.): Anadolu Levhası, kuzeyde Avrasya Levhası ve güneyde Afrika Levhası'nın birleşmesiyle batıya doğru itiliyor. Bu tektonik hareket, fay sistemleri boyunca yüksek düzeyde strese neden oluyor ve Batı Türkiye'de sık sık depremlere yol açıyor.

Ege Uzantısı (Genişlenen Tektonik): Batı Türkiye, özellikle Ege bölgesi, Dünya kabuğunu birbirinden ayıran tektonik kuvvetler nedeniyle önemli bir uzantı geçiriyor. Bu, kabuğun bu gerilmeye uyum sağlamasıyla depremlerle sonuçlanan çok sayıda normal fay sisteminin gelişmesine neden oluyor. Bölgedeki genişlenen tektonikler, genellikle altyapı ve binalarda önemli hasara yol açan sığ depremlere yol açıyor.

Afrika Levhasının Dalması(Subduction): Genişlenen rejime ek olarak, Afrika Levhası Helenik Yay boyunca Ege bölgesinin altına dalıyor ve bu da sismik aktiviteye yol açıyor. Dalma bölgeleri sıklıkla büyük şiddette depremlere neden olur ve bu tektonik etkileşim aynı zamanda Batı Türkiye'deki sismik tehlikelere de katkıda bulunur.

1.3.1.2. Batı Türkiye'deki başlıca fay sistemleri

Kuzey Anadolu Fayı (KAF): Kuzey Anadolu Fayı, dünyadaki en aktif fay sistemlerinden biridir ve Batı Türkiye'ye kadar uzanır ve Marmara Denizi ve İzmit yakınlarındaki bölgeleri etkiler. Fay, Türkiye tarihinin en büyük ve en yıkıcı depremlerinden bazılarında sorumludur. Fay, levhaların yatay hareketinin önemli sismik aktiviteye yol açtığı sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır. İstanbul ve İzmit gibi büyük şehirler, bu faya yakınlıkları nedeniyle önemli sismik risk altındadır.

Gediz ve Büyük Menderes Graben Sistemleri: Bunlar, Ege bölgesinde bulunan Batı Türkiye'deki en belirgin normal fay sistemlerinden ikisidir. Bölgeyi etkileyen genişleme rejiminin bir parçasıdır ve sık sık deprem üretmekten sorumludurlar. Gediz Grabeni Manisa'dan İzmir'e kadar uzanırken, Büyük Menderes Grabeni Aydın ve Denizli bölgelerini etkiler. Bu grabenler, nüfuslu alanlara yakınlıkları nedeniyle önemli hasara neden olabilen sık depremler üretir.

Sultandağı-Akşehir Fayı: Bu fay sistemi, 2000 Sultandağı depremi ve 2002 Eber depremi de dahil olmak üzere Sultandağı-Akşehir bölgesindeki depremlerden sorumludur. Bu olaylar, Batı Türkiye'deki daha küçük ancak yine de tehlikeli fay sistemlerinin sismik potansiyelini vurgular.

1.3.1.3. Batı Türkiye'deki önemli depremler

1999 İzmit Depremi (Kuzey Anadolu Fayı): Türkiye tarihinin en yıkıcı depremlerinden biri olan bu 7,4 büyüklüğündeki deprem, İzmit ve çevresinde yaygın yıkıma neden oldu ve 17.000'den fazla can kaybına yol açtı. Kuzey Anadolu Fayı'nın aktivitesinin bir sonucuydu ve fayın oluşturduğu ciddi sismik tehlikeyi gösterdi.

2020 İzmir Depremi: Bu 7,0 büyüklüğündeki deprem, 30 Ekim 2020'de İzmir yakınlarındaki Ege Denizi'nde meydana geldi. İzmir şehrinde önemli hasara yol açtı ve 100'den fazla can kaybına neden oldu. Deprem, Ege bölgesinin genişleme rejimiyle ilişkili normal faylanmanın bir sonucuydu.

1953 Yenice-Gönen Depremi: 7,2 büyüklüğündeki bu deprem, Kuzey Anadolu Fayı'nın güneybatı uzantısı boyunca meydana geldi ve önemli hasara ve can kaybına neden oldu. Marmara bölgesi dışında Batı Türkiye'de büyük depremler için potansiyel olduğunu gösterdi.

2000 Sultandağı ve 2002 Eber Depremleri: Bu orta şiddetteki depremler Sultandağı-Akşehir fay sistemi boyunca meydana geldi. Büyüklükleri daha küçük olsa da (6.0-

6.5 aralığı), kırsal alanlarda önemli hasara neden oldular ve Batı Türkiye'deki sismik tehlikelerin yaygın doğasını vurguladılar.

1.3.1.4. Batı Türkiye'de sismik tehlike ve risk

Aktif Faylara Yakınlık: İzmir, Manisa, Aydın ve Denizli gibi büyük şehirler aktif fay sistemlerinin yakınında yer almakta ve milyonlarca insanı riske atmaktadır. İstanbul, Batı Türkiye'nin genişleme rejiminde olmamasına rağmen, Kuzey Anadolu Fayı'na yakınlığı nedeniyle de tehdit altındadır.

Zemin Koşulları ve Savunmasız Altyapı: Batı Türkiye'deki birçok şehir, sismik dalgaları artırabilen ve deprem sırasında daha yoğun sarsıntılara yol açabilen yumuşak alüvyonlu topraklar üzerine inşa edilmiştir. Bu, modern depreme dayanıklılık standartlarını karşılamayan eski binaların savunmasızlığıyla birleştiğinde, felaketle sonuçlanacak hasar riskini artırmaktadır.

Sismik Erken Uyarı Sistemleri: Batı Türkiye, özellikle Kuzey Anadolu Fayı'na yakın bölgelerde bir deprem erken uyarı sistemiyle donatılmıştır. Ancak, binaları güçlendirmek ve altyapıyı büyük depremlere dayanacak şekilde iyileştirmek için yapılması gereken çok iş vardır.

Tsunami Riski: Kıyısız konumu ve hem genişlenen tektonik hem de dalma bölgelerinin varlığı nedeniyle, Batı Türkiye'nin bazı kısımları, özellikle Ege Denizi boyunca, tsunami riskleriyle karşı karşıyadır. 2020 İzmir depremi, gelecekte daha büyük olayların potansiyelini gösteren küçük tsunamiler üretti.

Batı Türkiye'nin sismik aktivitesi, Anadolu Plakasının batıya doğru hareketi, Ege'deki genişlenen rejim ve Afrika Plakasının dalması gibi karmaşık tektonik ortamı tarafından yönlendirilir. Kuzey Anadolu Fayı, Gediz Grabeni ve diğer normal fay sistemleri gibi aktif faylar, yoğun nüfuslu kent merkezleri için önemli tehlikeler oluşturarak sık sık depremler üretir. Bu sismik olarak aktif bölgede gelecekteki depremlerin oluşturduğu riskleri azaltmak için sürekli araştırma, iyileştirilmiş yapı standartları ve kamu farkındalığı esastır.

1.4. Çalışmada İncelenen Depremler

1.4.1. 15 Aralık 2000 Sultandağ depremi

15 Aralık 2000 Sultandağ Depremi: Bu deprem, Sultandağı-Akşehir depremi olarak da bilinir, yerel saatle 18:44 'te Türkiye'nin Afyonkarahisar ilinin Sultandağı ilçesinde meydana geldi (Tan, O., and Taymaz, T. (2001)). Deprem Richter ölçeğine göre büyüklüğü 6.0'dı ve merkez üssü Sultandağı-Akşehir fay hattının yakınındaydı (Tablo 1.1; Şekil 1.1). Bunu, büyüklükleri 5.3'e kadar ulaşan çok sayıda artçı şok izledi. Bu deprem Batı Türkiye'deki genişleme sisteminin bir parçası olan daha büyük bir tektonik yapının parçası olan Sultandağı-Akşehir Fay Hattı üzerinde oluşmuştur. Bu fay normal fay karakterinde bir fay zonudur.

