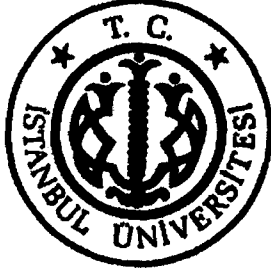


150756



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

150756

**DOĞU IRAK BÖLGESİNİN
DEPREMSELLİĞİ VE SİSMOTEKTONİĞİ**

**Nihat SADIK
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof. Dr. Ali PINAR**

Ocak 2004

İSTANBUL

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Bu çalışma, 15 Mart 2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeofizik Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Ali PINAR



Prof. Dr. İbrahim KARA



Prof. Dr. Ömer ALPTEKİN



Doç. Dr. Gündüz HORASAN



Yrd. Doç. Dr. Ali İsmet KANLI

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamaya başladığım günden bu yana karşılaştığım güçlükleri aşmamı sağlayan, çalışmalarımın her aşamasında tecrübesi ve bilgisi ile bana yol gösteren ve bu tezin oluşumunda en az benim kadar emeği olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali PINAR'A yürekten teşekkür ederim. Tez çalışma süresince Amerika'da ikamet eden ve Internet aracılığı ile bana desteklerini esirgemeyen jeofizik müh. Sayın Prof. Dr. Sahil A. ALSINAWI' YE, ve bana gönderdiği kaynaklardan dolayı sonsuz teşekkür ederim. Sadece tez çalışmamda değil, ders aşaması boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ve kendilerini tanımış olmaktan büyük mutluluk duyduğum değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR'e, Sayın Prof. Dr. Ömer ALPTEKİN'E, Sayın Yard. Doç. Dr. Fethi Ahmet YÜKSEL ve Sayın Yard. Doç. Dr. Ali İsmet KANLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezi hazırlama sırasında, yoğun çalışma dönemlerindeki sıkıntılarımı paylaşan ve beni her zaman destekleyen canım eşim Dina SADIK'A en derin sevgilerimle.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLO LİSTESİ.....	VI
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Bölgenin Konumu.....	1
1.2. Jeolojik ve Tektonik Olaylar.....	1
1.3. Sismisite ve Sismotektonik.....	3
1.4. Kabuk Çalışmaları.....	6
1.5. Jeotravers Araştırmaları.....	9
1.6. Sönümlenme (Attenuation) Çalışmaları.....	12
2. MATERYAL VE METOD.....	15
2.1. Bölgesel Gerilme Tensörü.....	15
2.1.1. Gerilme	15
2.1.2. Gerilme Tensör	15
2.1.3. Gerilme Bileşenleri.....	15
2.1.4. Odak Mekanizması ile Gerilme Alanı Arasındaki İlişki.....	17
2.1.5. Odak Mekanizmalarından Asal Gerilme Yönlerinin ve Fay Düzlemindeki Belirsizliğin Ayırımı	18
2.1.6. Gerilme Tensör Ters Çözüm Yöntemi	23
2.2. Sismik Moment Tensör.....	25
2.3. Irak'ta Deprem Tehlikesi.....	32
2.3.1. Irak'ın Eşşidet Haritası.....	32
2.3.2. Irak'ın Sismik Bölgelendirme Haritası.....	33
2.3.3. Irak'ın Sismik İndeksi	34

2.3.4.	Sismik Kaynak Modeli	35
2.3.5.	Irak İvme Haritası.....	37
2.3.6.	Sismik Dizayn Bölgeleendirme Haritası.....	37
3.	BULGULAR	39
3.1.	Doğu Irak için Bölgesel Gerilme Tensörü.....	39
3.2.	18 Aralık 1980 Depreminin Sismik Moment Tensör Çözümü.....	40
4.	SONUÇLAR	46
5.	KAYNAKLAR	48
	ÖZGEÇMİŞ	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Irak'ın konumu.....	2
Şekil 1.2. Arap yarımadasının jeodinamik durumu.....	3
Şekil 1.3. Irak'ın sismotektonik haritası.....	5
Şekil 1.4. Irak'taki sismoloji istasyonlarında BHD, MSL, SLY ve RTB en iyi uyan tek katlı transfer fonksiyon oranları.....	7
Şekil 1.5. Irak'taki deprem istasyonlarının altındaki kabuk yapısını gösteren panel Diyagram.....	8
Şekil 1.6. Irak'ın iki jeotravers profili.....	10
Şekil 1.7. Orta Irak'ta bir Doğu – Batı Jeotravers Profili.....	11
Şekil 1.8. Irak'taki KB–GD doğrultusunda kabuk modeli.....	12
Şekil 1.9. Türkiye ve İran'da oluşan yer sarsıntılarının Bağdat(BHD) ve Musul (MSL) 'daki sismolojik kayıt cihazlarınca kaydedilerek P-dalgasının sönümlenmesi.....	13
Şekil 1.10. BHD ve MSL istasyonları tarafından tespit edilen yer sarsıntısı-amplitüd (genlik) değerlerinin uzaklıkla azalım ilişkisi. Merkez üstü Türkiye ve İran olan depremler kullanılmıştır.....	14
Şekil 2.1.1. Gerilme tensör elipsi (İki boyutlu).....	15
Şekil 2.1.2. Gerilmenin üç eksenli dik koordinat sistemi üzerinde bileşenlerine ayrılması.....	16
Şekil 2.1.3. Asal gerilme yönleri ve odak mekanizması ile kurulmuş kartezyen koordinat sisteminin gösterildiği eşit-alan projeksiyonu.....	19
Şekil 2.1.4. Yatay ve düşey asal gerilme yönleri ile eşit alan ağı.....	22
Şekil 2.1.5. Asal gerilmeler ve farklı ideal fay tiplerinin yönelimleri arasındaki ilişki. a) En büyük basınç gerilmesi σ_1 'in düşey olduğu normal fay. b) En küçük basınç gerilmesi σ_3 'ün düşey olduğu ters fay. c) düşey σ_2 ile doğrultu atımlı fay.....	24
Şekil 2.2.1. Sismik moment tensörünü oluşturan dokuz kuvvet çifti.....	26

Şekil 2.2.2. Soldaki şekilde, serbest salınım analizlerinde r , θ , Φ , sırasıyla yukarı,doğuya ve batıya doğru hareket eden birim vektörlerinin ortaklaşa kullanımı gösterilmiştir.....	30
Şekil 2.2.3. 1989 yılı Loma Prieta depremi için Rayleigh dalgaları ve Love dalgalarından elde edilen azimutal genlik ve faz değişimleri.....	31
Şekil 2.3.1. Irak'ın tarihsel eşşiddet haritası.....	32
Şekil 2.3.2. Irak'ın sismik bölgelendirme haritası (1900 – 1988).....	34
Şekil 2.3.3. Irak'ın sismik indeks haritası.....	35
Şekil 2.3.4. Sismik kaynak haritası.....	36
Şekil 2.3.5. 100 Yıllık dönem için sismik ivme haritası.....	37
Şekil 2.3.6. Irak için sismik dizayn bölgelendirme haritası.....	38
Şekil 3.1. Doğu Irak bölgesinde 1977-2002 yılları arasında meydana gelen depremlerin yerlerini ve faylanma mekanizmaları gösterilmektedir. Sismik moment tensörler Harvard sismoloji grubu tarafından elde edilmiştir.....	42
Şekil 3.2. Şekil 3.1'de gösterilen ve Tablo 3.1'de verilen deprem kaynak parametreleri kullanılarak Doğu Irak bölgesi için elde edilen Gerilme Tensörü.....	44
Şekil 3.3. 18 Aralık 1980 Depreminin sismik moment tensör çözümü.....	45

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Irak için Gutenberg Richter parametreleri 1900-1988.....	5
Tablo 1.2. Irak için kabuk ve derinlik modeli.....	9
Tablo 2.1. Irak'taki hat ve alan kaynakları.....	36
Tablo 3.1. 1977-2002 yılları arasında Doğu Irak bölgesinde meydana gelen depremlerin ($M > 5.5$) kaynak parametreleri. Çözümler Harvard sismoloji merkezi tarafından yapılmıştır.....	41
Tablo 3.2. Tablo 3.1.'de verilen faylanma mekanizması parametreleri kullanarak hesaplanan P ve T eksenlerinin Azimut ve Dalım açıları. Faylanma tipleri de verilmektedir.....	44

ÖZET

Doğu Irak Bölgesinin Depremselliği ve Sismotektoniği

Arap alt kıtası levhası, son Kretase döneminden beri Avrasya, Afrika, Somali, İran, Anadolu ve Ege Levhalarıyla birlikte bir birlik halinde yer alarak kilometrelerce hareket etmiş olan, Yeryüzünün en büyük kitlelerinden biridir. Bu levha, Anadolu ve İran levhalarının altına girerek, bölgedeki Tethys denizinin tamamen kapandığı Tersiyer dönemde en üst noktasına varan ve Oligosen ile erken Pliyosen dönemlerine kadar devam eden Alp'in hareketinin bir parçası olarak Tethys jeosenklin kuşağını sıkıştırmıştır. Zağros kuşağı kuzeydoğu-Güneydoğu yönünde gelişirken Toros kuşağı Doğu-Batı yönünde gelişmiştir. Bu levhaların sınırları karmaşık olup buralarda meydana gelen sismik aktivite geniş bir zon içine yayılmıştır. Levha sınırlarını oluşturan kuvvetler hala aktiftirler.

Fay mekanizması çözümleri, Zağros-Toros kuşaklarının yapısal eğilimlerine paralel bir eğilim göstermiş olup, basınç eksenleri ana yapılaraya yaklaşık olarak diktirler. Kuzey merkez Irak'tan alınan mikro yer sarsıntısı kayıtları kullanılmak suretiyle bir bileşik (composite) fay düzlemi çözümü de yapılmış olup, sonuçlar literatürden derlenen verilerle uyumlu çıkmıştır.

Mevcut tüm sismik, tektonik ve jeolojik bilgiler kullanılmak suretiyle bir sismotektonik harita oluşturulmuştur. Harita, sismik aktivitelerin homojen olmayan dağılımını göstermektedir. Bu durum kuşak boyunca deformasyonun homojen olmadığını gösteriyor, ve dairesel hareketinden dolayı Arap Levhası kenarının geometrisinin değişimini yansıtır olabilir.

Irak'ın depremselliği ve sismotektoniği konusunda yapılan çalışmalar çok az sayıda olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında yukarıdaki bilgiler de derlenmiştir. Bu bilgilere ilaveten, Doğu Irak bölgesinde meydana gelen depremlerin faylanma mekanizmaları kullanarak Bölgesel Gerilme Tensörü belirlenmiştir. Bu çalışmada, faylanma mekanizmaları Harvard sismoloji grubu tarafından elde edilen ve 1977-2002 yılları arasında meydana gelen $M > 5.5$ depremlerini kapsamaktadır. Bölgesel gerilme tensörünün belirlenmesinde Gephart (1990) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda en büyük, σ_1 , ortanca, σ_2 , ve en küçük, σ_3 , gerilme eksenlerinin doğrultu ve eğimleri sırasıyla şu şekilde elde edilmiştir; 218, 20; 311, 10; 66, 68. En büyük ve ortanca gerilme eksenlerinin yataya yakın, en küçük gerilme ekseninin düşeye yakın olması bölgedeki tektonik rejimin sıkışma olduğunu göstermektedir.

Geçtiğimiz yüzyılda Irak topraklarında meydana gelen en büyük deprem 18 Aralık 1980 depremidir ($M_w=6.2$). Bu depremin telesismik uzaklıklardaki kayıtları Kikuchi ve Kanamori (1991) ters çözüm tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda depremin sismik momenti $M_0=1.8 \times 10^{25}$ dyn*cm olarak bulunmuştur. Bu depremle hareket eden fayın doğrultu, eğim ve atım yönleri sırasıyla 232, 89, 180 derece olarak bulunmuştur.

SUMMARY

Seismicity and Seismotectonics of Eastern Iraq

The Arabian subcontinent Plate is one of the Earth's largest blocks that has held together and moved many kilometers as a unit since the late Cretaceous experiencing relative transitional motion with respect to the Eurasian, African, Somalian Iranian, Anatolian, and Aegean Plates. This plate is subducted under the Anatolian and Iranian Plates Compressing the Tethys geosyncline belt as part of the Alpine movement which reached its climax in the Tertiary and continued until the Oligocene and early Pliocene, where the Tethys sea was completely closed in the region . The Zagros belt took a NE-SE trend, while the Taurus Belt took an E-W trend. These plate boundaries have complicated patterns and their associated seismicity is diffused without sharp borders. The forces that have formed the plate boundaries are still active.

Fault plane solutions gave a trend parallel to the structural trends of the Zagros-Taurus Belts and the pressure axes are approximately perpendicular to the major structures. A composite fault plane solution was also carried using microearthquake records from north central Iraq and the results were in conformity with the data collected from the literature.

A seismotectonic map is constructed using all the available seismic, tectonic and geological information . The map shows the non-homogeneous distribution of seismic activity. This may indicate deformation along the belt to be nonhomogeneous and also reflects the change of geometry of the Arabian Plate edge due to its rotational movement.

We found out that the studies related with the seismicity and seismotectonics of Iraq are very limited. Therefore, we have compiled above what is present in the literature. In addition, a Regional Stress Tensor have been determined using the focal mechanisms of events occurred in Eastern Iraq. The focal mechanisms of the earthquakes ($M > 5.5$) occurred between 1977-2002 years were retrieved by Harvard seismology group. We used the method developed by Gephart (1990) to determine the regional stress tensor. As a result we estimated that the strike and plunge of the maximum compressive axis, σ_1 , the intermediate compressive axis, σ_2 , and the minimum compressive axis, σ_3 , are 218, 20; 311, 10; 66, 68, respectively. The nearly horizontal orientation of the maximum and intermediate axes and the nearly vertical orientation of the minimum compressive axis suggest that the tectonic regime in the region is compression.

The largest earthquake that occurred last century in Iraq was the 18 December 1980 earthquake ($M_w=6.2$). The teleseismic records of this event were analysed using the inversion method of Kikuchi ve Kanamori (1991). We estimated that the scalar seismic moment of this event is $M_0=1.8 \times 10^{25}$ dyn*cm; and, the kinematic parameters of the fault that moved with this earthquake were strike 232 degree, dip 89 degree, and rake 180 degree.

1. GİRİŞ

1.1. BÖLGENİN KONUMU

Irak'ın yerölçümü 4444.500 km² dir. Irak'ın uzunluğu kuzeyden güneye 1000 km dir. En geniş bölgesinde eni ise 750 km dir. Irak 38-48 doğu enlemleri ile 29-37 kuzey boylamları arasında yer almaktadır.

Irak'ın topoğrafyası dört farklı yöreden oluşur. Kuzeydoğu'da yüksek dağlar bulunmakta olup Türkiye sınırları yakınında 2135m (7000 feet) yükseklikte iken, İran sınırları yakınında 3728m (12230 feet)'e yükselir. Orta bölgede Dicle ve Fırat nehirleri arasına düz ve çok verimli bir ikinci yöre bulunmaktadır. Güneydoğu'da ise Fars körfezi yakınında alçak yatış alanı ve orada bataklık, göl ve sazlık kanalları bulunmakta olup bölgenin üçüncü yöresidir. Fırat nehrinin batı kısmında ise çöl bölgesi bulunup, Irak'ın toplam alanının %35'ini kapsamaktadır, Şekil 1.1.

1.2. JEOLJİK VE TEKTONİK OLAYLAR

Arap yarımadası platosu dünyanın en büyük bloklarından biri olup kretase zamanın sonundan beri yanal olarak Avrasya, Afrika, Somali, İran, Anadolu ve Ege göreceli hareketini bir bütün olarak kilometrelerce sürdürmektedir. Arap platformu, kristalin taban üzerinde yer alan Paleozoik yaşlı intrakratonik havzalardan oluşmaktadır. Bu Paleozoik havzalar Neo-Tethis Okyanusuna yakın son Permian ve İlk Triassic açılmalarının ve pasif olarak kendi sınırlarının genişlemesi neticesinde oluşmuştur. Arap platosunun tektonik oluşumu bize bu platonun hemen aktif levha sınırlarıyla çevrili olduğunu göstermektedir. Batı sınırı sol-yönlü doğrultu-atımlı olan Ölü deniz fayı oluşturmaktadır. Bu fay güneyde Akabe Körfezinden başlar ve kuzeyde Kıbrıs dalma-batma zonunu, Bitlis bindirme kuşağı ve Ölü Deniz fayının oluşturduğu üçlü eklem bölgesine kadar uzanmaktadır.