Deprem, Sultandağı ve çevresindeki Akşehir, Çay gibi ilçeleri de derinden etkileyerek önemli yapısal hasarlara yol açtı. Etkilenen kasabalarda, özellikle kırsal kesimlerde yaygın bir yapı türü olan güçlendirilmemiş duvarcılıktan yapılmış, kötü inşa edilmiş veya eski binaların çökmesi yaşandı. Depremde 46 kişi hayatını kaybetti, yaklaşık 500 kişi yaralandı. Binlerce kişi evsiz kaldı ve yüzlerce bina ya tamamen yıkıldı ya da ciddi şekilde hasar gördü.

Tablo 1.1. 2000 Sultandağ Depremi odak ve kaynak parametreleri.

	Kandilli	AFAD	USGS	GCMT
Orijinal Zamanı	16:44:44	18:32:16	16:44:47	16:44:51
Enlem. (°)	38.6300	38.52	38.457	31.35
Boylam. (°)	31.1900	31.22	31.351	38.40
Derinlik(km)	13.0	9.9	15.0	15.0
Sis. Moment ($\times 10^{18}$ Nm)	-	-	1.221	1.21×10^7
M _w	-	-	5.99	6.0
Doğrultu (°)	-	-	285	285
Eğim (°)	-	-	42	41
Kayma (°)	-	-	-101	-100

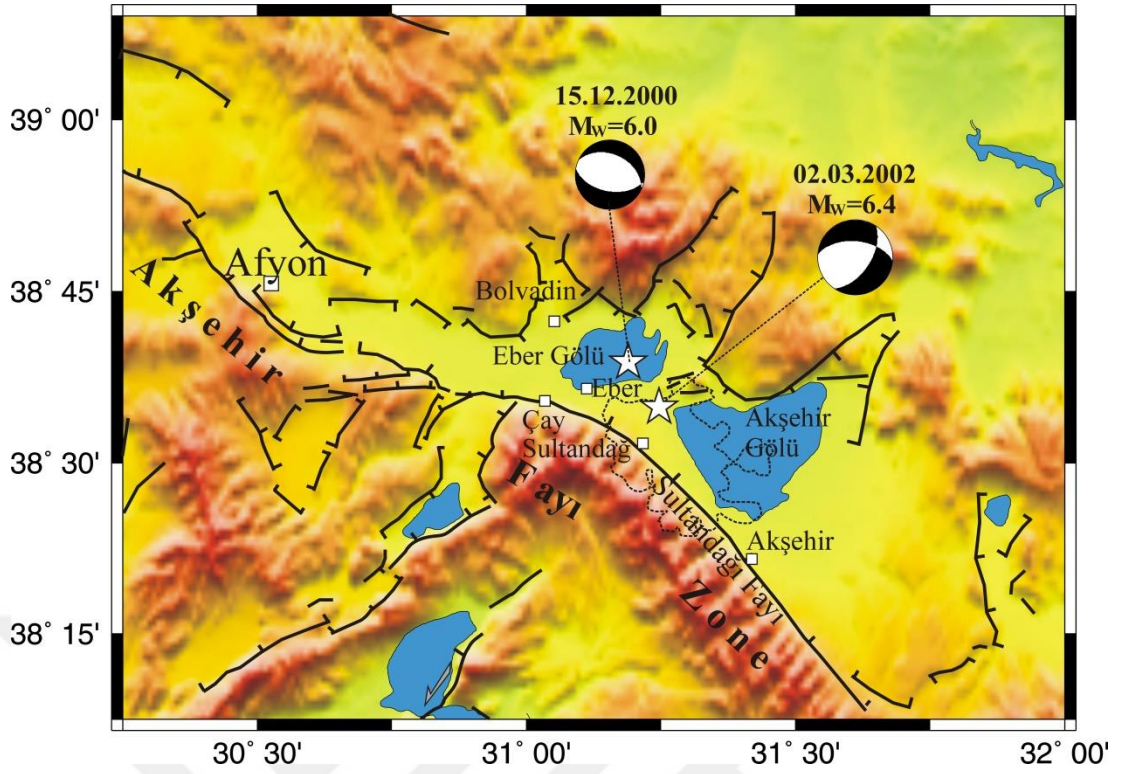
1.4.2. 3 Şubat 2002 Çay-Eber depremi

Şubat 2002 Çay-Eber Depremi: Bu deprem Türkiye'nin Afyonkarahisar bölgesini vuran önemli bir sismik olaydı (Ulusay vd, 2004). Güneybatı Türkiye'de Eber Gölü yakınlarında bulunan Çay ve Eber de dahil olmak üzere birkaç kasabayı etkiledi. Bu deprem, kırsal alanlarda büyük hasara yol açması ve 2000'lerin başında Türkiye'nin sismik aktivitesinin bir parçası olması nedeniyle dikkat çekiciydi. Büyüklüğü

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne göre 6.5 (M_w) dir (Tablo 1.2.). Yerin yaklaşık 5-10 km derinliğinde olmasından dolayı yüzeyde hissedilen sarsıntının şiddetini de arttırdı. Deprem, Afyonkarahisar bölgesinden geçen Sultandağı-Akşehir Fay Hattı boyunca meydana gelmiştir. (Şekil 1.2.). Bu fay ayrıca Anadolu Plakası'nın, Avrasya Plakası ve Afrika Plakası ile etkileşime girdiği Türkiye'nin batısındaki büyük bir tektonik yapının parçasıdır. Batı Anadolu'nun bu bölgesi, yer kabuğunun ayrılarak depremlere neden olduğu normal faylanma ile benzerlik taşımaktadır. Bu bölgedeki oluşan birçok depremin sebebi de bu nedenledir. Sultandağı Fay Hattı, sadece iki yıl önce 2000 Sultandağı depreminden sorumluydu, bu da bölgenin 2002 olayından önce önemli sismik aktivite yaşadığı anlamına gelmektedir.

Tablo 1.2. 2002 Çay-Eber Depremi odak ve kaynak parametreleri.

	Kandilli	AFAD	USGS	GCMT
Orijin Zamanı	11:54:34	07:11:29	07:11:28	7:11:43
Enlem. (°)	38.6300	38.46	38.573	38.62
Boylam. (°)	31.0100	31.30	31.271	31.21
Derinlik(km)	10	9.6	15.0	15.0
Sis. Moment ($\times 10^{18}$ Nm)	-	-	6.139	6×10^7
M_w	-	6.1	6.46	6.5
Doğrultu (°)	-	-	269	269
Eğim (°)	-	-	37	37
Kayma (°)	-	-	-71	-71



Şekil 1.2. Şekil 1.1. 'de belirtilen bölgenin detaylı lokasyon haritası.



2. YÖNTEM

Telesismik kaynak ters çözüm yöntemleri, episantr uzaklıkları 30° 'den daha büyük olan uzak istasyonlarda) kaydedilen sismik dalgaları kullanarak depremlerin kırılma sürecini ve faylanma mekanizmalarını analiz etmek için kritik öneme sahiptir (Budakoğlu, 2010; Eyidoğan, 1984; Kanamori ve Kikuchi, 1991; Pınar, 1995.). Bu yaklaşım, yerel veriler mevcut olmadığında veya sınırlı olduğunda bile sismologların kayma dağılımı, kırılma süresi ve enerji salınımı gibi deprem kaynağı hakkında ayrıntıları çıkarmasına yardımcı olur. Bir depremin oluşturduğu sismik dalgalar (esas olarak P ve S dalgaları) uzak sismik istasyonlar aracılığıyla kaydedilir. Yer kabuğunun iç kısmından geçen ve kaydedilen bu dalgalar, depremin kaynak mekaniği hakkında ayrıntılı birçok bilgi taşımaktadırlar. Sismografların kalibre edilmesi, alet tepkisi için düzeltilmesi, gürültünün giderilmesi ve verilerin analize hazırlanması gerekir. Amaç, telesismik P veya S dalgalarından deprem kırılması ile alakalı sinyalleri çıkarmaktır.

Bu araştırmada yararlanılan telesismik cisim dalgaları ters çözümü Kanamori ve Kikuchi (1982) tarafından geliştirilmiştir. Sonrasında daha da geliştirmek adına bu metot üzerine çalışmalarına devam etmişlerdir. (Kanamori ve Kikuchi, 1991; Pınar, 1995). Bu metotta depremin kaynak noktası yine aynı fay geometrisine sahip olup, nokta kaynak dislokasyonları (alt olaylar) olarak girift bir yapı şeklinde varsayılmıştır. Bir noktadaki dislokasyonun zaman evrimini τ yükselme zamanına sahip olan bir ramp fonksiyonu Kanamori ve Kikuchi (1982) tarafından formülize edilmiştir.