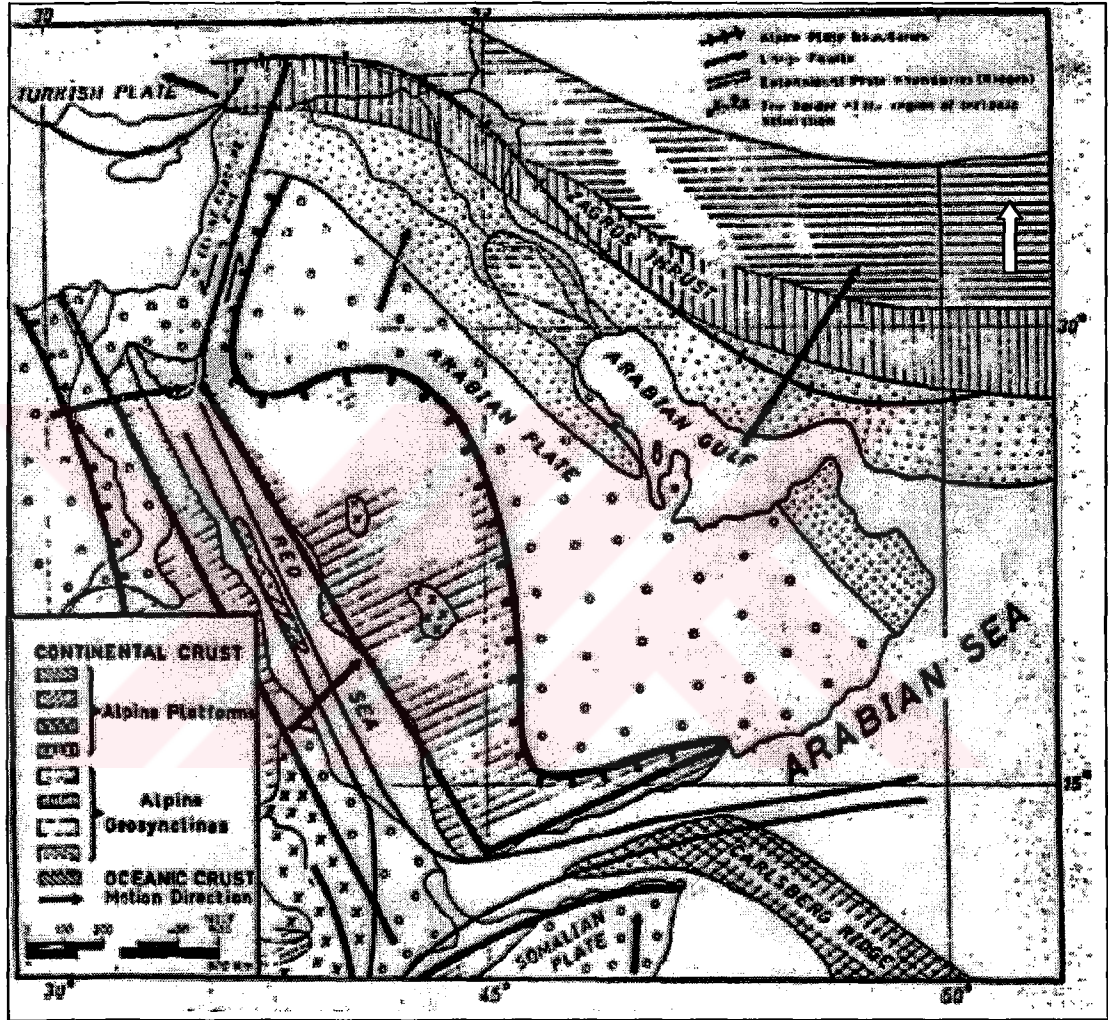


Şekil 1.1. Irak'ın konumu

Arap yarımada platosu, Anadolu ve İran platolarının altına dalar ve Alp orojenik hareketinin bir parçası olarak Tethis jeosenklinal kuşağını iterek Tethis Denizinin bölge içinde tamamen kapanmış olduğu yerlerde Tertiary de en yüksek noktasına erişerek Oligosen ve ilk Pliocene kadar bu şekilde devam etmektedir.

Zagros dağları Alp-Himalaya orojenik sisteminin bir parçası olarak üç yapısal bölgeye bölünebilir; iç kristalin haldeki bindime yapan bölüm, üst üste binmiş haldeki kuşak kısmı, ve çoğu zaman Basitçe Katlanan Kuşak olarak adlandırılan kıvrımlaşma

bölgeleridir. Toros kuşağı D-B yönünde uzanmaktadır. Bu iki plato sınırları oldukça karmaşıktır ve buralardaki sismisite dar bir zon içinde olmayıp dağınıklık göstermektedir. Bu sınırları oluşturan kuvvetlerin hala aktif halde olduğuna inanılmaktadır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Arap yarımadasının jeodinamik durumu (Alsinawi & Ghalib, Alsinawi ve İssa, 1986)

1.3. SİSMİSİTE VE SİSMOTEKTONİK

Tektonik olarak Irak, Arap levhasının kuzeydoğu sınırlarındaki aktif sismik bölgede yer alır. Irak'ın Sismisite ve sismotektoniği Alsinawi & Ghalib (1975a) ve Alsinawi & İssa (1986)'da belgelenmiştir.

Sürekli deprem istasyonların çalışmadığı dönemde boşluğu dolduran mikro deprem etkinliği ile ilgili araştırmalar Irak'ta Alsinawi & Al Ridha (1986) tarafından yapılmıştır.

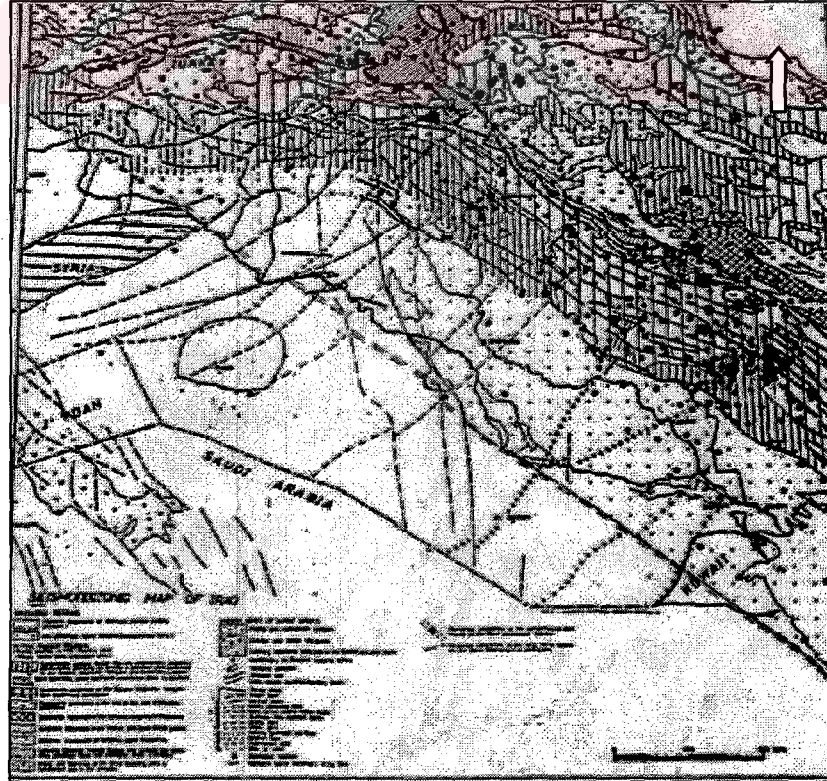
Irak depremleri orta ve sığ derinlikte meydana gelmektedir. Depremlerin %90'ının odak derinlik seviyesi 30-50 km ve 4-5 büyüklüğündedir. Depremlerin sadece %8 den daha azı 5.5'ten daha büyüktür. Sismisite, Zagros-Toros kuşaklarının aktivitesi ile kontrol edilmektedir. Sismisitinin uzay-zaman dağılımına bakıldığında üç safha dikkat çekmektedir: 1900-1930, 1930-1960 ve 1960-Günümüz etkinliği ifade eden bağlantı

$$\text{Log } N = 5.8 - 0.7 M' \text{ dir}$$

(1)

Irak'ın depremselliğinde başlıca rolü, Zagros-Toros bindirme kuşağı oynamakta ve kısmen de üst kabuğun neotektonik hareketinin etkisi vardır. Irak'ın sismisitisi hakkında daha fazla bilgi Alsinawi & Ghalib (1975), Alsinawi & Issa (1986) ve Alsinawi & Al qasrani (2003) tarafından verilmektedir.

Fay düzlemi çözümlerinden elde edilen doğrultular Zagros–Toros Kuşağına paralel ve basınç eksenleri de bu kuşağa diktir. Kompozit fay düzlemi çalışmalarından elde edilen sonuçlar literatürde veriler sonuçlar ile uyumludur (Alsinawi & Ghalib, Alsinawi ve İssa, 1986).



Şekil 1.3. Irak'ın sismotektonik yapısı (Alsinawi & Al ridha, 1988)

Buday ve diğ.(1987) , kuzeybatıdan güney batıya doğru aşağıdaki gibi uzanan 6 tektonik sınıflandırma önermiştir : Durağan Kaya , Mezopotamya Bölgesi , Basit Katlı Bölge , Bindirme bölge , İtilen ve Orta Irak Bölgesi . Bu tektonik altbölümler fay sistemleri ile sınıflandırılmıştır.

Depremlerin dağılımına bakıldığında 5,5 - 7,4 MB büyüklüğündeki olayların toplam olayların % 6,03 gerçekleşmesine karşılık , 4 - 4,5 MB büyüklüklerindeki olayların % 90,95 oranında oluştuğunu göstermektedir. Orta derinlik olarak 50 km derinlikteki olaylar % 75,75 ; 90 km üstünde odak derinliğe sahip olaylar toplam olayların % 2,61'i oranında gerçekleşir.

6 üzeri büyüklüğündeki beş olay belgelenmiştir, sadece bir olay MB=6.0 Irak bölgesinde 42,5 doğu boylam 35,9 kuzey enleminde gerçekleşmiştir. Olayların uzay ve zaman dağıtımına bağlı olarak 1900-1930,1931-1960,1961-1970,1971-1980 ve 1981-1988 olarak beş temel döneme ayrılması mümkündür.

Bütün dönemler için ve 5 ayrı dönemlere için elde edilen Gutenberg ve Richter bağıntısı Tablo 1.1. de verilmiştir. Bölge için bağıntı denklem (2) ile belirlenmiştir:

$$\text{Log } N = 6.85 - 0.89 m \quad (2)$$

(b) değeri ortadır ve Alpine Orogenic kuşağı (0.7-1.0) , Miyamura (1962) . (b) değerinin Irak, Türkiye ve İran'daki araştırmacılarla karşılaştırıldığında (b) değerinde -1,0 - 0,42 arasındaki farklılığın olduğu görülmektedir. Bu farklı coğrafik alanlara, toplanan verilerin türüne , araştırılan kayıt dönemine ve jeotektonik bölgelerdeki farklılığa bağlıdır .

Tablo 1.1. Irak için Gutenberg Richter parametreleri 1900-1988

Kayıt Tarihi	sabit (a)	sabit (b)
1900-1930	4,66	0,60
1931-1960	5,55	0,74
1961-1970	6,36	0,96
1971-1980	7,47	1,16
1981-1988	8,01	1,30
1900-1988	6,85	0,89

Şekil 1.3. deki Sismotektonik haritada mevcut bütün sismik, tektonik ve jeolojik bilgiler kullanılarak meydana getirilmiştir. Harita homojen olmayan sismik aktivitenin dağılımını göstermektedir. Harita, deformasyonun kuşak boyunca homojen olmadığını göstermekte ve dönme hareketinin bir sonucu olan Arap levhasının geometrisindeki değişimi de göstermektedir.

Mikro-deprem etkinliğinin izlenmesi çalışmaları Irak'ta daha önce hiç sabit sismik gözlem istasyonlarının olmadığı bir dönemde yapılmıştır. Bu çalışma, 1974-1982 yılları arasında, değişik fizyografik ve tektonik bölgeleri kapsayacak şekilde toplam 8550 saat (yaklaşık bir yıl toplamında) yapılmıştır. Mikrosismisite, güneybatı-kuzeydoğu yönündeki bir artışı göstermektedir. Mikrosismisitenin hızı yaklaşık günde 1.15 - 8 depremdir. Küçük ve büyük depremlerin düzeninde bir benzerlik olduğu bulunmuş, ancak bazı bölgelerde küçük farklılıklar da gözlenmiştir (Alsinawi & Al ridha, 1988).

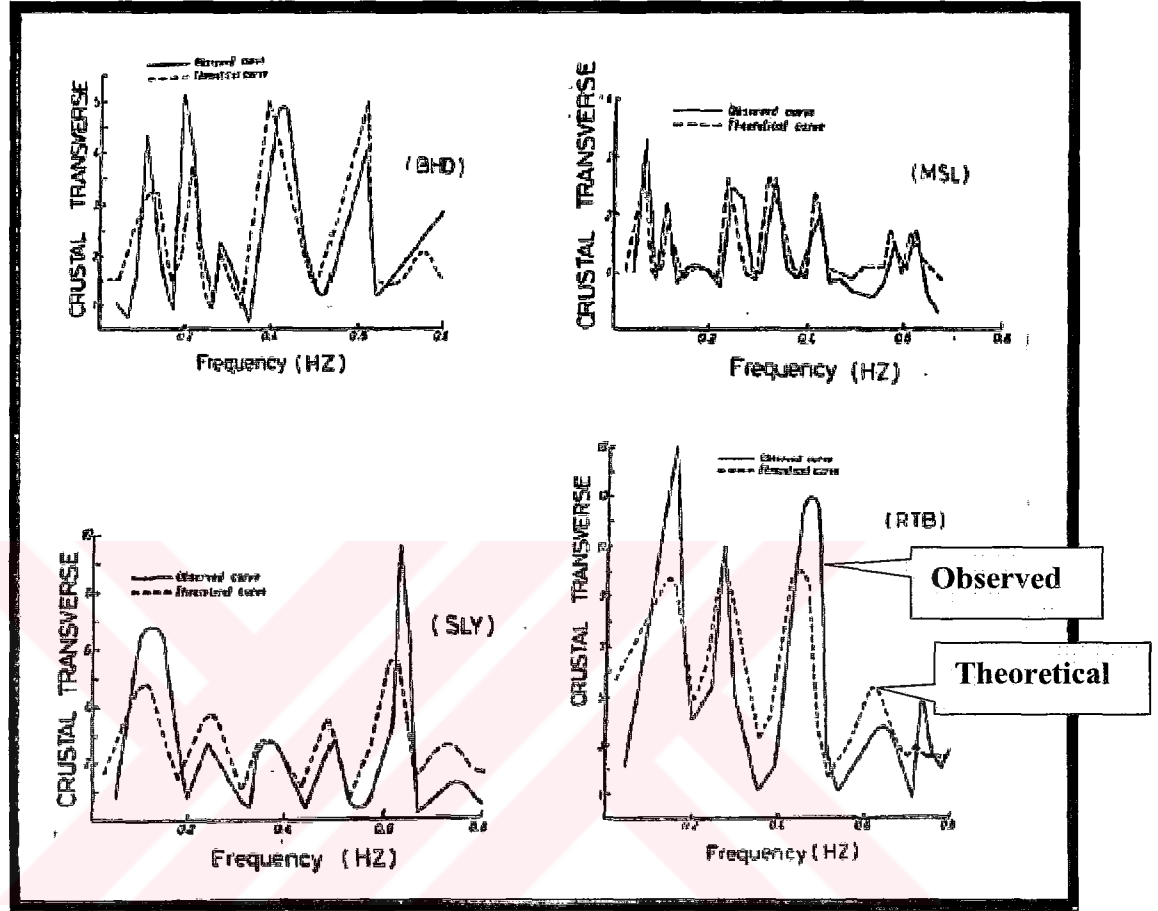
1.4. KABUK ÇALIŞMALARI

Irak'ta ki yer kabuğu hakkında inceleme ve bulgular potansiyel alandaki data'lara dayanılarak elde edildi. Ülkenin ortasında, batısında ve güneyindeki bölgelerinde yapılan araştırmalar sonucunda ortalama kabuk kalınlığı 30-38 km civarında değişen bir değer olarak bulundu (Alsinawi & Hassan, 1977; Alsinawi & Alrawi, 1978; Alsinawi & Al Banna, 1983). Dahgani & Markis (1984) İran'da yer kabuğunu incelemek üzere gravite data'larını kullandılar ve sonuçta Irak'ın yer kabuğu kalınlıklarını 26-55 km değerlerinde bulunmuş olup, Kuzeydoğu Irak'ta Süleymaniye bölgesinde kalınlığı 43 km değerlerinde tespit edilmiştir.

Diğer araştırmacılar, örneğin Knopoff ve Found (1975) sismik metodu kullanarak bu araştırmaları sürdürmüşlerdir. Bu araştırmacılar, Arap yarımadasının kuzeyinde yüzey dalgalarının dispersiyon özelliğini kullanarak 34 km kabuk kalınlığı bulmuşlardır. Patton (1980) da aynı şekilde yüzey dalga metodunu kullanarak ortalama 38 km. değer elde etmiştir. El Isa ve diğ. (1987) sismik yansıma data'sını kullanarak Ürdün'de ki yer kabuğu kalınlığını incelemiş ve neticede 32-35 km'lik bir kalınlık bulmuştur.

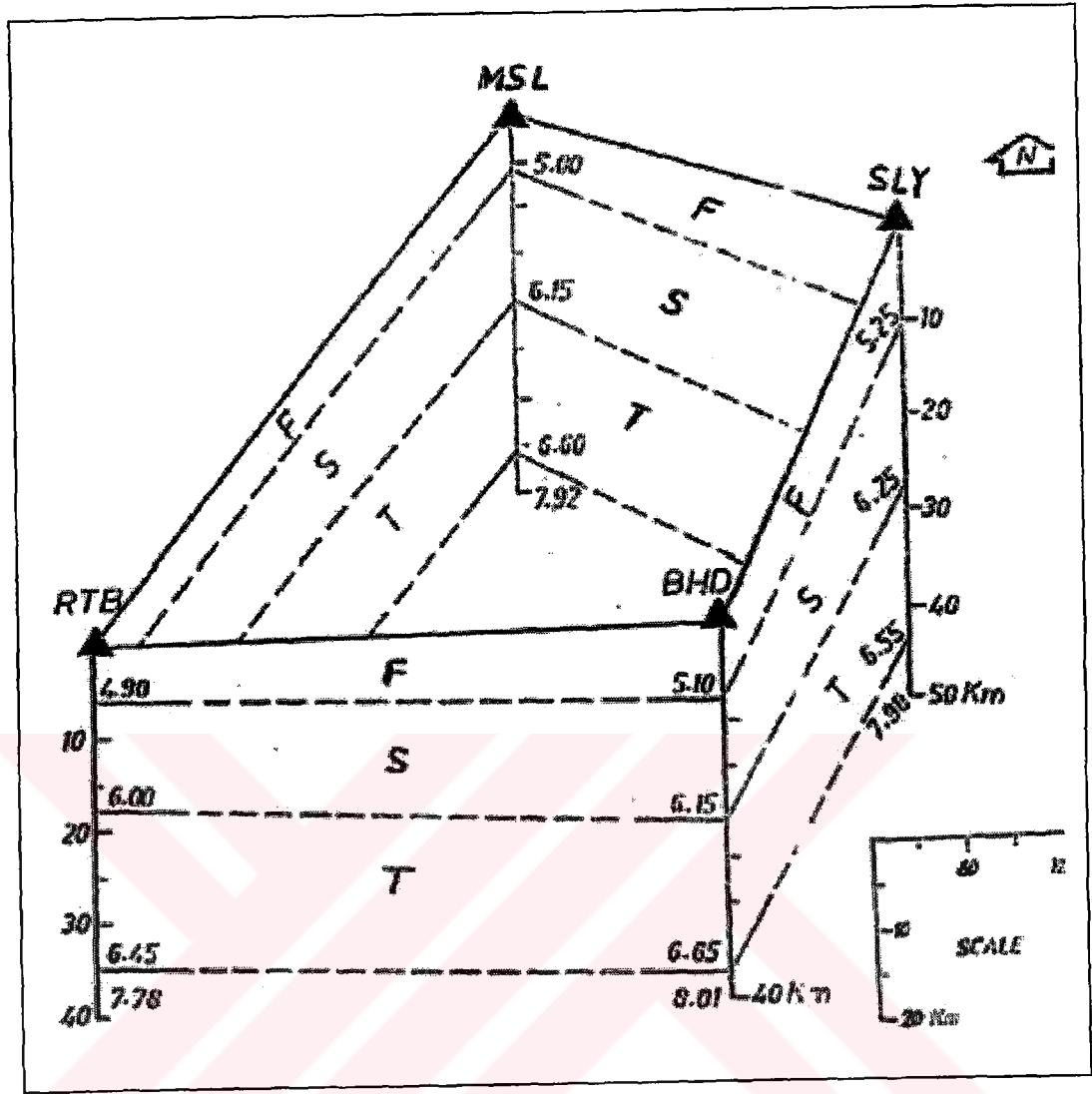
Episantr uzaklığı 30-100 derece olan 91 deprem verisi kullanılarak kabuk yapısı çalışması da yapılmıştır. Bu inceleme, Irak Sismoloji Networkuna (ISN) bağlı olan Bağdat (BHD), Musul (MSL), Süleymaniye (SLY) ve Rutba (RTB) 4 istasyon kullanılmıştır. Irak Sismik İstasyonlarının altındaki kabuk yapısının ortaya çıkarılması için telesismik cisim dalga şekilleri kullanılmıştır. Kabuk yapısını anlamak için kullanılan veri hem frekans hem de zaman ortamında modellenmiştir (Alsinawi & Al Heety, 1994). Bu işlem için onlar 4 değişik metot kullanmışlardır. (a) Bir tabakalı kabuk transfer fonksiyon modeli (b) Bir ve üç tabakalı modellerin spektral oran yöntemiyle araştırılması, (c) göreceli seyahat zamanları arasındaki farklar (d) (ISN) tarafından S-Sp zaman farkından alınan ve Sp/s amplitut oranlarından kaydedilen 3 olaydan uzun

periyotlu sismogramlarda M-dönüşmüş Sp fazları (safhaları) izlenmiştir. Şekil 1.4. bir ISN istasyonunun altındaki en iyi uyan bir tabakalı modelin örneğini göstermektedir.



Şekil 1.4. Irak'taki sismoloji istasyonlarında BHD, MSL, SLY & RTB en iyi uyan tek katlı transfer fonksiyon oranları (Alsinawi & Al Heety, 1994).

Gravite çalışmaları ile orantılı olarak, yer kabuğunun kalınlığı Zagros yükselme bölgesine doğru artma eğiliminde olduğu bulunmuştur. Elde edilen neticelerde zaten bölgesel kalınlık değerleri ile tutarlılık arz etmektedir. Şekil 1.5. bir panel diyagram olup Irak'taki kabuk değerlerini ve sismik P dalgasını göstermektedir. Kabuk değerleri Bağdat bölgesinde 38 km (V_c 6.3 km/san) olarak, Rutba'da 35-35 km (V_c 5.9 km/san, V_m 8.2 km/san), Musul'da 31-34 km (V_c 6.0 km/san, V_m 8.3 km/san ve Süleymaniye'de 41-43 km (V_c 6.1 km/san, V_m 8.0 km/san. olarak değişmektedir. Tablo 1.2. Irak için kabuk yapısı ve derinlik modelidir (Alsinawi & Al Heety 1994).



Şekil 1.5. Irak'ta deprem istasyonlarının altındaki kabuk yapısını gösteren panel diyagram (Alsinawi & Al Heety, 1994).

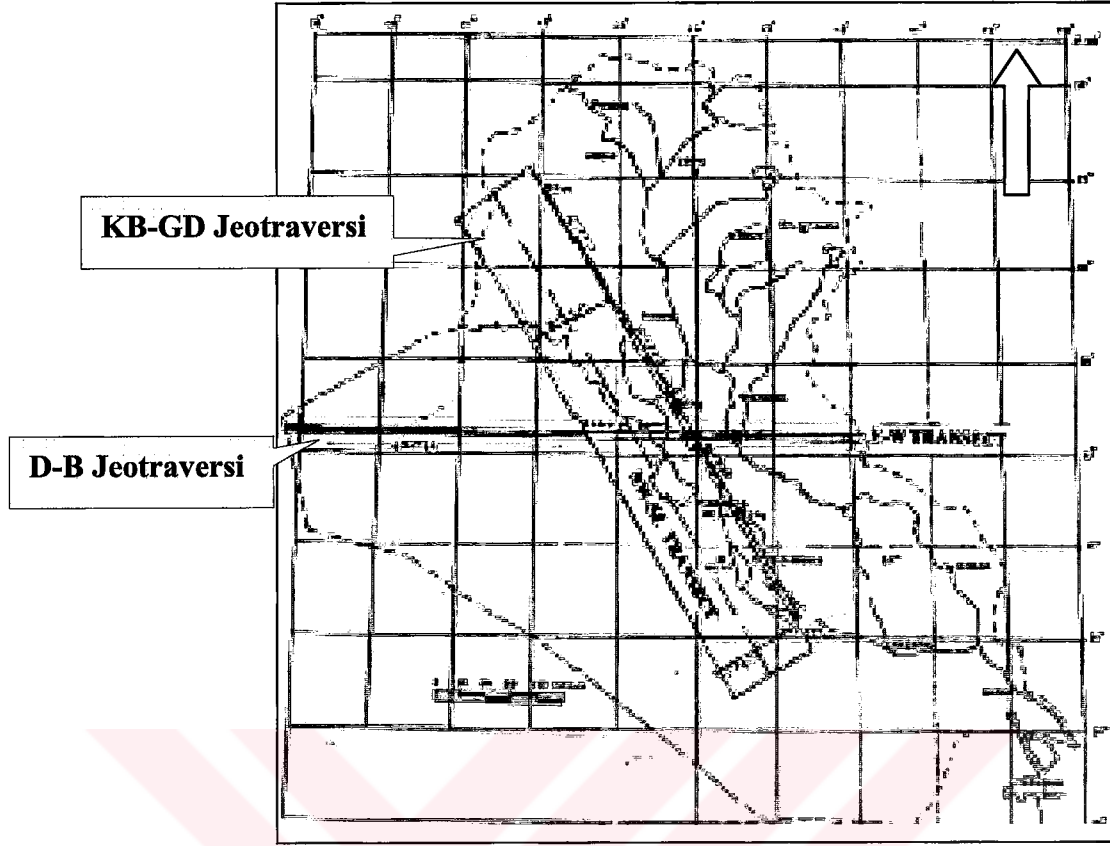
IRAQI SEISMOLOGICAL STATIONS (ISN)	Seismic Velocity VP km/sec	Seismic Velocity Vs Km/sec	Density gm/cubiccm	Depth (H) Kms
Baghdad (BHD)	5.2 6.2 6.7 7.9	3.0 3.6 3.9 4.7	2.52 2.71 2.84 3.20	8 13 17 -
Mosul (MSL)	5.0 6.2 6.6 7.9	2.9 3.6 3.8 4.8	2.49 2.71 2.81 3.22	5 13 17 -
Rutba (RTB)	4.9 5.9 6.4 7.8	2.8 3.4 3.7 4.7	2.48 2.65 2.77 3.17	5 12 17 -
Sulaimaniyah(SLM)	5.2 6.3 6.7 7.8	3.0 3.6 3.7 4.7	2.52 2.74 2.84 3.17	10 16 17 -

Tablo 1.2. Irak için kabuk ve derinlik modeli (Alsinawi & Al Heety, 1994).

1.5. JEOTRAVERS ARAŞTIRMALARI

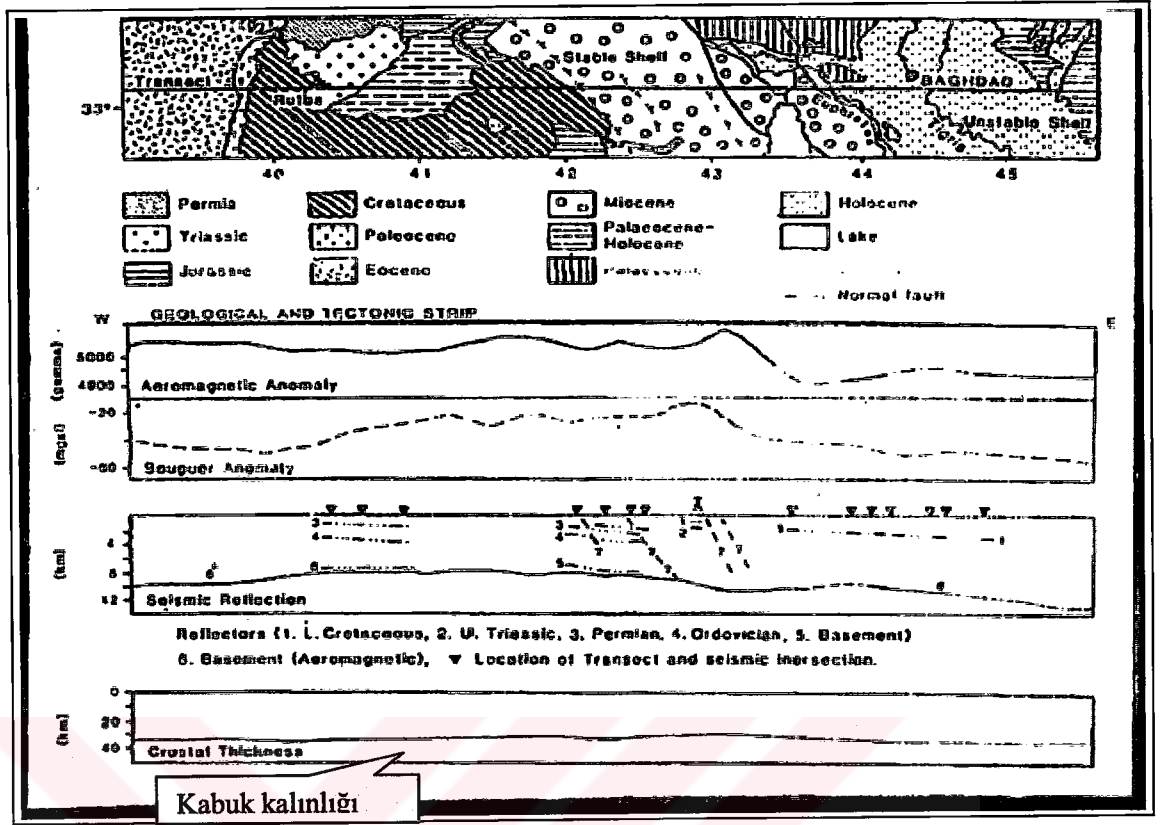
Irak'ta Şekil 1.6. da, görüldüğü şekilde 2 jeotrovers projesi gerçekleştirilmiştir. İlki bir DB jeotrovers projesi olup 650 km uzunluğunda idi ve Bağdat'ı geçerek Ürdün'den İran hududuna kadar uzanıyordu. Jeotrovers boyunca yer kabuğu kalınlığı 31-37 km aşağı yukarı 34 km ortalamayla bulunmuştur. Jeolojik ve Tektonik datalar jeotrovers boyunca mevcut olan Aeromanyetik ile mukayese edildiğinde, Bouguer gravite ve sismik yansıma datası Şekil 1.7. da gösterildiği gibidir, (Alsinawi & Al Banna, 1990).

İkinci jeotrovers profili 605 km uzunluğunda ve 100 km genişliğinde olmak üzere Suriye hududuna paralel Kuzey Batı – Güney Doğu istikameti trendinde (eğiliminde) idi. Bu ilk Irak'taki, Alsinawi, Al Rahim & Al Din (1995) bölgelerinde planlanan ilk GGT projesi idi.