Karmaşık yapıda olan büyük depremlerin kaynak süreçlerinin çok çeşitli mekanizmalardaki alt olayla temsil edilerek ters çözüm uygulaması daha da modernize edilmiştir. (Kanamori ve Kikuchi, 1986). Nokta kaynak parametrelerini içeren, kırılma başlangıç zamanı, sismik moment, lokasyon, faylanma tipi ve kaynak-zaman fonksiyonu her alt olay için aynı kabul edilmemiş ancak bu parametrelerin farklı alt olaylar için değişmesine izin verilmiştir. İlerleyen süreçlerde kaynak,

istasyon ve pP yansıma noktası tepkilerini hesaplamak için çok katmanlı ortamları kullanacak şekilde bu metot yeniden güncellenmiştir. (Kanamori ve Kikuchi, 1991).

Bu metot, deprem kaynağı ve değişik odak mekanizmalarına sahip nokta kaynaklar dizisi olarak tanımlanmıştır (Kanamori ve Kikuchi, 1991).

Nokta kaynak parametreleri gözlemsel dalga şekilleri ve yapay (hesaplanan) dalga şekillerinin birbirleriyle benzeşen yönleri tekrarlayan kontrolü ile bulunmaktadır. Deprem kaynağını simgeleyen her bir nokta kaynak, bir moment tensör olarak varsayılmıştır (Lay ve Wallace, 1995). Sismik moment tensör, $[M_{ij}]$, 6 bağımsız bileşenden oluşup aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} M_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & M_2 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & M_3 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ M_4 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} & M_5 &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & M_6 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

burada $[M_{ij}]$ için (x, y, z) koordinatlara (kuzey, doğu ve derinlik) denk gelmektedir.

Her bir moment tensör, M_n 'nin doğrusal kombinasyonları ile ifade edilebilir.

Bu sistemin sağladığı fayda, alt grupları aşağıda gösterilen özel çözümleri sunmasıdır:

- (1) $M_1, \dots, M_6$ = genel moment tensör
- (2) $M_1, \dots, M_5$ = tam(pure)-deviatoric moment tensör
- (3) $M_1, \dots, M_5$ ($\det [M_{ij}] = 0$) = genel ikili-kuvvet
- (4) $M_1, \dots, M_4$ ($\det [M_{ij}] = 0$) = düşey düğüm düzlemine sahip ikili-kuvvet
- (5) $M_1, \dots, M_2$ = tam (pure) doğrultu atım

$w_{jn}(t,p)$ n . tensör (M_n) nedeniyle j istasyonundaki yapay dalga şeklini (kısaca Green's fonksiyonunu) gösteriyor olduğu kabul edilsin. Burada p , kaynağın lokasyonunu, başlangıç zamanını ve diğer parametrelerini ifade etmektedir. M_n için a_n katsayısı, aşağıdaki çözümle elde edilebilir.

$$\begin{aligned}\Delta &= \sum_{j=1}^{N_s} \left[\int x_j(t) - \sum_{n=1}^{N_b} a_n w_{jn}(t; p) \right]^2 dt \\ &= R_x - 2 \sum_{n=1}^{N_b} a_n G_n + \sum_{m=1}^{N_b} \sum_{n=1}^{N_b} R_{nm} a_n a_m\end{aligned}\quad (2.1)$$

= minimum

Burada, N_b ve N_s sıra halinde kullanılan moment tensör ve istasyon sayılarıdır. Ayrıca

$$\begin{aligned}R_x &= \sum_j \int [x_j(t)]^2 dt \\ R_{nm}(p) &= \sum_j \int [w_{jn}(t; p) w_{jm}(t; p)] dt \\ G_n(p) &= \sum_j \int [w_{nm}(t; p) x_j(t)] dt\end{aligned}\quad (2.2)$$

$n=1, \dots, N_b$ için $\frac{\partial \Delta}{\partial a_n} = 0$ şeklinde düzenleme yapılırsa, aşağıdaki normal denkleme (normal equation) ulaşılmaktadır.

$$\sum_{m=1}^{N_b} R_{nm} a_m = G_n, \quad n = 1, \dots, N_b \quad (2.3)$$

$[R_{nm}]$ matrisinin tersinin $[R_{nm}^I]$ olduğu kabul edecek olursak,

$$\sum R_{nl} R_{lm}^I = \delta_{nm}, \quad n, m = 1, \dots, N_b \text{ olacaktır,}$$

burada δ_{nm} Kronecker delta fonksiyonudur. Bu aşamadan sonra çözüm aşağıdaki gibi olacaktır,

$$a_n = a_n^0 \equiv \sum R_{nm}^I G_m \quad (2.4)$$

Residüel hata ise,

$$\Delta = R_x - \sum G_n a_n^0 \quad (2.5)$$

olacaktır.

a_n^0 ve Δ , p parametresinin birer fonksiyonudur. p 'nin optimum değeri ise minimum Δ kriterinin veya

$$\Psi_M(p) = \frac{\sum_n G_n a_n^0}{R_x} = \frac{\sum_n \sum_m R_{nm}^I G_m G_n}{R_x} \quad (2.6)$$

= maksimum

kriterinin karşılanması ile olur. Burada ψ_M , kuramsal ve gözlemsel sismogramlar arasındaki korelasyondur. P 'nin optimum değeri belirlendikten sonra $\{a_n^0\}$ değerleri bağıntısı

$$\Phi(\tau, p, p') = \sum_j w_j(t, p) w_j(t + \tau, p') dt \quad (2.7)$$

ile verilir. $\{a_n\}$ katsayılarını kullanarak varılan sonuç moment tensor matrisi ise aşağıda görüldüğü şekilde verilir.

$$[M_{ij}] = \begin{bmatrix} a_2 - a_5 + a_6 & a_1 & a_4 \\ a_1 & -a_2 + a_6 & a_3 \\ a_4 & a_3 & a_5 + a_6 \end{bmatrix}$$

Köşegenlerinin determinantı ve toplamı sıfır olan bir moment tensör ikili-kuvvet çifti kaynağını ifade etmektedir. Buradan hareketle, bir tam (pure) deviatorik moment tensör üzerinde, $[M_{ij}] = a_1 M_1 + \dots + a_5 M_5$, aşağıdaki sınırlama kullanılırsa en ideal ikili-kuvvet çifti kaynağı elde edilebilmektedir.

$$D \equiv \det[M_{ij}] = 0 \quad (2.8)$$

λ 'nın Lagrangian çarpımı olması durumunda, object fonksiyonu $\{a_n\}$ ve λ 'ya bağlı olarak minimize edildiği takdirde,

$$\Delta' = \Delta + 2\lambda D \quad (2.9)$$

böylece,

$$\frac{\partial \Delta'}{\partial a_n} = \frac{\partial \Delta'}{\partial \lambda} = 0$$

buradan da aşağıda görmüş olduğumuz denklemler elde edilir:

$$a_n = a_n^0 - \lambda \sum_m R_{nm}^I \frac{\partial D}{\partial a_m} \quad (2.10a)$$

ve

$$D = 0 \quad (2.10b)$$

burada, $\{a_n^0\}$ (2.7) denklemi ile verilen moment tensör çözümüdür. (2.10a) ve (2.10b) denklemleri nümerik bir şekilde çözülebilir.