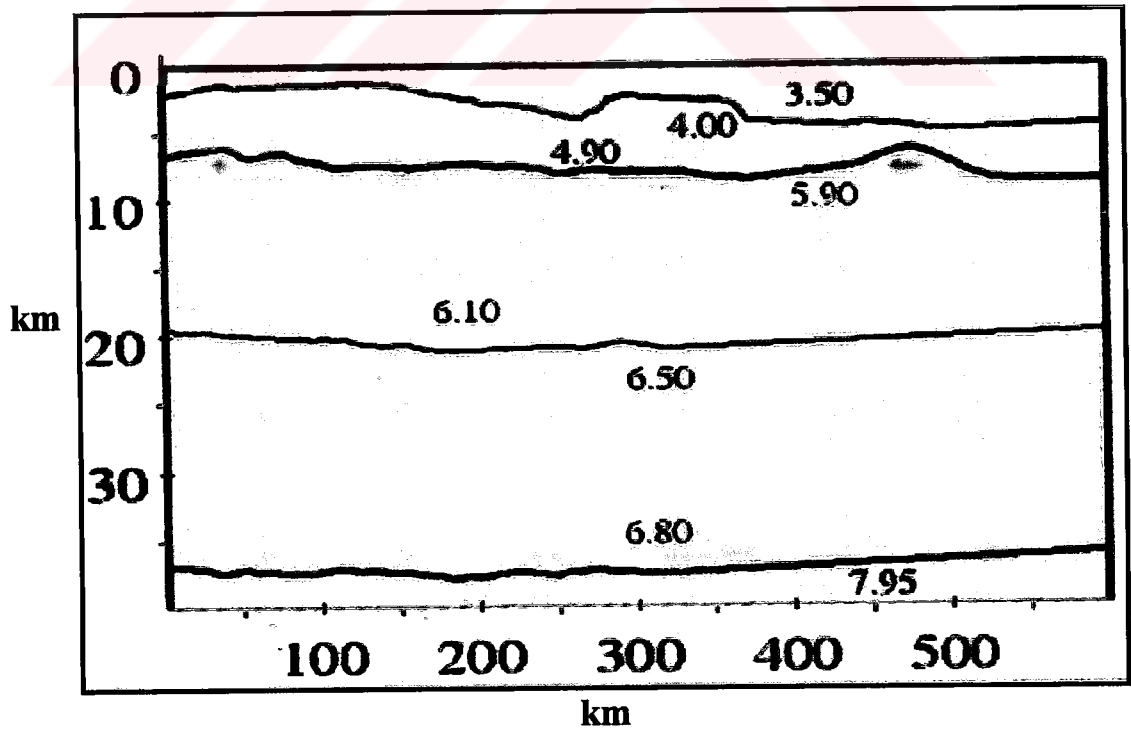


Şekil 1.6. Irak'ın iki jeotransvers profili (Alsinawi & Al Banna, 1990).

Önceki çalışmalara ait, yüzey ve yer altı verileri çeşitli kaynaklardan toplanarak incelenen bölgenin Irak Suriye hududundan başlayarak KB istikametinde GB daki Salman Depression bölgesine anlaşılabilir jeolojik kesitlere varacak şekilde toplandı. Çöküntülü tabakaların uzunluğu Al Jezira bölgesinde 6-7 km uzunluğunda yüksek sıcaklık gradientli ve pozitif yer çekimine sahip ve kanetik anormal sapmalar gösteren asitli bir tabana sahip olarak mevcut bulunmaktaydı. Bu Euphrates Fay sistemi ile Jeodinamik olarak ilgili bir durumdu. Bu çökeltili tabakaların kalınlığı altı ile yedi kilometre aralığında idi. Moho V_c 6.8 km/san, V_m 7.95km/san civarında hesap edildi. Conrad süreksizliği V_c değişiklikleri 6,10 km/san ile 6,50 km/san arasında olmak üzere 20 km civarında bulunmaktadır. Doksanların başında hemen hemen bu görev tamamlanmıştır. Şekil 1.8.'deki örnek kuzeybatı-güneydoğu kabuk modelinin 1995 yılında Irak'ta ki çözümünü göstermektedir, Alsinawi, Al Rahim & Al Dia.



Şekil 1.7. Merkezi Irak'ta bir Doğu – Batı Jeotravers Profili (Alsinawi & Al Banna, 1990).



Şekil 1.8. Irak'taki bir KB–GD doğrultusunda kabuk modeli (Alsinawi, Al Rahim & Al Dia 1995).

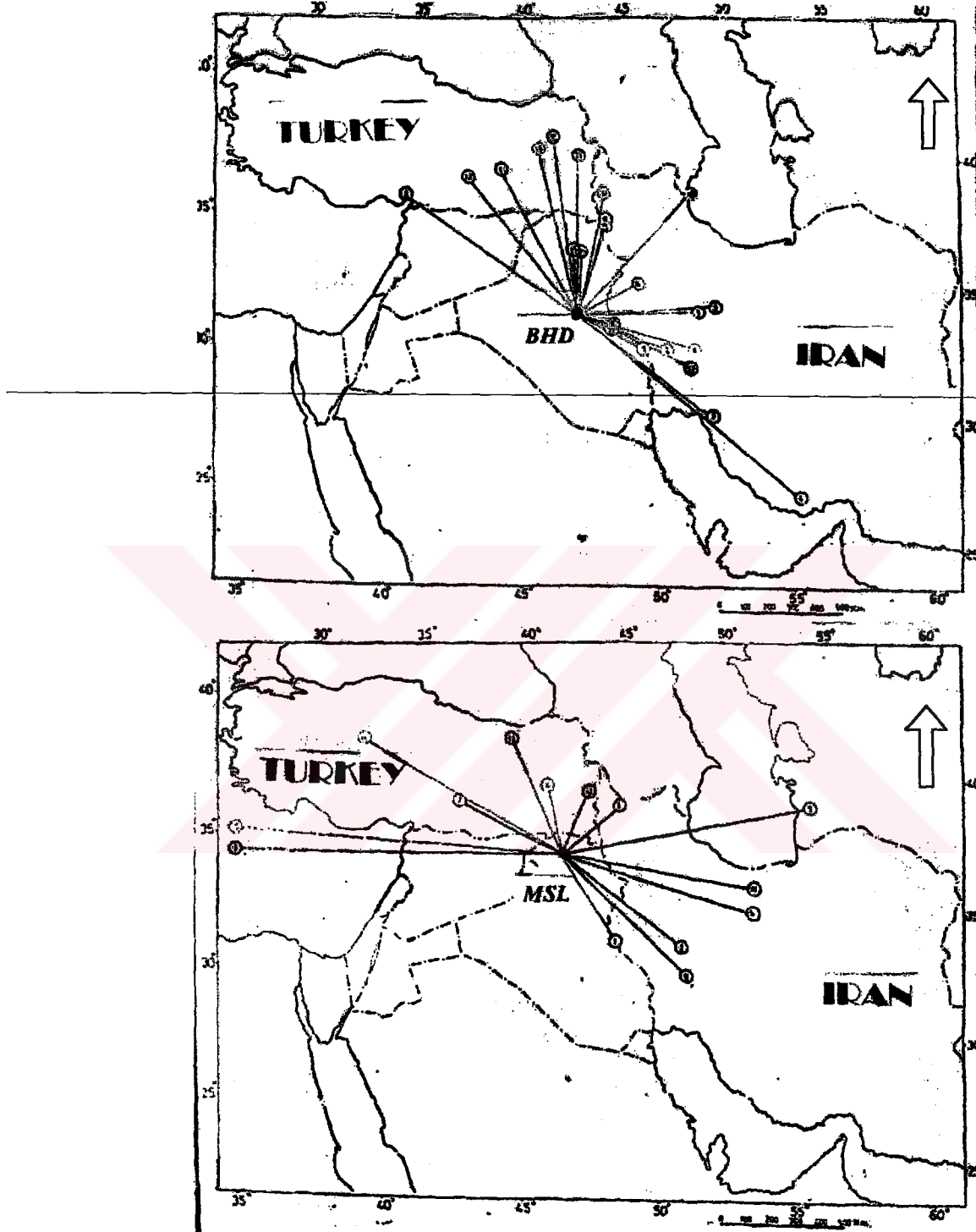
1.6. SÖNÜMLEME (ATTENUATION) ÇALIŞMALARI

Irak'taki sönümlenmenin anlaşılması için yeterli veri yoktur, hatta kuvvetli yer hareketi verisi hiç yoktur. Dolayısıyla sönümlenme ilişkileri hakkında bilgi yoktur. Sönümlenme ilişkilerini belirlemek oldukça güçtür çünkü etki eden birçok parametre vardır; kaynak mekanizması, dalgaların geometrik saçılması ve çeşitli sönümlenme mekanizması. Alsinawi & Al Tikriti (2000) tarafından yapılan çalışma bilinen tek bir çalışmadır ve aslında bu çalışma 80'li yılların sonlarında yapılmış ve Nuttli (1980)'le paralellik göstermektedir. Bundan başka tek bir basılı çalışmayı 1989'da Ahmi tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, Taktaq bölgesinde, Orta Kuzey Irak, arazide yapılan bir sismik eş şiddet haritası kullanılarak bu bölge için sönümlenme değerleri hesaplanmıştır.

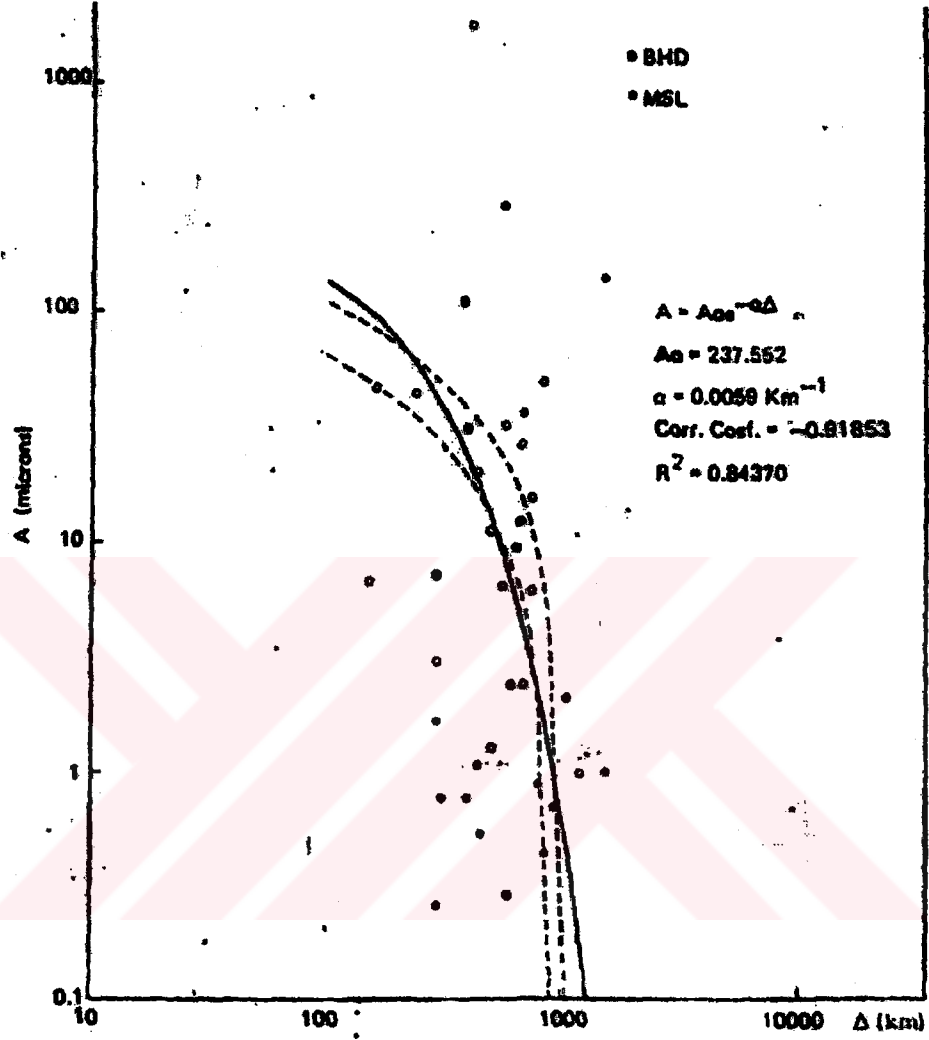
Komşu olan Türkiye ve İran'da oluşan yer sarsıntılarının Bağdat (BHD) ve Musul (MSL) daki sismolojik kayıt cihazlarınca kaydedilerek P-dalgasının sönümlenmesi incelenmiştir. Böyle tam otuz yedi olay seçilmiş ve bunların yirmi üçü (BHD) de ve on dördü ise (MSL) de kayıtçılarla tespit edilmiştir, Şekil 1.9. .

Depremlerin büyüklükleri ($m_b = 4.1-5.7$) ve dalgaların geçtiği yol Irak'ın Kuzey ve orta bölgelerini kapsamaktadır. Bu konuda yapılan araştırmada Nuttli (1980) amplitüd-uzaklık azalım eğrisi kullanılmış ve bölge için elde edilen azalım katsayısı $a=0.0035\text{km}^{-1}$ dir. İran için elde edilen azalım katsayısı $a = 0.0045 \text{ km}^{-1}$ dir Nuttli (1980).

Burada görülen fark değişik tektonik stabilite ile izah edilmektedir. Irak'ın doğu bölümlerindeki sönümlenme değerleri kuzeyindeki bölgelerden daha yüksek değerler taşımaktadır. Ortalama normal sönümlenme faktörü değeri iki istasyon tarafından kaydedilmiş olup Türkiye'de oluşan deprem olaylarından daha çok İran'da ki değerler daha yüksek tespit edilmiştir. Şekil 1.10. (BHD) ve (MSL) istasyonları tarafından tespit edilen yer sarsıntısı amplitüd (genlik) mesafe kıvrımı tespitleri epicenter (merkez üstü) Türkiye ve İran'da olan depremleri kapsamaktadır.



Şekil 1.9. Türkiye ve İran'da oluşan yer sarsıntılarının Bağdat (BHD) ve Musul (MSL)'daki sismolojik kayıt cihazlarınca kaydedilerek P-dalgasının sönümlenmesi (Alsinawi & Al Tikriti, 2000).



Şekil 1.10. BHD ve MSL istasyonları tarafından tespit edilen yer sarsıntısı-amplitüd (genlik) değerlerinin uzaklıkla azalış ilişkisi. Merkez üstü Türkiye ve İran olan depremler kullanılmıştır (Alsinawi & Al Tikriti, 2000).

2. MATERYEL VE METOT

2.1. GERİLME TENSÖR YÖNTEMİ

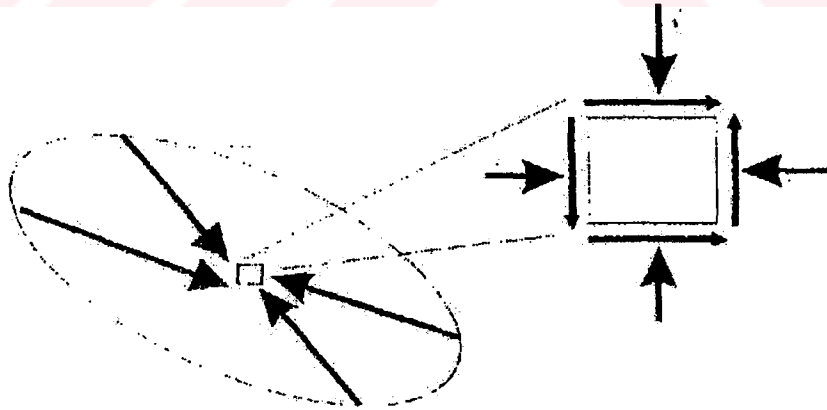
2.1.1. Gerilme

Dış kuvvetlerin etkisi altında dengede bulunan bir katı cismin içinde, bu kuvvetlere karşılık iç kuvvetler meydana gelir. Cismin bir kesitindeki kuvvetlerin sonsuz küçük bir yüzey parçasına oranı limit bir değere yaklaşır. Bu limit değere, cismin o noktasındaki gerilme (stress) adı verilir, diğer bir deyişle, yeterli derecede küçük bir yüzey parçası için, birim yüzeye isabet eden kuvvete gerilme denir.

2.1.2. Gerilme Tensör

Gerilme tensör, verilen bir noktada olası yönelim düzleminde yüzey geriliminin hesaplamasını sağlayan niceliktir.