Residüel hata, Δ , aşağıda gördüğümüz denklem vasıtasıyla ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \Delta &= R_x - 2 \sum_n a_n G_n + \sum_m \sum_n R_{nm} a_n a_m \\ &= R_x - \sum_m \sum_n R_{nm} [a_n^0 a_m^0 - \Delta a_n \Delta a_m] \end{aligned} \quad (2.11)$$

burada ise, $\Delta a_n = a_n - a_n^0$ 'dır. Böylece, yapay ve gözlemsel sismogramlar arasındaki korelasyon aşağıda bulunan formül ile edilmektedir.

$$\psi_D(p) = \frac{\sum_n \sum_m R_{nm} [a_n^0 a_m^0 - \Delta a_n \Delta a_m]}{R_x} \quad (2.12)$$



3. BULGULAR

3.1. Çalışmada Kullanılan Veri ve Veriye Uygulanan İşlemler

Bu çalışmada 15 Aralık 2000 Sultandağ ve 3 Şubat 2002 Çay-Eber depremleri nokta-kaynak ters çözümleri için telesismik uzaklıklarda geniş-bant olarak kayıt edilmiş sırasıyla 31 ve 30 adet P cisim dalga şekli kullanılmıştır. IRIS DMC'den (Incorporated Research Institutions for Seismology Data Management Center) internet sayfasından indirilen dalga şekillerinin episantral uzaklıkları sırasıyla 29.6° ile 88.5° ve 29.4° ile 92° arasında değişmektedir. İstasyon episantral uzaklıklarının 30°-90° arasında olmasına dikkat edilerek deprem kırılmasıyla ilişkisi bulunmayan yayılım yolu (propagation path) kaynaklı etkilerden dalga şekillerinin arındırılması amaçlanmıştır (Mendoza vd, 1994). Bunun yanı sıra, veriler gözden geçirilerek sorunlu ve sinyal/gürültü oranı düşük olan istasyon verileri veri setinden çıkarılmış ve kalan verilerden sismograf tepkileri (instrument response) giderilmiştir. P dalga şekillerinin istasyonlardaki başlangıç zamanları episantr uzaklıklarına göre Bullen ve Jeffreys (1958) zaman tablolarından belirlenmiştir. Her iki deprem içinde telesismik P dalga şekilleri 0.01 ile 0.5 Hz frekans aralığında bant geçişli filtrelenmiştir.

3.2. Telesismik Ters Çözüm Uygulamaları

Telesismik nokta-kaynak modellemesinde Thurber (1983) tarafından belirlenen tek boyutlu kabuksal hız modeli kullanılmıştır (Tablo 3.1.).

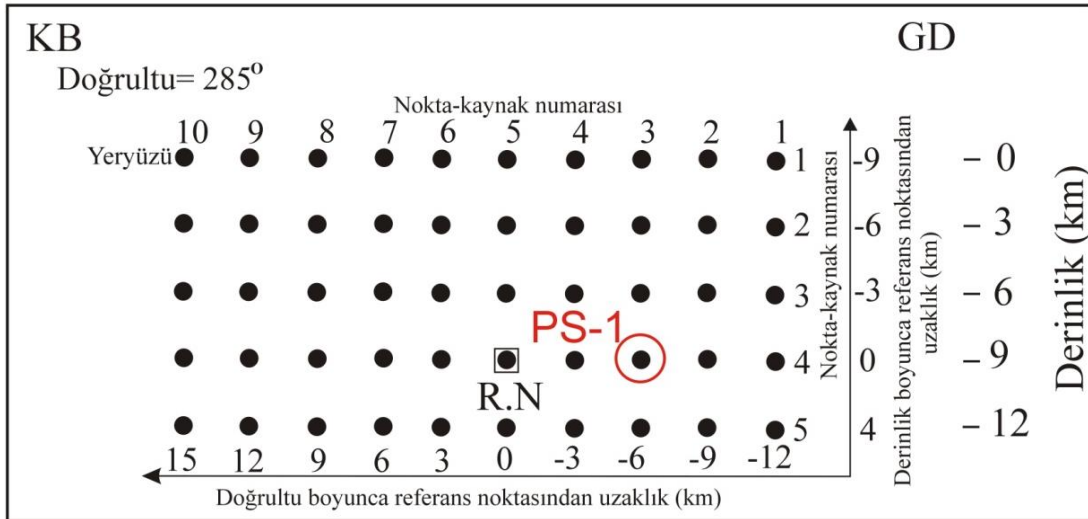
Tablo 3.1. Ters çözümde kullanılan kabuksal hız yapısı (Thurber (1983)'den uyarlanmıştır). S dalga hızları $V_p/V_s = 1.73$ ilişkisinden yararlanılarak belirlenmiştir.

Kalınlık (km)	V_p (km/sn)	V_s (km/sn)	ρ (kg/m ³)
1.0	2.65	1.53	2.50
1.0	5.69	3.29	2.60
3.0	6.00	3.47	2.70
3.0	6.15	3.55	2.80
6.0	6.45	3.73	2.90
3.0	6.75	3.90	6.0
10.0	7.10	4.10	3.10
10.0	8.00	4.62	3.30

* V_p : P dalga hızı; V_s : S dalga hızı; ρ : yoğunluk

3.2.1. 15 Aralık 2000 Sultandağ depremi nokta kaynak ters çözümü

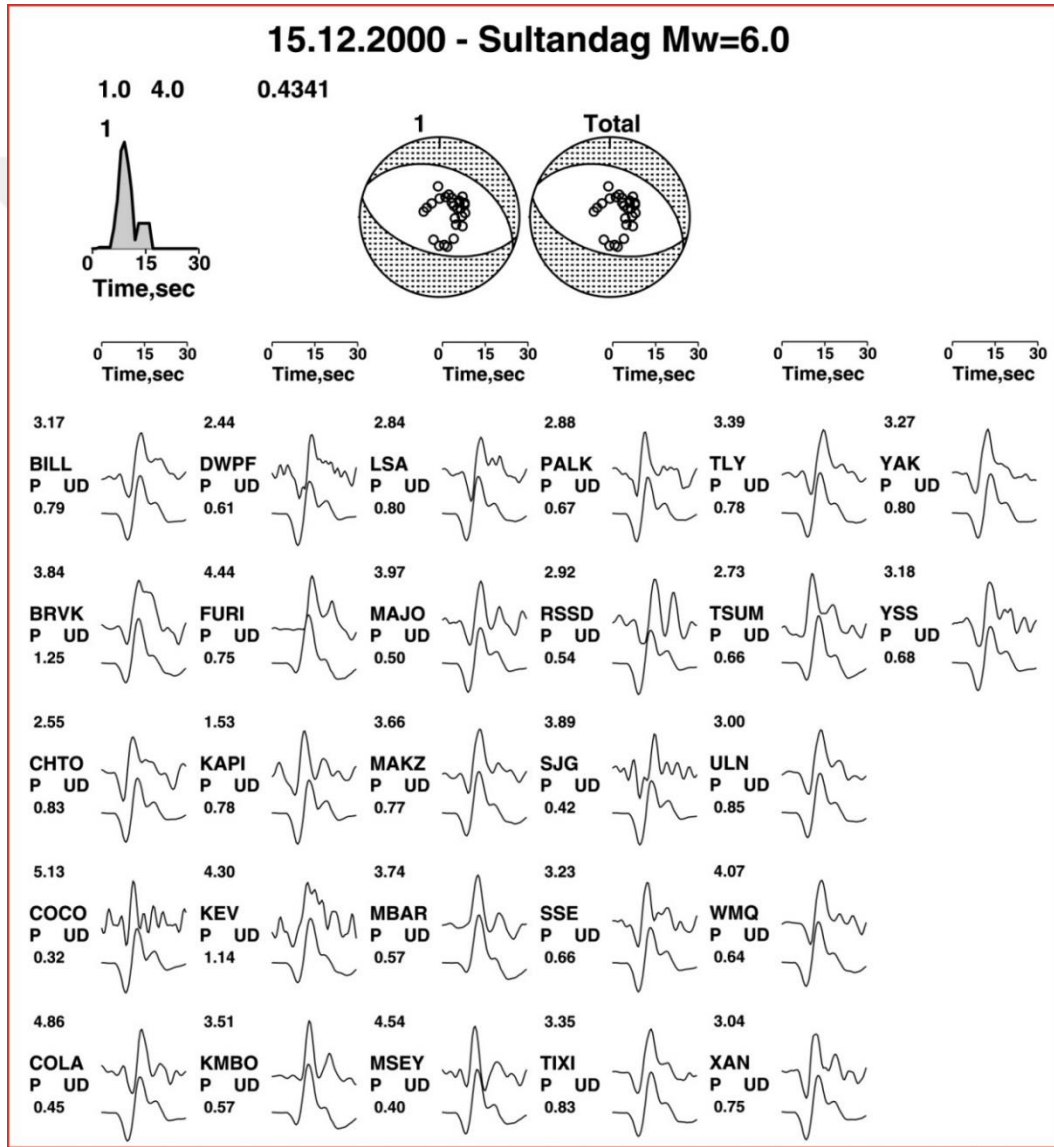
Yapay sismogramların hesaplanmasında 128 örnekleme noktası ve 0.5 sn'lik örnekleme aralığı kullanılmıştır. Deprem kaynağı eşit aralıklarla dağıtılmış doğrultu boyunca 10 ve eğim boyunca 5 nokta-kaynaktan oluşan bir nokta-kaynak gridi deprem kaynağını temsil için oluşturulmuştur. Nokta-kaynak aralıkları 3 km olarak seçilmiştir. Dolayısıyla $27 \times 12 \text{ km}^2$ bir kırılma alanı bu deprem için tanımlanmıştır. Nokta-kaynak gridinin doğrultusu 285° olarak alınmıştır (bakınız Tablo 1.1.). Referans noktası 9 km derinlikte seçilmiş olup izdüşümü depremin belirlenen dış merkezine karşılık gelmektedir. Birkaç başlangıç ters çözümünden sonra referans noktası doğrultu boyunca 3ncü eğim boyunca 4ncü sırada olan nokta kaynak seçilmiştir. Nokta kaynak gridinin son hali Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Yapay sismogramların hesaplanmasında 1 sn yükselim ve düşümlü toplam süresi 4 sn olan yamuk (trapezoid) kaynak zaman fonksiyonu kullanılmıştır. Kırılma hızının 3.0 km/sn olduğu kabulü yapılmıştır.