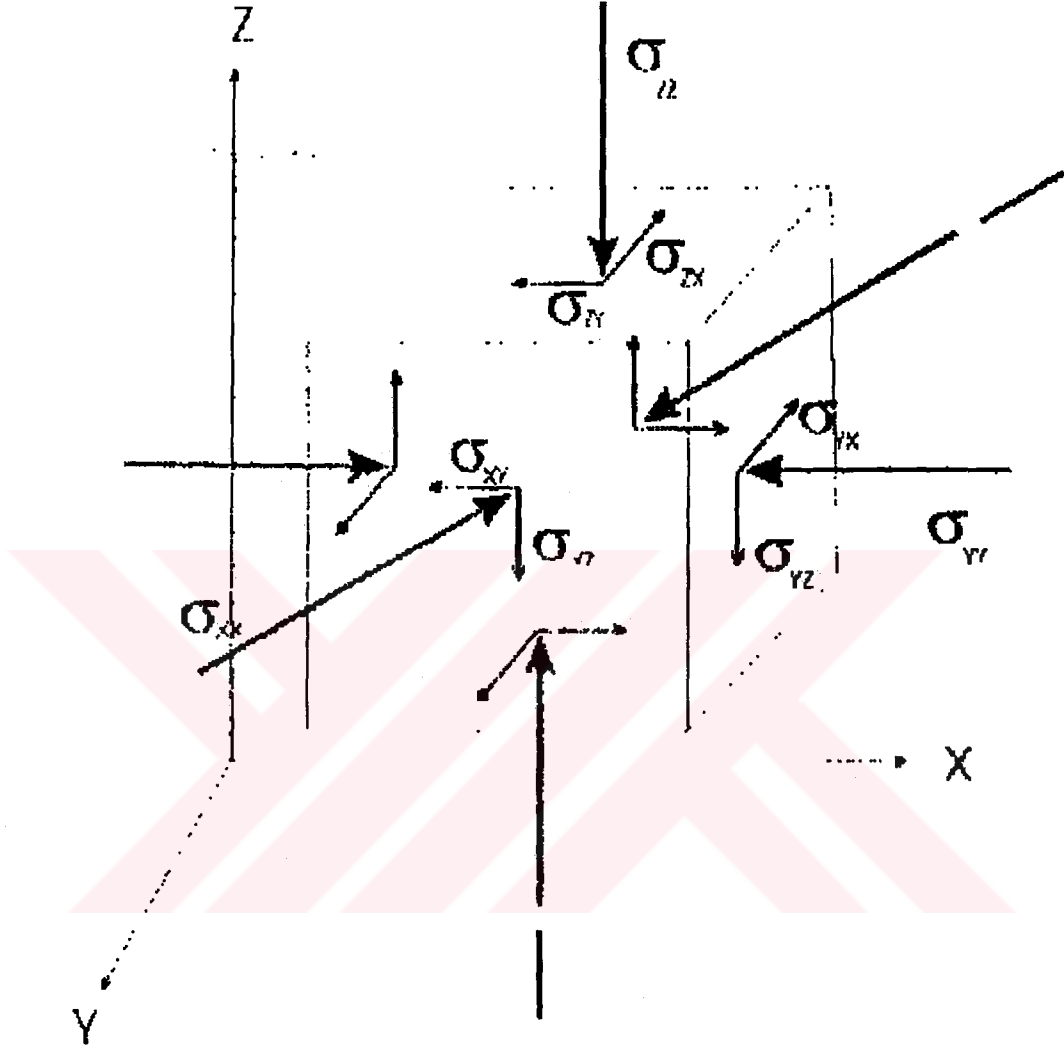
İki boyutta, bir noktadaki yüzeylerin tüm yönelimleri için ortak orijin yüzey gerilimlerinden çizilirse, iki boyutlu gerilim tensörün gösterimi olan bir elips ile tanımlanır (Şekil 2.1.1.).



Şekil 2.1.1. Gerilme tensör elipsi (İki boyutlu).

2.1.3. Gerilme Bileşenleri

Gerilmeyi matematiksel olarak inceleyebilmek için üç eksenli kartezyen koordinat sistemi üzerinde bileşenlerine ayırtmak yararlı olur.



Şekil 2.1.2. Gerilmenin üç eksenli dik koordinat sistemi üzerinde bileşenlerine ayrılması.

Gerilmenin üç eksenli dik koordinat sistemi üzerindeki bileşenleri Şekil 2.1.2.'de gösterilmiştir. Eksenler ile rasgele bir açı yapan herhangi bir yüzey üzerindeki gerilme dokuz bileşen ile tanımlanır. Şekil 2.2.'de gerilme için kullanılan ilk indis gerilmenin doğrultusunu, ikinci indis ise gerilmenin etkidiği yüzeyi belirtir. Gerilme tensör elemanları bir arada gösterilirse, (2.1.) bağıntısında görüldüğü gibi, esas diyagonalinde normal gerilme bileşenleri bulunan bir kare matris elde edilir.

$$\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{vmatrix} \quad (2.1.)$$

Bu kare matris esas diyagonaline göre simetriktir. Yani $\sigma_{xy} = -\sigma_{yx}$; $\sigma_{xz} = -\sigma_{zx}$; $\sigma_{yz} = -\sigma_{zy}$ şeklindedir. Bu durumda 9 yerine 6 bağımsız bileşenleri vardır. Üçlü kartezyen koordinat sisteminde x, y, z doğrultularındaki gerilme bileşenleri “asal gerilme bileşenleri (principle stress components)” olarak adlandırılır, σ_1 , σ_2 ve σ_3 rotasyonu ile gösterilir ve $\sigma_1 \rightarrow$ en büyük, $\sigma_2 \rightarrow$ orta, $\sigma_3 \rightarrow$ en küçük gerilme değerini gösterir.

2.1.4. Odak Mekanizması ile Gerilme Alanı Arasındaki İlişki

Ana eksen olarak gösterilen gerilme tensör (Σ);

$$\Sigma = \begin{vmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{vmatrix} \quad (2.2.)$$

olarak yazılabilir. Bu form, Euler açıları (ϕ, θ, γ) kullanılarak rotasyondan sonra coğrafi koordinatlardan (KG,DB,düşey) elde edilir.

$$\mathbf{n} = (1 \ m \ n)^T \quad (2.3.)$$

Fay düzlemi daima birim (2.3.) bağıntısı ile gösterildiği gibi normali ile tanımlanır.

Burada 1, m ve n gerilme eksenlerinin bileşenleridir. Fay düzlemindeki kayma vektörü, teğetsel gerilmeye paraleldir $\mathbf{s} = \Sigma \cdot \mathbf{n} - (\mathbf{n} \cdot \Sigma \cdot \mathbf{n}) \mathbf{n}$. Kayma boyunca bunun yerini tutan t birim vektörü,

$$\mathbf{t} = \frac{1}{\sqrt{K^2 - K^2}} \begin{bmatrix} -K1 \\ (1 - K)m \\ (R - K)n \end{bmatrix} \quad (2.4.)$$

$K = m^2 + n^2 R$, $K^2 = m^2 + n^2 R^2$ ve $\alpha = \frac{1}{\sqrt{K^2 - k^2}}$, tektonik gerilmenin biçim faktörü R 'nin fonksiyonlarıdır. R , göreceli gerilme büyüklüğünü tanımlayan skalar niceliktir.

İki kuvvet çifti nokta kaynağı için P- dalgası yayılma çiftinin teorik amplitüdü ,

$$A = 2 (\mathbf{r} \cdot \mathbf{n}) (\mathbf{r} \cdot \mathbf{t}) \quad (2.5.)$$

şeklinde tanımlanır. $\mathbf{r}$, kaynak gözlemci yönünde birim vektördür. Bu amplitüd, fay düzlemi ($\mathbf{n}$) yöneliminin ve gerilme tensörün biçimi ve yöneliminin fonksiyonudur.

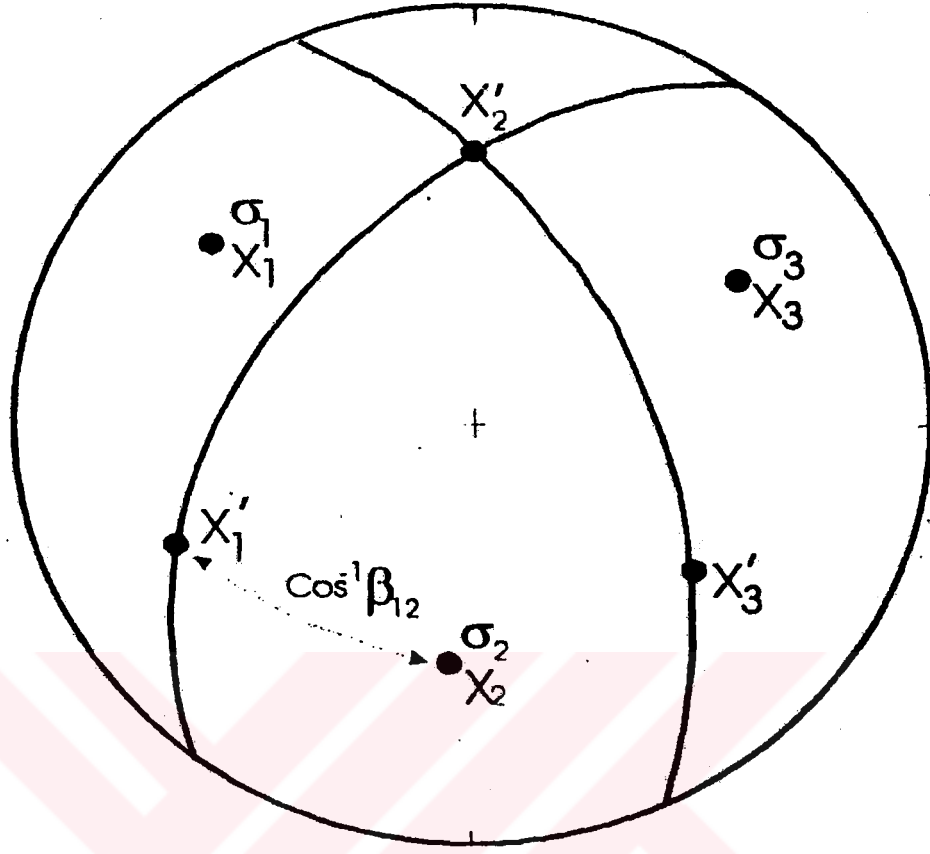
2.1.5. Odak Mekanizmalarından Asal Gerilme Yönlerinin ve Fay Düzlemindeki Belirsizliğin Ayırımı

Pek çok durumda, odak mekanizması çözümlerinden iki düğüm düzleminin arasından fay düzlemini güvenli bir şekilde ayırmak zordur. Fay düzleminin seçimi, yerinde yapılan incelemelerden veya düğüm düzlemlerinden biri boyunca artçıların diziliminden yapılabilir.

Odak mekanizmalarından bölgesel gerilmenin tayininde, P, B ve T eksenlerinin σ_1 , σ_2 ve σ_3 yönleri ile uyumlu olduğu farz edilir. Bu seçim fay düzleminin tayininde istemediğinden dolayı kolaydır. Ancak, P- ve T- eksenlerinin asal gerilme ekseninden önemli derecede sapabilen asal yamulma (strain) yönlerini belirttiği tanımlanmıştır. Daha gerçekçi bir yaklaşım, gerilmelerin, fay düzleminde kararlı makaslama gerilmesi yönleri ile kayma yönünün uyumu gibi, herhangi bir yönelime (ve göreceli büyüklüğe) sahip olabileceğidir. Bu, kaymanın tüm üç asal gerilme eksenine oblik yönelimde zayıflık zonlarında meydana geldiği gerçeğini mümkün kılar.

σ_2 eksen, odak mekanizmasının B eksenine uyumlu olmadıkça, kararlı makaslama gerilmesi iki düğüm düzleminde sadece birisi için görünür kayma yönü ile uyumludur.

İki kartezyen koordinat sistemi Şekil 2.1.3.'te gösterilen odak mekanizması olarak kurulsun. x_1 ' ve x_3 ' düğüm düzleminin kutbuna, x_2 ', B eksenine paralel konulsun. Bu iki koordinat sistemi, görüldüğü gibi β_{ij} açısının kosinüsünün matrisi ile bağlantılı olabilir.



Şekil 2.1.3. Asal gerilme yönleri ve odak mekanizması ile kurulmuş kartezyen koordinat sisteminin gösterildiği eşit-alan projeksiyonu.

$$\sigma^1_{km} = \sigma_{ij} \beta_{ki} \beta_{mj} \quad (i,j,k,m = 1,2,3).$$

Makaslama gerilmesinin x_1' ve x_2' normalleri ile düzlemde kayma yönüne paralel olduğu şart,

$$\sigma^1_{12} = 0 = \sigma^1 \beta_{11} \beta_{21} + \sigma_2 \beta_{12} \beta_{22} + \sigma_3 \beta_{13} \beta_{23} \quad (2.6 a)$$

$$\sigma^1_{32} = 0 = \sigma^1 \beta_{31} \beta_{21} + \sigma_2 \beta_{32} \beta_{22} + \sigma_3 \beta_{33} \beta_{23} \quad (2.6 b)$$

ile verilir. σ_1 , σ_2 ve σ_3 asal gerilme büyüklükleridir. x_1' ve x_3' nün x_2' ne düşey olma şartı;

$$0 = \beta_{11} \beta_{21} + \beta_{12} \beta_{22} + \beta_{13} \beta_{23} \quad (2.7 a)$$

$$0 = \beta_{31} \beta_{21} + \beta_{32} \beta_{22} + \beta_{33} \beta_{23} \quad (2.7 b)$$

olarak açıklanır.

Bunlar (2.6)'da yerine konursa,

$$\frac{\beta_{13} \beta_{23}}{\beta_{12} \beta_{22}} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = R \quad (2.8 a)$$

$$\frac{\beta_{33} \beta_{23}}{\beta_{32} \beta_{22}} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = R \quad (2.8 b)$$

elde edilir. σ_2 orta asal eksen olarak tanımlandığı için, $0 \leq R \leq 1$ 'dir. (2.8 a) veya (2.8 b)'deki ilk terimin değeri 0 veya 1 arasına düşmezse, kayma, verilen asal gerilme yönü ile fay düzleminde gösterilen yönde meydana gelmez. Genel durumda, hiçbir yada fay düzlemlerinden sadece birisi bu kriteri gerçekler. (2.8 a) ve (2.8 b)'nin ilk terimleri eşit olduğunda, her iki düzlemin de kabul edilebilir olduğu özel durumları göz önünde tutmak yardımıyla bu gösterilmiştir. Bu, sadece

$$(a) \beta_{23} / \beta_{22} = 0, \text{ veya}$$

$$(b) \beta_{13} / \beta_{12} = \beta_{33} / \beta_{32}$$

olduğunda meydana gelir.

(a) durumu için, $\beta_{23} = 0$; bu x_2' nün σ_3 e eşit veya paralel, x_2' nün σ_1 ve σ_2 ile aynı düzlem üzerinde olmasını gerektirir. (2.8)'den $R = 0$ dır. Eğer iki düğüm düzlemi de kabul edilebilirse, σ_2 , σ_3 'e eşit olmak zorundadır.

$$(b) \text{ durumu için, } \beta_{12} \beta_{33} - \beta_{13} \beta_{32} = 0 \quad (2.9.)$$

Eğer (2.7 a) β_{33} , (2.7 b) β_{13} ile çarpılıp yerlerine konursa,

$$\beta_{21}(\beta_{11}\beta_{33} - \beta_{13}\beta_{31}) - \beta_{22}(\beta_{12}\beta_{33} - \beta_{13}\beta_{32}) = 0 \quad (2.10)$$

olur. Böylece ,

$$\frac{\beta_{21}}{\beta_{22}} = \frac{\beta_{12}\beta_{33} - \beta_{13}\beta_{32}}{\beta_{11}\beta_{33} - \beta_{13}\beta_{31}}$$

olur.

(2.10)'dan $\beta_{21} = 0$ dır. x_2' nün σ_1' e eşit veya paralel, x_2' , σ_2 ve σ_3 ile aynı düzlem üzerindedir. $\beta_{21} = 0$ (2.7 a) ve (2.7 b)'de yerine konarsa,

$$\frac{-\beta_{13}\beta_{23}}{\beta_{12}\beta_{22}} = \frac{-\beta_{33}\beta_{23}}{\beta_{32}\beta_{22}} = 1$$

elde edilir.

(2.8) bağıntısından dolayı bu, R' ye eşittir ve $\sigma_2 = \sigma_3$ olmalıdır. Eğer iki düzlemde kabul edilebilirse, gerime simetriktr. Dahası, gerilme simetrik değilse, iki düzlemde fay düzlemi olarak kabul edilemez.

$R = 0$ ve $R = 1$ olarak iki olası durum göz önüne alınsın. Burada, (2.8) bağıntısında açıklana iki şarttan (ya x_1' normali ile düzlem yada x_3' normali ile düzlem) sadece birini sağlaması denenmiştir.

$R = 0$ durumu için; β_{13} veya $\beta_{33} = 0$ olduğunda, sadece bir düğüm düzlemini sağlar. Bu durumda, x_1' veya x_3' σ_3' e düşeydir, düzlemdeki makaslama gerilmesi değişkendir, bu nedenle bu, fay düzlemi olarak kabul edilemez.

$R = 1$ durumu için, (2.8) bağıntısı, β_{11} veya $\beta_{31} = 0$ olduğunda, her düzlem için bağımsız olarak sağlanabilir. Bu, değişken makaslama gerilmesine sahip σ_1' in düşey olduğu

$$K_1 = \beta_{13} / \beta_{12}, \quad k_2 = \beta_{23} / \beta_{22} \quad \text{ve} \quad k_3 = \beta_{33} / \beta_{32}$$

parametreleri, (2.8) bağıntısındaki gibi iki düzlem için aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$R = -k_1 k_2 \quad \text{ve} \quad R = -k_3 k_2 .$$

Şekil 2.1.4.'teki büyük daire, k 'nın özel değerlerine uyan konturlardır. Hem k_1 hem de k_2 her iki düğüm düzlemi için $0 \leq R \leq 1$ şartının sağlanması amacıyla $k = 0$ ve $k = -1 / k_2$ arasına düşmelidir.

Kısaca, genel üç eksenli gerilme durumu için, B eksen σ_2 eksenine paralel olmadıkça, sadece iki düğüm düzleminde biri odak mekanizması tarafından gösterilen kayma yönü ile kesin olarak uyan makaslama gerilmesi yönüne sahiptir. B eksen σ_2 eksenine ile bağlanmışsa, makaslama gerilmesi ile kayma yönleri her zaman iki düğüm düzleminde kıyaslanır.

2.1.6. Gerilme Tensör Ters Çözüm Yöntemi

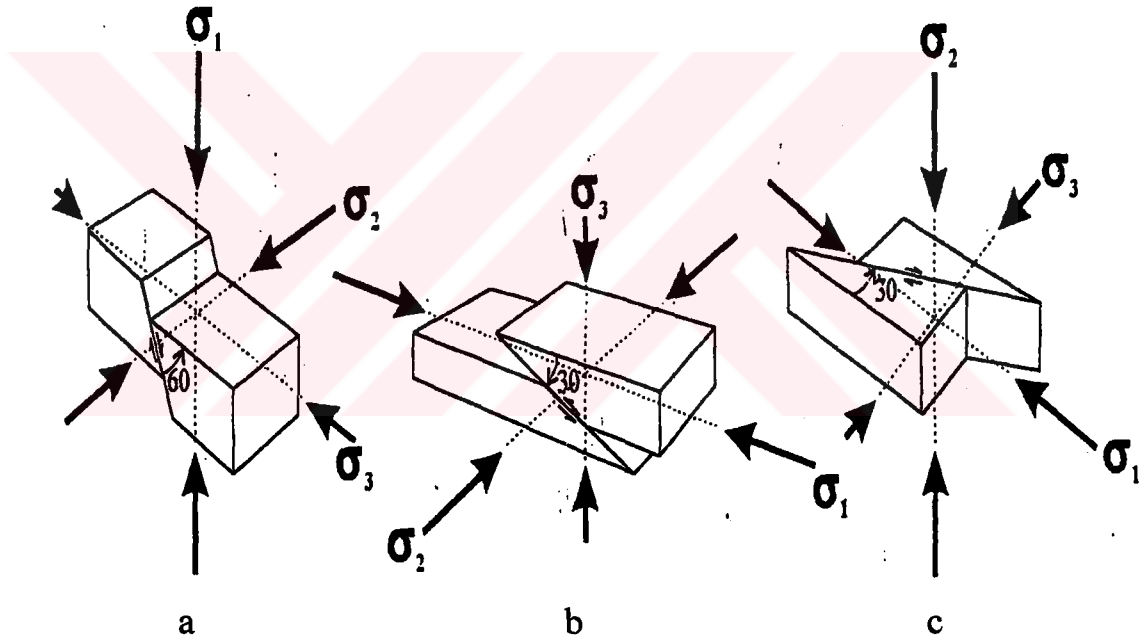
Kaymaya neden olan gerilme tensörü ile fay düzleminde kaymanın yönü arasındaki çalışmaların ardından pek çok araştırmacı fay düzlemlerinin popülasyonundan ve depremlerin odak mekanizmalarından bölgesel gerilmeyi açıklamaya çalışmışlardır.

Bu tez kapsamında, gerilme tensörünü hesaplamak için Gephart ve Forsyth, ve Gephart tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Kullanılan veriler, çeşitli kaynaklardan alınan fay düzlemi çözümlerinden belirlenen P (basınç) ve T (çekme) eksenlerinin yönelimleridir. Yöntemde:

1. Depremlerin olduğu gerilme alanında uzaysal ve zamansal değişim olmadığı;
2. Fay düzleminde ilgili kayma yönünün makaslama (shear) gerilme yönü olduğu;
3. Fay boyunca oluşan yer değiştirmenin gerilme rejimini etkilemediği, ve;
4. Yer değiştirmenin mevcut olan ön zayıflık düzleminde olduğu kabul edilir.

Yöntem, en büyük sıkışma (σ_1), orta sıkışma (σ_2) ve en küçük sıkışma (σ_3) olan üç asal gerilme eksenini ve $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$ olarak belirtilen gerilme büyüklüğü oranının belirlenmesinden oluşur. R 'nin değeri incelenen bölgede baskın olan gerilme rejiminin göstergesidir. $\sigma_1 = \sigma_2$ olduğunda $R = 0$ olur ve açılma rejimi söz konusudur, $\sigma_2 = \sigma_3$ ise $R = 1$ 'dir ve bu durum sıkışma rejimini gösterir, $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ olduğunda $R = 0.5$ tir ve bu doğrultu atımlı rejime işaret eder. σ_1 , σ_2 ve σ_3 gerilme eksenlerinin

yatay veya düşey olması konumları faylanma tipini belirler. Gerilme eksenleri ile faylanma tipi arasındaki ilişki Şekil 2.1.5.'de verilmektedir. Bu dört parametre (σ_1 , σ_2 , σ_3 ve R) bir gerilme modelini oluşturur. Gözlenmiş veri seti ile en iyi şekilde eşleşmiş model en iyi gerilme modeli adını alır. En iyi modeli ararken, gerilme eksenlerini belirli aralıklar ile arttırarak gerilme tensör modelleri oluşturulur. Hesaplanan gerilme tensörü ile gözlenmiş faylanma mekanizmasının kayma vektörü karşılaştırılır. Karşılaştırma sırasında, kayma vektörü teorik gerilme modeline uyumlu olacak şekilde döndürülür ve sapma miktarı belirlenir. Sapma miktarı, teorik ve gözlemsel veri arasındaki uyumsuzluğu gösterir. Böylece her gerilme modeli için, gözlenmiş veriler ile tahminleri arasındaki uyumsuzluklar hesaplanır ve toplanır. Minimum uyumsuzluk, uyumsuzlukların en küçük toplamalarını gösterenlerden biridir ve bölgenin bölgesel gerilme tensörü olarak seçilir.



Şekil 2.1.5. Asal gerilmeler ve farklı ideal fay tiplerinin yönelimleri arasındaki ilişki. a) En büyük basınç gerilmesi σ_1 'in düşey olduğu normal fay. b) En küçük basınç gerilmesi ile (σ_3 düşey) ters fay. c) düşey σ_2 ile doğrultu atımlı fay.

2.2. SİSMİK MOMENT TENSÖR

Sismolojide en fazla merak edilen araştırma sismik kaynaklarının fiziksel olarak tanıtmasıdır. Sismik kaynak tanımlarında klasik metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar sismik kaynağın güçlerini (magnitüd, sismik moment) ve ona ait faylanma yüzeylerinin çözümlerine imkan sağlar. Son zamanlarda sismik moment tensör metodu sismik kaynak noktalarının tanıtmasında yaygın bir şekilde kullanılıyor. Moment Tensör ile Green's fonksiyon elementleri arasındaki doğrusallık ilk kez Gilbert (1973) tarafından moment tensör elementlerini hesaplamıştı. Green's fonksiyonu bir ortamda kaynak ile alıcının arasındaki impulse response'udur.

Sismik moment tensörü, genel kavramda, sismik kaynağındaki model türlerini vasfediyor ve iyice tanıtır. Moment tensörler üç yerden kararlaştırılır:

- 1- Yerin serbest osilatöründen.
- 2- Uzun periyotlu yüzey dalgalarından (surface waves).
- 3- Uzun periyotlu cisim dalgalarından (body waves).

Moment tensörler sismik kaynak noktalarına ait eşdeğerli kuvvetleri tamamen en iyi bir derecede vasfetmesi için, moment tensör metodu çok önemli görülür. Eşdeğerli kuvvetler moment tensöre ait olan Eigen değerler ve Eigen vektörlerin analizinden elde edilir. Bu Eigen değerlerin toplamı kaynaktaki güç (şiddet) değişimini gösteriyor. Eigen vektörler ise sismik moment tensörün esas eksenleridir, kuvvet çiftlerin tümü M_{ij} Şekil 2.2.1. 'de verilmiştir.

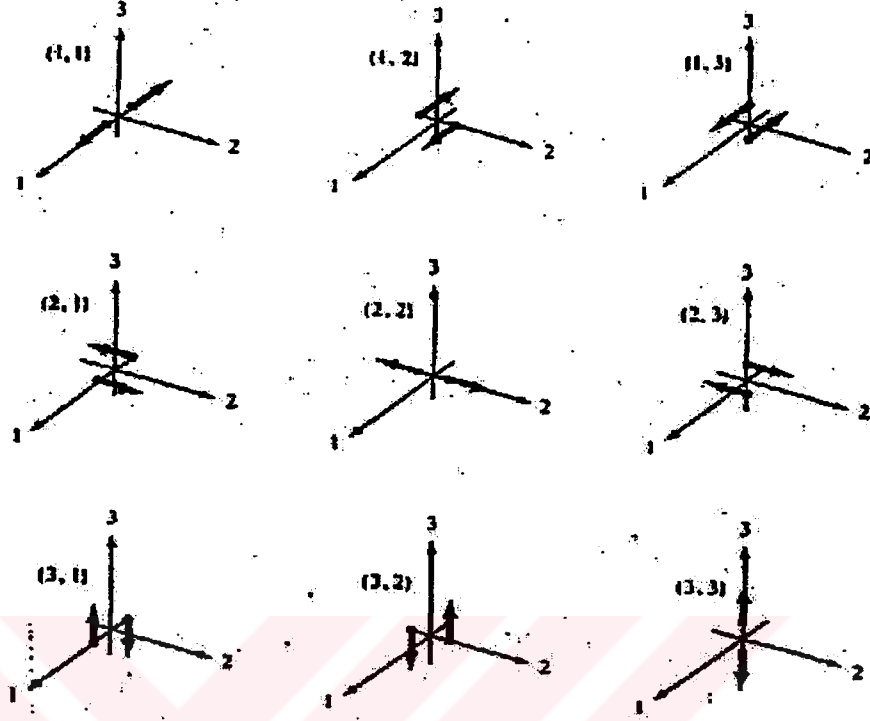
Kuvvet çiftlerinin tümü, etkin kaynak deformasyonlarının ve zaman süreçlerinin geniş bir sırasını oluşturmak için net olarak özetlenebilir. Bir çok durumda kuvvet çiftlerinin aynı $s(t)$ zaman bileşenine sahip olduğunu kabul edebiliriz. Dolayısıyla, pq çiftinin M_{pq} bileşenleri ile ikinci bir M tensör bileşenini tanımlayabiliriz. Bu da;

$$M = \begin{vmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{vmatrix} \quad (1)$$

olarak verilir. İkili kuvvet çifti çözümünün moment tensörü;

$$M = M_0 \begin{vmatrix} 0 & M_{12} & 0 \\ M_{21} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (2)$$

şeklinde yazılır. Burada skalar faktör (M_0) paragrafın dışında tutulmuştur.



Şekil 2.2.1. Sismik moment tensörünü oluşturan dokuz kuvvet çifti (Aki veRichrad, 1980).

Sismik moment tensötü her zaman simetriktir. Bunun nedeni, eksenlerle aynı doğru üzerinde bulunma zorunluluğu olmayan kuvvet sistemlerinde, kaynak koordinat sistemlerine göre daha çok kullanılan coğrafik koordinat sistemlerinin moment tensörü ile alakalı koordinat dönüşümlerine sahip bir tensör oluşudur.

Green Fonksiyonu ile moment tensörünün çarpımı ile genişletilen bir moment tensörü için P, SV ve SH dalgaların oluşturmak mümkündür. Genişletilen moment tensörü;

$$U_n = (x, t) = \sum_{i=1}^5 m_i * G_{in}$$

şeklindedir.

$M_1 = M_{11}$, $m_2 = M_{22}$, $m_3 = M_{12}$, $m_4 = M_{13}$ ve $m_5 = M_{23}$ tür ve G_{in} moment tensör elemanlarının her biri için verilen Green Fonksiyonlarıdır. Bu ifade moment tensör elemanlarının direkt olarak tanımlanması açısından idealdir. Aki ve Richards (1980), moment tensörlerinin dört elemanına ait ifadesinde ikili kuvvet sisteminin ortaya konulabileceğini göstermiştir. ikili kuvvet sisteminin oluşturduğu yerdeğiştirme gerçekte, 45° azimutta gerçekleşen, bir düşey doğrultu atımlı fay ($\delta = \pi / 2$, $\lambda = 0$), bir

eğim atımlı fay ($\delta = \pi / 2$, $\lambda = \pi / 2$) ve sade bir yükselime sahip kaymayla oluşan 45° lik açığa sahip dalma fayı ($\lambda = \pi / 4$, $\lambda = \pi / 2$) İçin Green fonksiyonunun ifadesiyle belirlenebilir. Açıklanan fayların ilk ikisi, Green fonksiyonlarına bağlıdır. Fakat, üçüncüsü belli bir azimutta gerçekleştiğinden dolayı m_{ij} Green fonksiyonundan biraz farklılık gösterir. Bu ifade moment tensör elemanlarından daha çok fay parametrelerinin dönüşümü için kullanılır. Yer değiştirmenin ifade edilebilmesi, beş tane Green fonksiyonu tensör elemanının veya üç esas fayın tümünde olduğu gibi bir ikili kuvvet fay mekanizması için temel teşkil eder ve bu birçok sentetik sismogramları ve dalga dönüşümleri için kullanılır.

Moment tensörü simetrik olduğundan dolayı, asal eksen etrafında döndürülür. Örneğin, (2) bağlantısıyla ifade edilen kaynak diyagonal olarak şu şekilde ifade edilir.

$$M = \begin{vmatrix} M_0 & 0 & 0 \\ 0 & -M_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Burada, yeni elemanlar P maksimum basınç eksenleri ve T minimum basınç eksenleri B orta gerilme eksenleri ile tanımlanan eksenler boyunca uzanır.

Genel olarak, bir sismik moment tensörü ikili kuvvet çiftini gerektirmez. Fakat, simetrik tensör moment tensör hareketini belirleyen üç ortogonal dipol ile diyagonal hale getirilebilir. Bu $a_i = (a_{ix1}, a_{ix2}, a_{ix3})$ ortogonal eigenvektörü ile gerçekleşir. İkili kuvvet çifti için pozitif Eigen değerine bağlı Eigen Vektörü T gerilme eksenini, sıfır Eigen değeri için orta gerilme eksenini ve negatif değerler için ise basınç eksenini verir. Genel olarak, diyagonal moment tensörlerini şu şekilde ayırtabiliriz;

$$M = \begin{vmatrix} M_1 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 & 0 \\ 0 & 0 & M_3 \end{vmatrix} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{3} \begin{vmatrix} \text{tr}(M) & 0 & 0 \\ 0 & \text{tr}(M) & 0 \\ 0 & 0 & \text{tr}(M) \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} M_1^1 & 0 & 0 \\ 0 & M_2^1 & 0 \\ 0 & 0 & M_3^1 \end{vmatrix}$$

Burada, $\text{tr} (M) = M_1 + M_2 + M_3$ değeri M 'in bileşenlerinin toplamıdır. M_i^1 ise M 'in sapma gösteren Eigen değerleridir.

Diyagonal sapma gösteren moment tensörleri, bazı fiziksel anlamlara sahip Eigen değerlerinin değişimi esnasına göre ayrılabilir. Üç vektör dipolü şeklinde verilen bir ayırım;

$$\begin{bmatrix} M_1^1 & 0 & 0 \\ 0 & M_2^1 & 0 \\ 0 & 0 & M_3^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_2^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_3^1 \end{bmatrix}$$

şeklinde yapılır. Bu ayırım M 'e ait Eigen değerlerinin doğrultusunda hareket eden dipoller için geçerlidir. Bu durumda, moment tensörü ikili çift değilse, orta gerilme eksenini B sıfır değildir.