Şekil 3.1. 15 Aralık 2000 Sultandağ depreminin nokta kaynak ters çözümünde kullanılan nokta kaynak grid düzlemi modeli. Referans noktası (RN) olarak seçilen nokta-kaynak kare içine alınmıştır. PS-1 ile etiketlenen kırmızı daire, ters çözüm sonucunda belirlenen nokta kaynak konumunu göstermektedir.

2000 Sultandağ depreminin modellenmesinde ilk önce tek nokta-kaynak ile gözlenmiş dalga şekilleri modellenmeye çalışılmıştır. Tek nokta-kaynak ile dalga şekillerine tatmin edici bir uyuma ulaşılmıştır. Tek nokta-kaynaklı kırılma için elde edilen kaynak mekanizması, kaynak-zaman fonksiyonu ve yapay-gözlenmiş dalga şekli uyumu Şekil 3.2.'de gösterilmiş ve kaynak parametreleri Tablo 3.2.'de

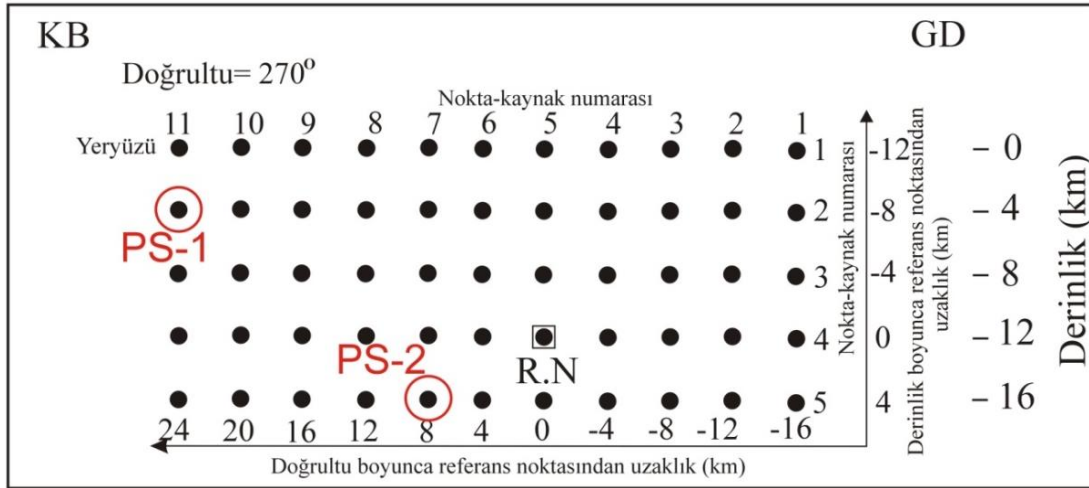
listelenmiştir. Elde edilen kaynak mekanizması önceki çalışmalardan elde edilmiş ve Tablo 1.1.'de listelenmiş çözümlerle uyum sergilemektedir. Deprem kırılmasını temsil eden nokta-kaynak referans noktasının 6 km Güneydoğusunda 9 km derinlikte yerleşmiştir. Bu nokta kaynak için hesaplanan doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 294°, 38° ve -82°'dir. Esas deprem kırılması yaklaşık 10 sn sürmüş olup hesaplanan sismik moment 1.11×10^{25} dyne.cm'dir. Hesaplanan bu sismik moment serbestlenmesi yaklaşık moment magnitüdü $M_w=6.0$ olan bir deprem büyüklüğüne karşılık gelmektedir.



Şekil 3.2. 15 Aralık 2000 Sultandag depremi nokta-kaynak ters çözümü sonucunda elde edilen kaynak zaman fonksiyonu, varyans değeri ve kaynak mekanizması. Elde edilen çözüme karşılık gelen yapay sismogramlarla (alttaki dalgalar) ile gözlenmiş sismogramların (üstteki dalgalar) karşılaştırılması da gösterilmiştir. İstasyon isimleri ve sismogramların genlik oranları her bir sismogram çiftinin solunda verilmiştir.

3.2.2. 03 Şubat 2002 Çay- Eber depremi nokta kaynak ters çözümü

Yapay sismogramların hesaplanmasında 128 örnekleme noktası ve 0.5 sn'lik örnekleme aralığı kullanılmıştır. Deprem kaynağı eşit aralıklı bir nokta kaynak gridi ile temsil edilmiştir. Doğrultu boyunca 11 ve eğim boyunca 5 nokta kaynak 4 km aralıklarla dağıtılarak nokta-kaynak gridi oluşturulmuştur. Böylelikle 40 km'lik bir uzunluğa ve 16 km genişliğe sahip bir deprem kırılmasına ters çözümde olanak tanınmıştır. Nokta kaynak gridinin doğrultusu 295° olarak alınarak referans noktası 12 km derinlikte seçilmiştir (bakınız Tablo 1.2.). Referans noktasının yeryüzüne izdüşümü depremin belirlenen dış merkezine karşılık gelmektedir. Başlangıçta yapılan birkaç ters çözümle referans noktası doğrultu boyunca 5. ve eğim boyunca 4. sırada olan nokta kaynak seçilmiştir. Oluşturulan bu nokta-kaynak gridi Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Yükselim ve düşümü 1 sn olan toplam 4 sn olan yamuk (trapezoid) kaynak zaman fonksiyonu kullanılmıştır. Kırılma hızının 3.0 km/sn olduğu varsayılmıştır.



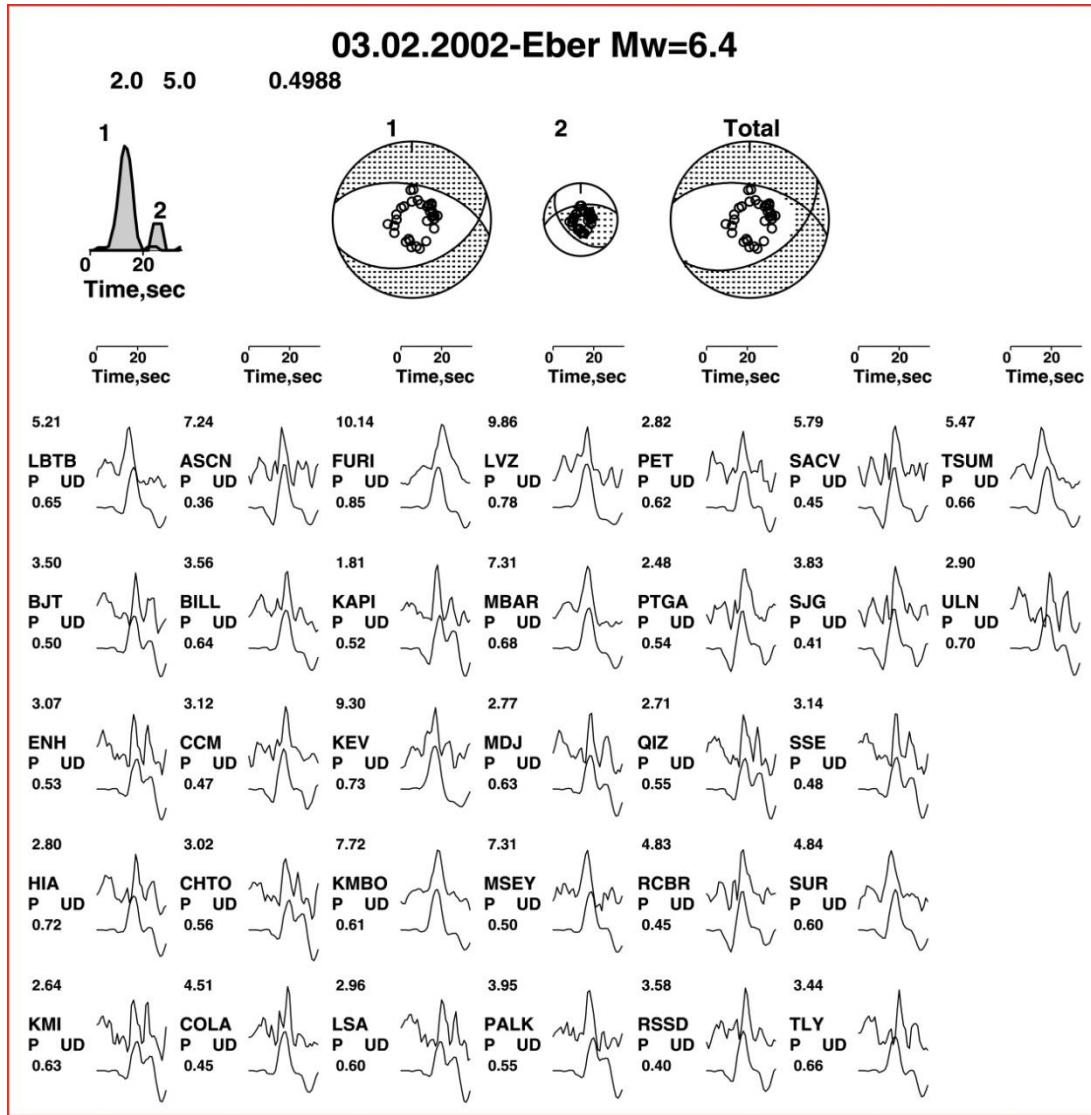
Şekil 3.3. 03 Şubat 2002 Çay-Eber depreminin nokta kaynak ters çözümünde kullanılan nokta kaynak grid düzlemi modeli. Referans noktası (RN) olarak seçilen nokta-kaynak kare içine alınmıştır. PS-1 ve PS-2 ile etiketlenen kırmızı daireler, ters çözüm sonucunda belirlenen nokta kaynakların konumlarını göstermektedir.

2002 Çay-Eber depreminin modellenmesinde ilk önce tek nokta-kaynak ile modellenmeye başlanmasına rağmen karmaşık gözlenmiş dalga şekillerine tatmin edici bir uyum sağlanamamıştır. Bunun üzerine iki nokta-kaynak ile ters çözüm yapılmış ve gözlenmiş dalga şekillerine yeterli sayılabilecek bir uyuma ulaşılmıştır. İki nokta-kaynaklı kırılma için elde edilen kaynak mekanizmaları, kaynak-zaman fonksiyonu ve yapay-gözlenmiş dalga şekli uyumu Şekil 3.4.'de gösterilmiş ve

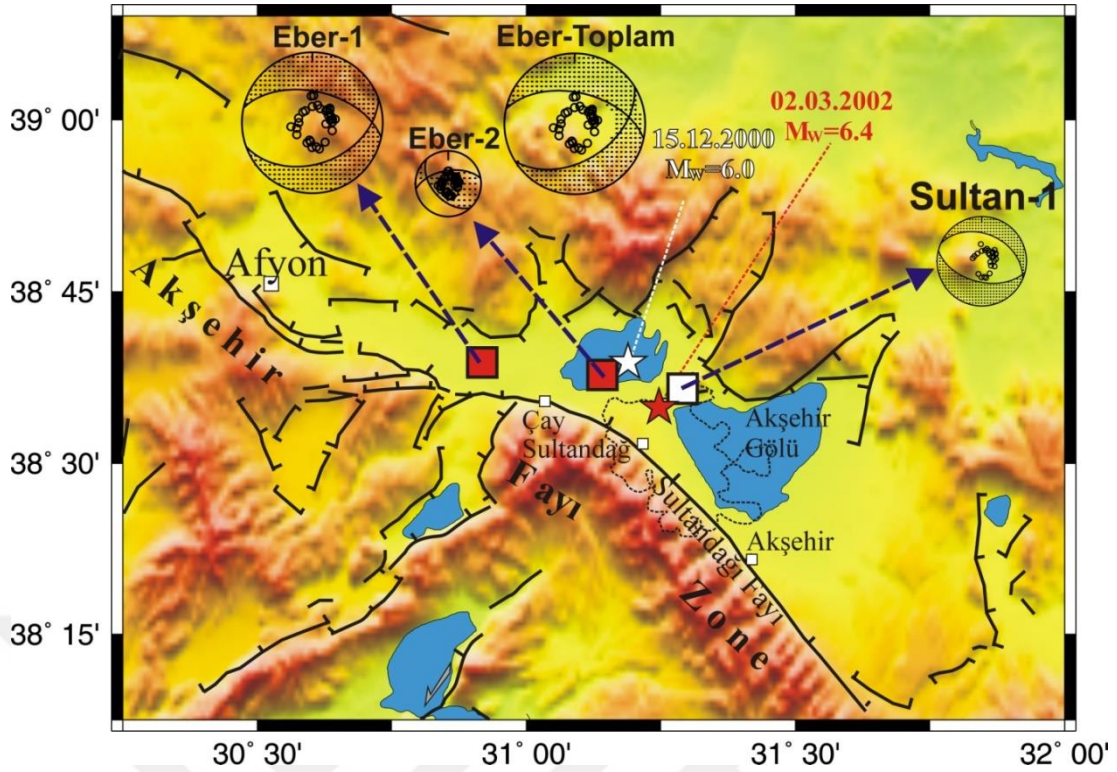
kaynak parametreleri Tablo 3.2.'de listelenmiştir. Elde edilen kaynak mekanizmaları toplamı önceki çalışmalardan elde edilmiş ve Tablo 1.2.'de listelenmiş çözümlerle uyum sergilemektedir. Deprem kırılmasını temsil eden nokta-kaynaklardan ilki 2.93×10^{25} dyne.cm sismik momenti ile odağın 24 km Kuzeybatısında ve 4 km derinlikte yerleşmiştir. Bu nota kaynak için hesaplanan doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 282° , 54° ve -70° 'dir ve esas kırılması kırılması yaklaşık 15 sn sürmüştür. Deprem kırılmasını temsil eden nokta-kaynaklardan ikincisi 0.52×10^{25} dyne.cm sismik momenti ile odağın 8 km Kuzeybatısında ve 16 km derinlikte yerleşmiştir. Bu nota kaynak için hesaplanan doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 261° , 57° ve 50° 'dir ve esas kırılması kırılması yaklaşık 8 sn sürmüştür. Bu iki nokta kaynağın bileşkesi doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 282° , 53° ve -60° olan bir faylanma önermektedir. Deprem sırasında serbestlenen sismik moment yaklaşık moment magnitudü $M_w=6.3$ olan bir deprem büyüklüğüne karşılık gelmektedir.

Tablo 3.2. Çalışmada 15 Aralık 2000 Sultandağ ve 03 Şubat 2002 Çay-Eber depremleri nokta kaynak ters çözümlerinden elde edilen kaynak parametreleri.