Bir başka şekliyle, bir moment tensörü izotropik kısımda ve üç tane ikili çift olarak ayrılabilir:

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 & 0 \\ 0 & 0 & M_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \text{tr}(M) & 0 & 0 \\ 0 & \text{tr}(M) & 0 \\ 0 & 0 & \text{tr}(M) \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{3} \begin{bmatrix} M_1 - M_2 & 0 & 0 \\ 0 & -(M_1 - M_2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 - M_3 & 0 \\ 0 & 0 & -(M_2 - M_3) \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{3} \begin{bmatrix} M_1 - M_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(M_1 - M_3) \end{bmatrix}$$

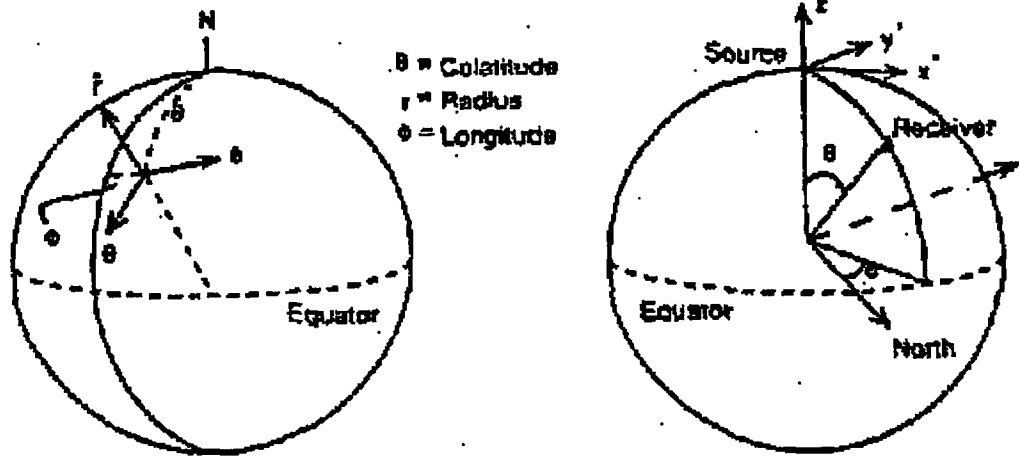
Burada, sapan her terim ikili çifttir.

Diğer ayırmalar bir Eigen vektörü doğrultusunda kuvvetin bir dipolüne ve diğer Eigen vektörlerinin doğrultularında kuvvetin iki dipolüne sahip doğrusal vektör dipolleri (CLVD) içerir. Bir moment tensörü üç CLVD ve bir izotropik terim ile tanımlanır. Bu da;

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 & 0 \\ 0 & 0 & M_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \text{tr}(M) & 0 & 0 \\ 0 & \text{tr}(M) & 0 \\ 0 & 0 & \text{tr}(M) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_1^1 & 0 & 0 \\ 0 & -M_1^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -M_3^1 & 0 \\ 0 & 0 & M_1^3 \end{bmatrix}$$

olur. Burada ortadaki terim, en büyük Eigen değerine sahip büyük ikili çifte sahiptir ve diğer çiftler ise küçüktür.



Şekil 2.2.2. Soldaki şekilde, serbest salınım analizlerinde r , θ , Φ , sırasıyla yukarı, doğuya ve batıya doğru hareket eden birim vektörlerinin ortaklaşa kullanımı gösterilmiştir.

Buna göre dönüşüm terimleri:

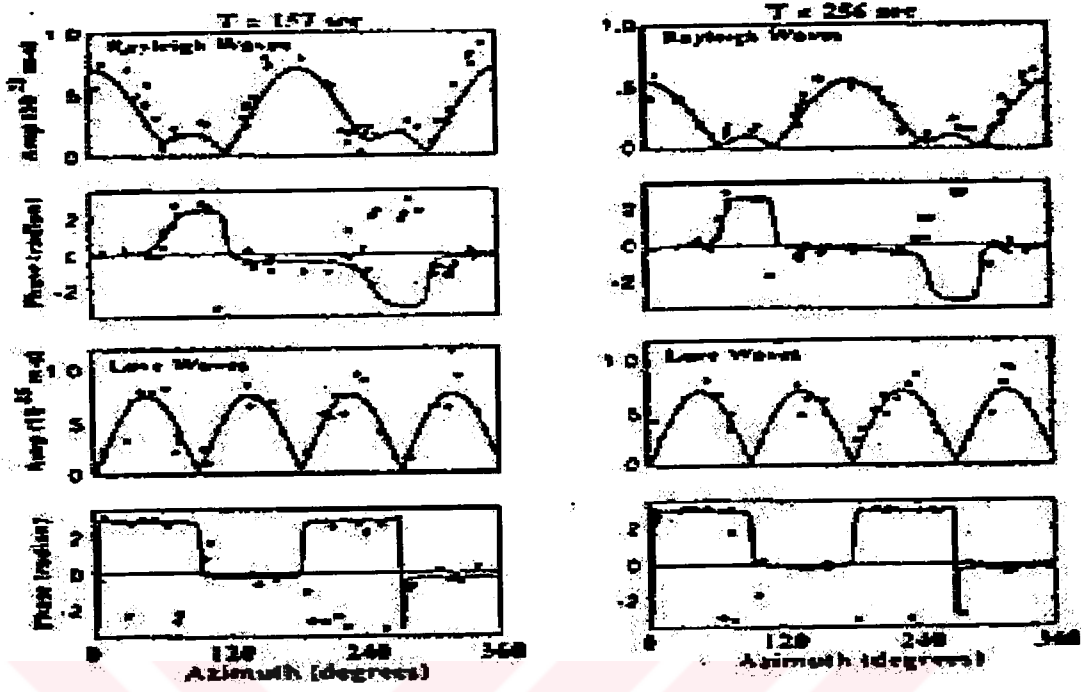
$$M_{rr} = M_{33} , M_{\theta\theta} = M_{11} , M_{\Phi\Phi} = M_{22} , M_{r\theta} = M_{13} , M_{r\Phi} = -M_{23} , M_{\theta\Phi} = -M_{12}$$

olarak dönüştürülür.

(r, θ, Φ) coğrafik koordinat sistemi Harvard'da geliştirilen moment tensörü ters dönüşümü ile elde edilen moment tensörleri kullanılmıştır. $x' y' z'$ sistemi yüzey dalgası ters dönüşümünde Hiroo Kanaman tarafından geniş bir biçimde kullanılmıştır. Bu durumda;

$$M_{11} = M_{x'x'} , M_{22} = M_{y'y'} , M_{33} = M_{z'z'} , M_{13} = -M_{x'z'} , M_{23} = M_{y'z'} , M_{12} = -M_{x'y'}$$

eşitlikleri oluşur.

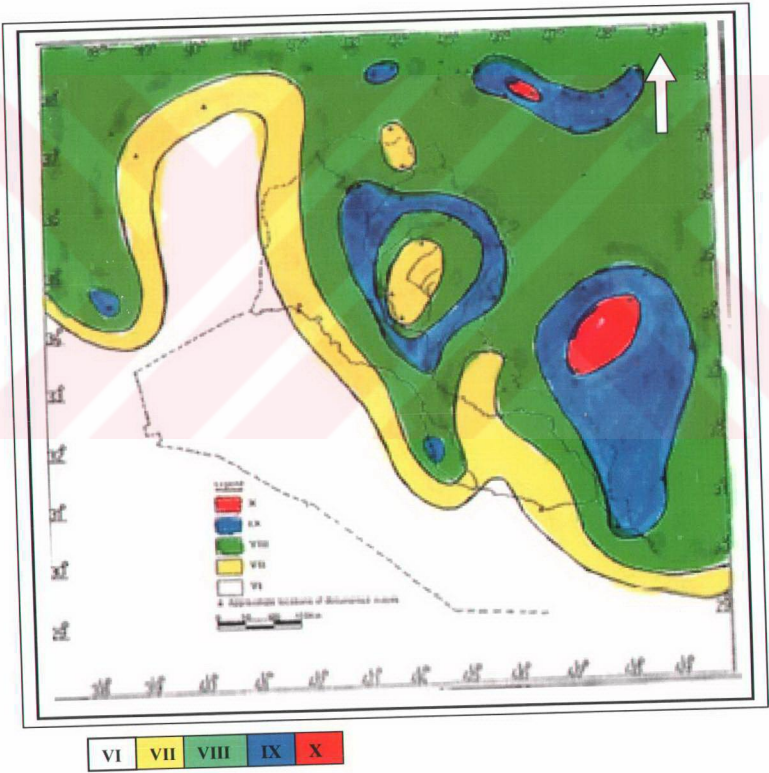


Şekil 2.2.3. 1989 yılı Loma Prieta depremi için Rayleigh dalgaları ve Love dalgalarından elde edilen azimutal genlik ve faz değişimleri. Sürekli çizgiler, başlıca bir ikili kuvvet çifti ile teorik moment tensörüne uymaktadır (Velasco ve diğ., 1993).

2.3. IRAK'IN DEPREM TEHLİKSİ

2.3.1. Tarihsel Eşsiddet Haritası

Irak'ın sismisitesi Ambraseys (1971), Alsinawi & Ghalib (1975), Poirier & Taher (1980), Alsinawi & Issa (1986) ve Alsinawi (1988) tarafından incelenmiştir. M.Ö 1260- M.S 1900 dönemi için bölgenin tarihsel sismisitesi araştırılmıştır ve 165 tarihi olayın katalogu Şekil 2.3.1.'de verilen tarihsel eşsiddet haritasını oluşturmuştur .



Şekil 2.3.1. Irak'ın tarihsel eşsiddet haritası

2.3.2. Irak'ın Sismik Bölgelendirme Haritası

Lomintz (1974), Alsinawi & Ghalib (1975) , Adeli & Nasser (1978) , Ambraseys (1978) , Alsinawi & Al Moosawi (1982) ve Alsinawi & Issa (1986) gibi farklı araştırmacılar tarafından sismik tehlike düşüncelerinin temel kavramları bildirilmiştir.

Bu araştırma öncesinde Alsinawi & Ghalib (1975) Irak'ın MM ölçüsünde V-IX arasında bulunan beş bölgeye ayrıldığı Irak için ilk sismik bölgelendirme haritasını hazırlamıştır .

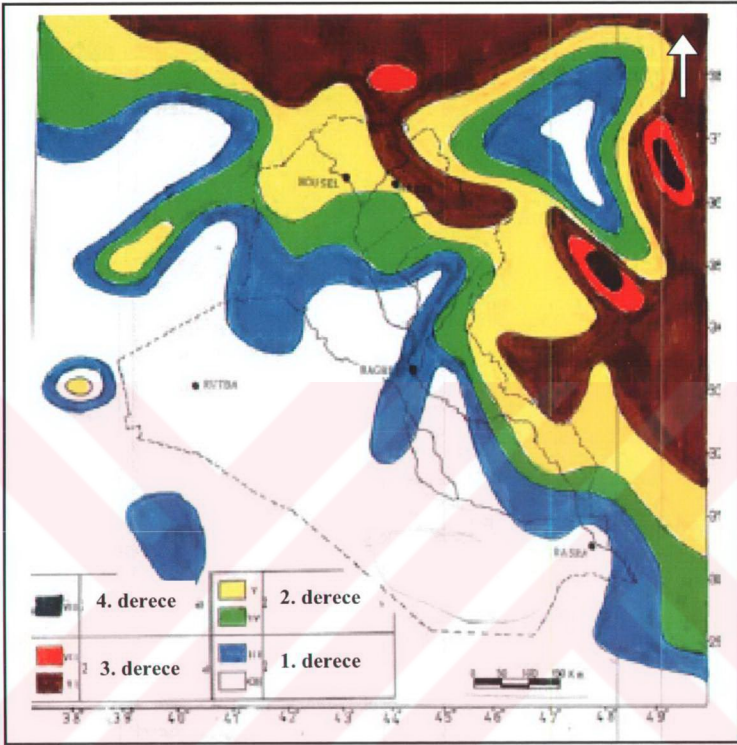
Diğer bölgelendirme haritaları Alsinawi & Al Moosawi (1980), Alsinawi & Almoosawi (1982), Alsinawi & Issa (1986), Alsinawi & Al Dilaimi (1993) ve Alsinawi (2001) tarafından sunulmuştur.

Irak için hazırlanan sismik bölgelendirme haritası Puttonen ve Varpasu (1982) tarafından verilen azalma ilişkisine dayanmaktadır. Fakat onları ilişkisindeki M_s büyüklüğü Richter'deki (1958) denklem bağıntısına dayanan m_b ile değiştirilmiştir.

$$I = 4,671 + 1,51 MB - 2,15 \ln (R+20)$$

Şekil 2.3.2.'de $MM=III$ riskin olmadığı ve sismik etkenler olmadığı için bölgeyi daha az kapsayan dört bölgeye ayrılan Irak'ın sismik bölgelendirme haritasını göstermektedir.

Ardından Zagros Dağı ve Mezopotamya Geosyncline'ı kapsayan IV-V şiddetleri içeren 2. derece deprem gelmektedir. Sonra Zagros Toros bindirme bölgede VI-VII şiddetindeki 3. derecede deprem bulunur. Zagros bindirmedeki VIII şiddetindeki 4. derecede deprem bölgesi Irak sınırlarının dışındadır .



Şekil 2.3.2. Irak'ın sismik bölgelendirme haritası (1900 – 1988)

2.3.3. Irak'ın Sismik İndeksi

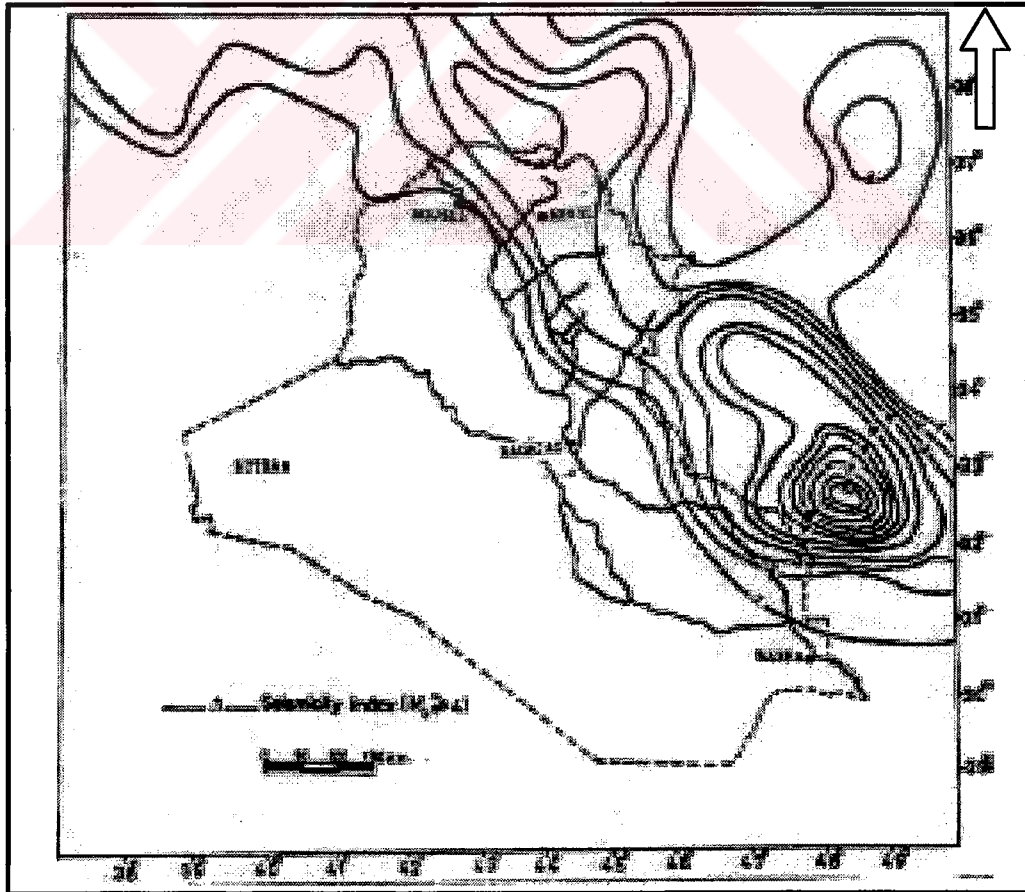
Sismisite indeksi ST Terashima (1973) tarafından denklem (3) ; N = büyüklüğü X 'e eşit veya büyük olan deprem sayısı , T = yıl olarak dönem , X = en küçük deprem büyüklüğü ve Δ = epicentral uzaklık olarak verilmiştir. Sismisite indeks numarası (TS) çalışma dönemindeki ortalama tekrar dönemini tanımlayarak deprem etkisini ve ayrıca oluşan deprem büyüklüğünü belirtir .Şekil 2.3.3.'teki bu haritayı hazırlarken , 4,0 değeri başlama riskin değeri olarak X 'e verilmiştir. Şekil 2.2.3.'ten $0,1 \leq ST \leq 0,2$ bölgesinde $M \geq 4,0$ değerindeki depremin 100 km çapında 5 ila 10 yıl içinde olma ihtimali vardır .