	15 Aralık 2000	03 Şubat 2002 Çay-Eber		
	Sultandağ	Kaynak 1	Kaynak 2	Toplam
Doğrultu (o)	294	282	261	282
Eğim (o)	38	54	57	53
Kayma Açısı (o)	-82	-70	50	-60
Derinlik (km)	9	4	16	-
Mo (x10 25dyne.cm)	1.11	2.93	0.52	-
Mw	6	6.3	6.3	6.3
Kırılma Süresi (sn)	10	15	8	-



Şekil 3.4.3 3 Şubat 2002 Çay-Eber depremi nokta-kaynak ters çözümü sonucunda elde edilen kaynak zaman fonksiyonu, varyans değeri ve kaynak mekanizmaları. Elde edilen çözüme karşılık gelen yapay sismogramlarla (alttaki dalgalar) ile gözlenmiş sismogramların (üstteki dalgalar) karşılaştırılması da gösterilmiştir. İstasyon isimleri ve sismogramların genlik oranları her bir sismogram çiftinin solunda verilmiştir.



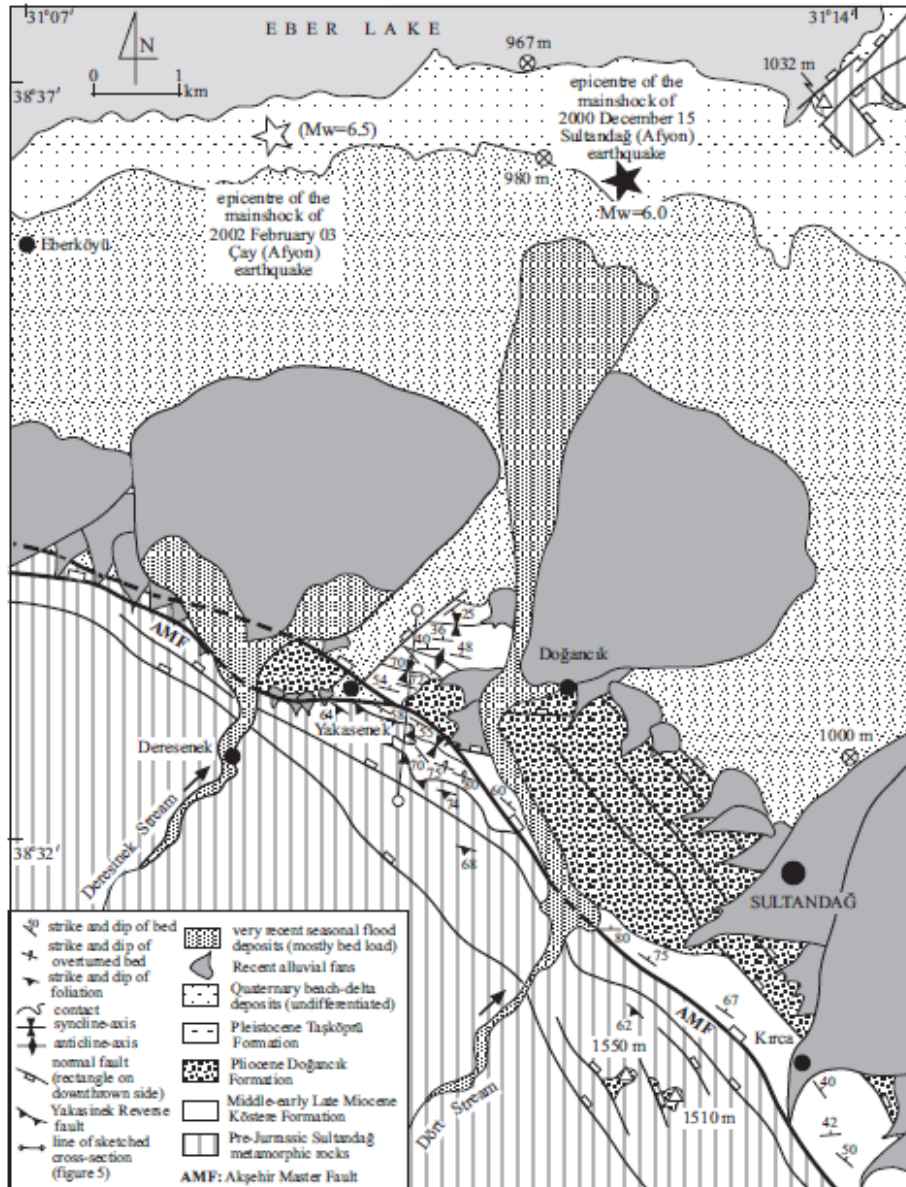
Şekil 3.5. 15 Aralık 2000 Sultandağ ve 03 Şubat 2002 Çay-Eber depremleri için yapılan telesismik ters çözümlerden elde edilen nokta kaynakların konumları. Beyaz yıldız ve kare 2000 Sultandağ depreminin ve kırmızı yıldız ve kareler 2002 Çay-Eber depreminin sırasıyla episantrlarını ve kaynak noktalarını göstermektedir.

3.3. Tartışmalar

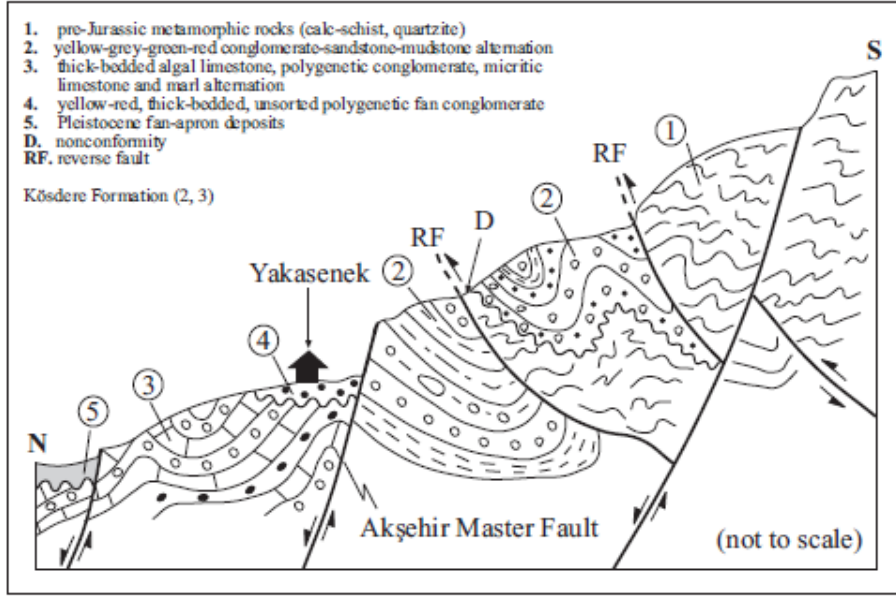
2000 Sultandağ depremi için bulunan çözüm Sultandağ Fayı'nın eğiminin Kuzeydoğu olduğu düşünüldüğünde KB-GD doğrultulu ve 38° KD eğimli bir düzlem üzerinde Güneydoğu doğrultusunda (episantrdan Akşehir Gölü'ne doğru) bir faylanma önermektedir (Şekil 3.5.). Ters çözümden elde edilen kayma açısı (-82°) düşünüldüğünde tamamen normal faylanma karakterli bir kırılma görülmektedir.

2002 Çay-Eber depremi ters çözümünden elde edilen nokta kaynaklardan büyük olanı Çay ilçesi batısında Sultandağ Fayı'nın doğrultusunun KB-GD doğrultusundan Doğu-Batı doğrultusuna değiştiği kısmında gerçekleşen bir kırılmaya işaret etmektedir (Şekil 3.5.). Bu kırılma 2002 Çay-Eber depreminin esas kırılmasını oluşturmaktadır ve küçük bir sol-yanal faylanma bileşeni içermektedir (kayma açısı -70° olarak hesaplanmıştır). Bu deprem için bulunan ikinci nokta kaynak Sultandağ Fayı'nın Çay ve Sultandağ ilçeleri arasında ilkinde göre çok daha küçük boyutlu bir kırılmaya işaret etmektedir. İlginç olan bu nokta kaynak için ters faylanma ağırlıklı bir faylanma önermesidir (kayma açısı 50° olarak hesaplanmıştır). Bu durum ilk

bakışta Sultandağ Fayı'nın normal faylanma karakteri ile uyumsuz gibi görülmektedir. Bununla birlikte Koçyiğit ve Özacar (2003) Çay ve Sultandağ ilçeleri arasında eski çökelleri kesen ters faylardan bahsetmektedir (Şekil 3.6.). İkinci nokta kaynağın konumu Koçyiğit ve Özacar (2003) tarafından Yakasenek Ters Fayı olarak isimlendirilen fazla uyuşmaktadır (Şekil 3.7.). Dolayısıyla belirlenen ikinci nokta kaynak için çalışmada belirlenen ters faylanma mekanizması arazi gözlemleri ile uyum sergilemektedir. Üstelik bu nokta kaynak için belirlenen sol-yanal faylanma bileşeni birinci kaynak için belirlenen doğrultu atım bileşeni ile de örtüşmektedir.



Şekil 3.6. Sultandağ ve Çay ilçeleri arasında Sultandağ Fayı'nın jeoloji haritası (Koçyiğit ve Özacar, (2003)'den alınmıştır).



Şekil 3.7. Sultandağ ve Çay ilçeleri arasında Sultandağ Fayı'nın jeoloji haritasından alınan jeolojik kesit (Koçyiğit ve Özacar, (2003)'den alınmıştır).



4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 15 Aralık 2000 Sultandağ ve 03 Şubat 2002 Çay-Eber depremlerinin nokta-kaynak ters çözümleri telesismik uzaklıklarda kayıt edilmiş geniş-bant P dalga şekilleri kullanılarak incelenmiştir. Nokta-kaynak ters çözümü için Kanamori ve Kikuchi (1982, 1991) geliştirilen yöntemden yararlanılmıştır. Yapılan ters çözümler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 2000 Sultandağ depremi dalga şekilleri tek nokta-kaynakla modellenebilmiştir. Bu nokta-kaynağın deprem odağının 6 km Güneydoğusunda 9 km derinlikte yer aldığı, esas kırılmasının yaklaşık 10 sn sürdüğü ve 1.11×10^{25} dyne.cm sismik momente sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sismik moment depremin yaklaşık $M_w=6.0$ büyüklüğünde olduğunu önermektedir. Nokta-kaynak için hesaplanan doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 294° , 38° ve -82° 'dir.
- 2002 Çay-Eber depremi dalga şekilleri ilk tek nokta-kaynak sonra bunun üzerine iki nokta-kaynak ile modellenebilmiştir. İlk nokta kaynağın deprem odağının 24 km Kuzeybatısında ve 4 km derinlikte yer aldığı, esas kırılmasının yaklaşık 15 sn sürdüğü ve 2.93×10^{25} dyne.cm sismik momente sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nokta kaynak için hesaplanan doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 282° , 54° ve -70° 'dir. İkinci nokta-kaynağın deprem odağının 8 km Kuzeybatısında ve 16 km derinlikte yer aldığı, esas kırılmasının yaklaşık 8 sn sürdüğü ve 0.52×10^{25} dyne.cm sismik momente sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nokta-kaynak için hesaplanan doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 261° , 57° ve 50° 'dir. Bu sismik moment depremin yaklaşık $M_w=6.3$ büyüklüğünde olduğunu önermektedir. Bu iki nokta-kaynağın bileşkesi olarak hesaplanan doğrultu, eğim ve kayma açıları sırasıyla 282° , 53° ve -60° 'dir.
- 2000 Sultandağ depremi için bulunan çözüm Sultandağ Fayı'nın eğiminin Kuzeydoğu olduğu düşünüldüğünde KB-GD doğrultulu ve 38° KD eğimli bir

düzlem üzerinde depremin odağından Akşehir Gölü'ne doğru ilerleyen normal faylanma karakterli bir kırılma önermektedir.

- 2002 Çay-Eber depremi için bulunan çözümdeki nokta kaynaklardan büyük olanı Çay ilçesi batısında Sultandağ Fayı'nın doğrultusunun Doğu-Batı olduğu kısımda gerçekleşen bir kırılmaya işaret ederken küçük olanı Sultandağ Fayı'nın Çay ve Sultandağ ilçeleri arasındaki kısımda görece küçük boyutlu bir kırılmaya işaret etmektedir.

2002 Çay-Eber depremi ters çözümünden elde edilen ve ters faylanma ağırlıklı küçük nokta kaynağın önceki bir çalışmada haritalanmış ve Çay ve Sultandağ ilçeleri arasındaki eski çökelleri kesen ters faylarla konumca uyuşması ters çözümünden belirlenen ters faylanma karakterinin arazi gözlemleri ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Alptekin, Ö. Magnitude-frequency relationships and deformation release for the earthquakes in and around Turkey. Diss. Thesis for Promoting to Associate Professor Level. Karadeniz Technical University, 107 pp.(in Turkish), 1978.
- Budakoğlu, Emrah. "27 Haziran 1998 Adana (ME= 6.2) depreminin uzak alan kayıtlarından kırılma özelliklerinin incelenmesi." (2010).
- Carlos Mendoza, Stephen Hartzell, and Tony Monfret Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 2, pp. 269-283, April 1994.
- Eyidogan, H., J. Nabelek, and M. N. Toksoz. "The Gazli." USSR 19 (1984): 661-675.
- <https://www.haberturk.com/dunyanin-en-hizli-hareket-eden-faylarindan-biri-turkiyede-kuzey-anadolu-fay-hatti-hangi-il-ve-ilcelerden-geciyor-uzmanlardan-kritik-kaf-uyarisi-3573857/2> Erişim tarihi: 15.05.2024.
- İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 19, S. 1, SS. 101-112, Y. 2006.
- JACKSON, James; MCKENZIE, Dan. Active tectonics of the Alpine—Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. Geophysical Journal International, 1984, 77.1: 185-264.
- Jeffreys, H. and Bullen, K.E. (1958) Seismological Tables. Office of the British Association, Burlington House, London.
- Kikuchi, Masayuki, and Hiroo Kanamori. "Inversion of complex body waves." Bulletin of the Seismological Society of America 72.2 (1982): 491-506.
- Kikuchi, Masayuki, and Hiroo Kanamori. "Inversion of complex body waves-II." Physics of the earth and planetary interiors 43.3 (1986): 205-222.
- Kikuchi, Masayuki, and Hiroo Kanamori. "Inversion of complex body waves—III." Bulletin of the Seismological Society of America 81.6 (1991): 2335-2350.
- KOÇYİĞİT, ALİ and ÖZACAR, A. ARDA (2003) "Extensional Neotectonic Regime through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data," Turkish Journal of Earth Sciences: Vol. 12: No. 1, Article 5.
- Lay, Thorne, and Terry C. Wallace. *Modern global seismology*. Elsevier, 1995.
- Nalbant, Süleyman S., A. Aykut Barka, and Ömer Alptekin. "Failure stress change caused by the 1992 Erzincan earthquake (Ms= 6.8)." Geophysical research letters 23.13 (1996): 1561-1564.
- Pinar, Ali. "Rupture process and spectra of some major Turkish earthquakes and their seismotectonic implications." (1995).
- Roumelioti, Zafeiria, et al. "Source Process of Normal Earthquakes: the 3 February 2002, M6. 3 Afyon, Turkey and the 7 September 1999, M5. 9 Athens, Greece Earthquakes." (2004).

- Stein, R.S., Barka, A.A., Dieterich, J.H., 1997. Progressive failure of North Anatolian Fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, 128(3), 594-604
- Taymaz, T. and Tan, O., (2001). Source parameters of June 6, 2000 Orta-Çankırı (MW=6.0) and December 15, 2000 Sultandağ-Akşehir (MW=6.0) earthquakes obtained from inversion of teleseismic P and SH body waveforms. *Symposia on Seismotectonics of the North-Western Anatolia-Aegean and Recent Turkish Earthquakes*. İstanbul, Turkey: İstanbul Technical University, Extended Abstract book, p96-107.
- Thurber, C.H., 1983. Earthquake locations and three-dimensional crustal structure in Coyote Lake area, central California., *J. Geophys. Res.*, 88, 8226-8236.
- Tiryakioğlu, İbrahim, et al. "Sultandağı fayı batı kısmı fay aktivitelerinin multidisipliner çalışmalarla belirlenmesi." *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 7.1 (2015): 7-16.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Erken, A., Tuncay, E., Kumsar, H. and Kaya, Z., (2004). An overview of geotechnical aspects of the Çay-Eber (Turkey) earthquake, *Engineering Geology*, 73(1-2), 51-70.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ayan AĞAKİŞİZE

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2021, Hazar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Petrol Mühendisliği
- Yüksek lisans** : 2024, Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Jeofizik Mühendisliği