$$ST = \frac{\sum_{M \geq x} N(M)}{T} \quad \Delta \leq 100 \text{ Km.}$$

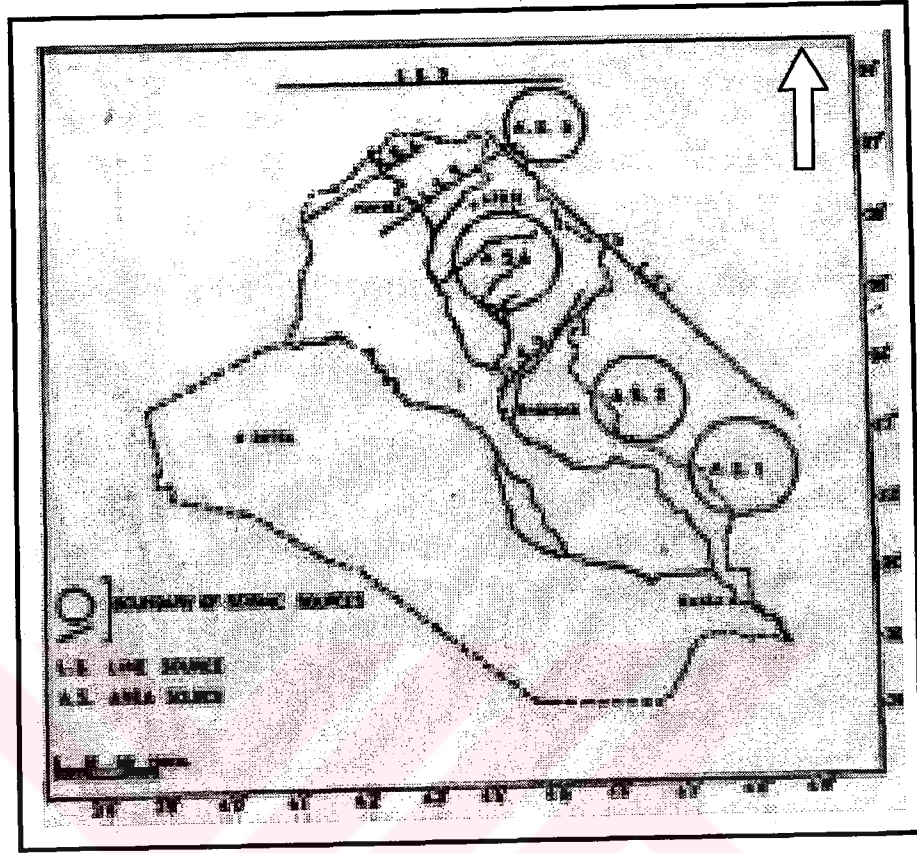
Şekil 2.3.3.'ten Güney Doğu Irak bölgesinin çok yüksek sismik değer taşıdığını anlayabiliriz. Büyüklüğü $M \geq 4,0$ olan depremin her iki ila beş yılda oluştuğu Tigris (Dicle) nehrinin doğu bölgesi yüksek sismik değere sahiptir. Dicle ve Fırat nehri arasındaki bölge beş ila on yıl arasında oluşma oranı göstermektedir. Güney ve güney batı bölgeler düşük sismik değer taşır ve düşük deprem oluşumu on yıldan fazla sürelidir.

2.3.4. Sismik Kaynak Modeli

Şekil 2.3.4. Roshandel ve diğ. (1981)'e göre deprem kaynaklarının bulunduğu sismik kaynak modelini gösterir. Tablo 2.1. farklı sismik kaynakların detaylarını belirtmiştir.



Şekil 2.3.3. Irak'ın sismik indeks haritası (Terashima 1973).



Şekil 2.3.4. Sismik kaynak haritası (Roshandel ve diğ.,1981)

Tablo 2.1. Irak'taki hat ve alan kaynakları (Şekil 2.3.4.)

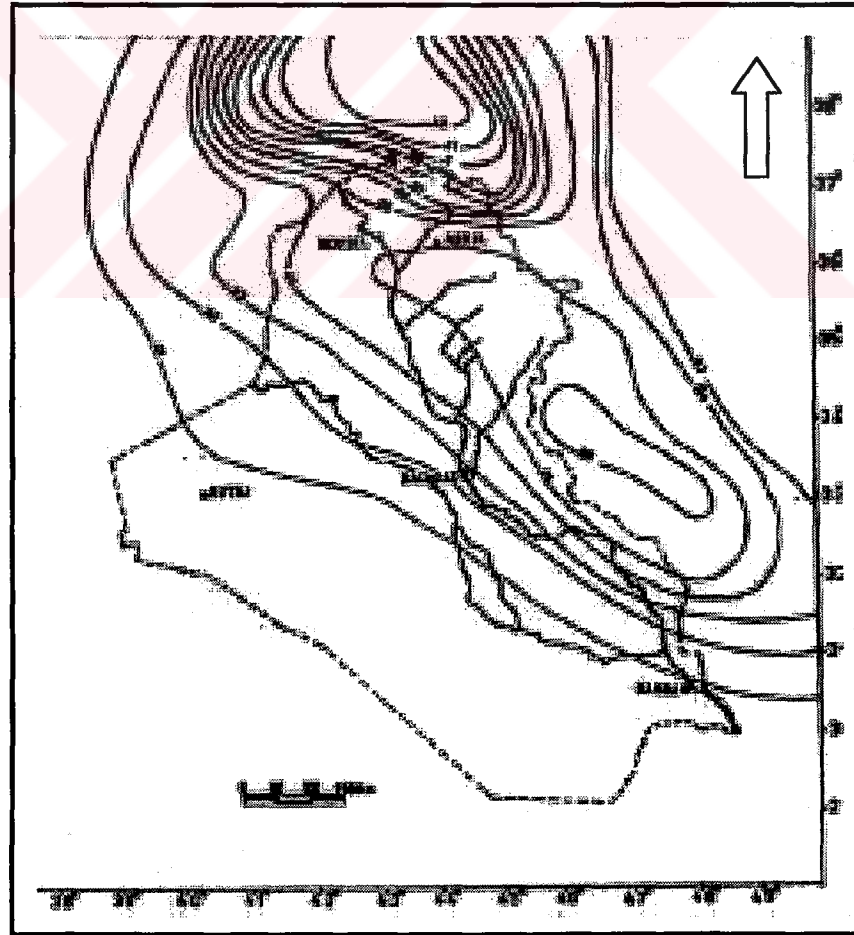
Kaynak Türü	Olay Sayısı	Uzunluk Yarıçap	Ort.Merkezi Derinlik	En Yüksek Büyüklük
Hat kaynağı#1	72	640 km	36 km	6,7
Hat kaynağı#2	66	367 km	32 km	7,2
Hat kaynağı#3	16	220 km	59 km	5,2
Hat kaynağı#4	16	210 km	42km	5,3
Hat kaynağı#5	8	188 km	35 km	6,1
Alan kaynağı#1	123	80 km	44 km	5,6
Alan kaynağı#2	31	70 km	33 km	5,6
Alan kaynağı#3	31	60 km	32 km	6,0
Alan kaynağı#4	28	75 km	38 km	5,5

2.3.5. Irak İvme Haritası

Esteva (1974) tarafından verilen azalım ilişkisi ve Poissons dağılımı kullanılarak dört farklı tekrarlama periyodu 25,50,100 ve 200 yıl için 0.01 g aralıklarla ivme değerlerinin meydana gelme ihtimalini gösteren harita hazırlanmış ve değerleri Tablo 2.1.'de verilmiştir. Şekil 2.3.5 100 yıllık tekrarlama periyodu için ivme değerleri verilmektedir. Bu haritalar sismisitedeki artışın GD - KB eğiliminde olduğunu göstermektedir.

2.3.6. Sismik Dizayn Bölgeleendirme Haritası

En büyük ivme değerleri Milner & Davenport (1970)'de verilen deprem büyüklüğüyle ilgilidir. Irak için ilk dizayn bölgeleendirme haritası Alsinawi & Al Moosawi (1980) tarafından sunulmuştur. Şekil 2.3.6., en büyük ivme değerlerini gösterir . Değer doğu-kuzeydoğu ve kuzeye ayrıca batı çölündeki Ana-Rawa'ya doğru artar.



Şekil 2.3.5. 100 Yıllık dönem için sismik ivme haritası. (Esteva, 1974)

3. BULGULAR

3.1. Doğu Irak için Bölgesel Gerilme Tensörü

Doğu Irak bölgesinde meydana gelen depremlerin faylanma mekanizmaları kullanılarak Bölgesel Gerilme Tensörü belirlenmiştir. Bu çalışma, faylanma mekanizmaları Harvard sismoloji grubu tarafından elde edilen ve 1977-2002 yılları arasında meydana gelen $M > 5.5$ depremlerini kapsamaktadır. Tablo 3.1’de her depremin meydana geldiği yerin enlemi, boylamı, tarihi (ay, gün, yılın son iki hanesi) ve sismik moment tensör parametreleri, yani sıkalar sismik moment, doğrultu, eğim ve atım yönleri verilmiştir. Mo ve EXP sütunlarında verilen bilgiler sıkalar sismik momenti göstermektedir. Örneğin, 1. depremin sıkalar momenti $M_0 = 1.97 \times 10^{24}$ dyn*cm’dir.

Faylanma mekanizması çözümlerinde yer alan her iki düğüm düzleminin parametreleri verilmiştir. Bölgesel gerilme tensörünün belirlenmesinde Gephart (1990) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında bazı kabullenmeler yapılmıştır. Örneğin, 1977-2002 yılları arasında bölgesel gerilme tensöründe bir değişim olmadığı, fayların kayma yüzeyi bu gerilme tensörünün etkisi altında olup fayların doğrultusuna göre her türlü faylanma mekanizmasının oluşabileceğidir. Doğrultusu ve eğimi belli olan bir fay düzleminde fayın hangi yöne doğru hareket edeceği, yani atım yönü, bölgede hakim olan gerilme tensörü kontrol etmektedir. Bu nedenle, aynı tektonik rejim içerisinde farklı doğrultu ve eğime sahip kırık sistemleri akla gelebilecek her türlü faylanma mekanizması yaratabilir. Bu nedenle, bölgesel gerilme tensörü analizinde farklı mekanizmaların giriş verisi olarak kullanılabilir. Aslında, gerilme tensörü ters çözüm tekniği bu prensibe dayanmaktadır. Ters çözümde işleminde öyle bir gerilme tensörü modeli aranmaktadır ki giriş olarak verilerin atım yönleri ile teorik atım yönleri arasındaki fark minimum olsun.

Analizin ilk aşamasında faylanma mekanizmalarının doğrultu, eğim ve atım parametreleri kullanılarak basınç P- ve gerilme T- eksenleri elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen P ve T eksenleri ters çözümünden bölgesel gerilme tensörü elde edilmiştir. Ters çözüm işlemi iki aşamalıdır. Birinci aşamada, σ_1 maximum gerilme ekseninin alabileceği bütün değerler 20 derece arayla taranarak kabaca σ_1 eksenin yeri tespit edilir. Aynı işlem σ_3 için tekrar edilir. İkinci aşamada tarama aralığı 5 derecede tutularak en iyi gerilme tensörü modeli tespit edilir. Yapılan analiz sonucunda en büyük, σ_1 , ortanca, σ_2 , ve en küçük, σ_3 , gerilme eksenlerinin doğrultu ve eğimleri sırasıyla şu şekilde elde edilmiştir; 218, 20; 311, 10; 66, 68 (Şekil 3.2). En büyük ve ortanca gerilme eksenlerinin yataya yakın, en küçük gerilme eksenin düşeye yakın olması bölgedeki tektonik rejimin sıkışma olduğunu göstermektedir.

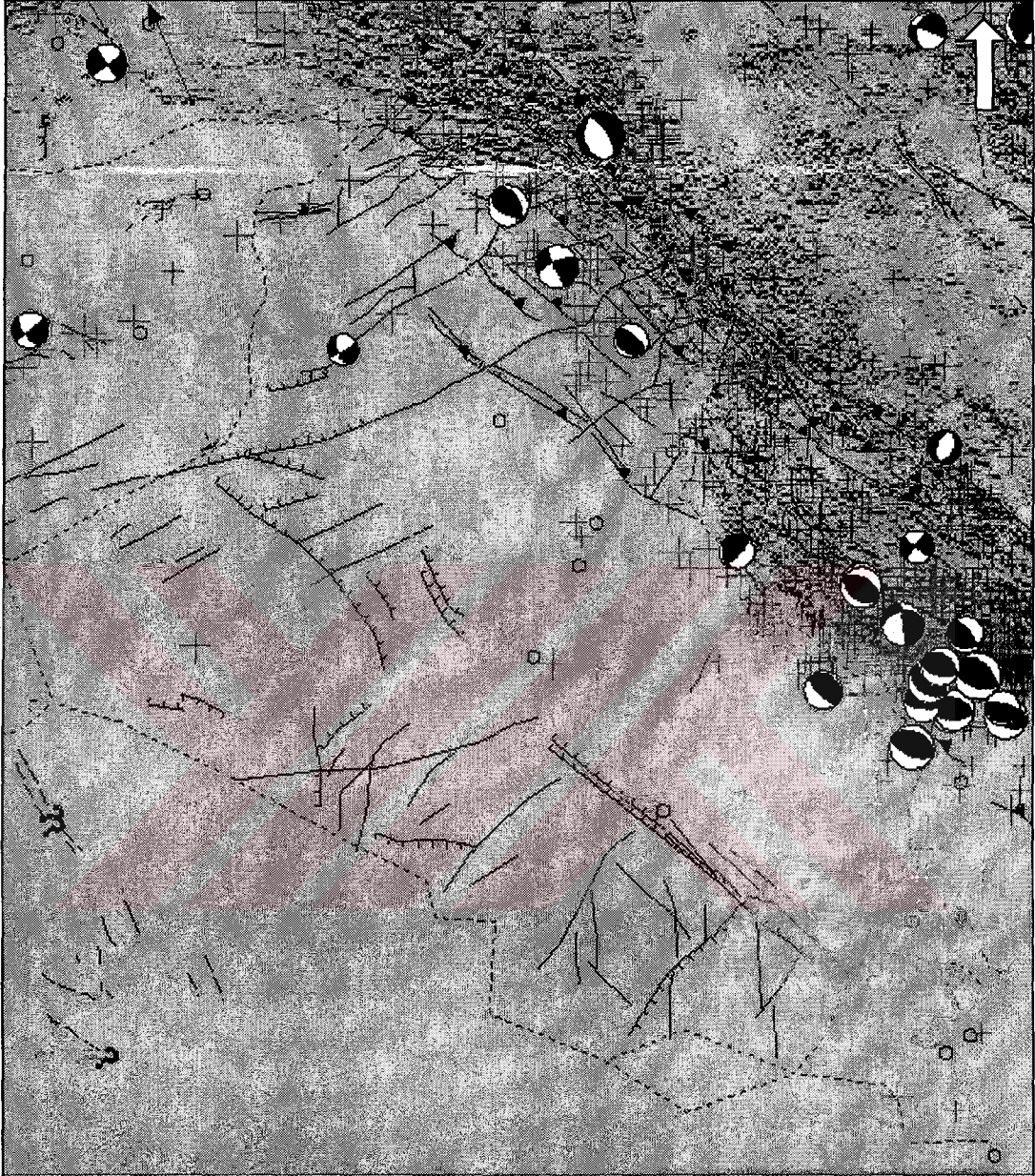
3.2. 18 Aralık 1980 Depreminin Ters Çözümü

Bu depremin telesismik uzaklıklarda bulunan istasyonların kaydettiği P ve SH cisim dalgaları Kikuchi ve Kanamori (1991) tarafından geliştirilen ters çözüm tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Veriler uluslararası IRIS sismoloji veri merkezinden elde edilmiştir. Ters çözüm işlemi için toplam 7 faz uygun bulunmuştur. Bunlardan biri P, altısı SH fazıdır (Şekil 3.3).

Ters çözüm işleminde gözlemsel sismogramlar ile teorik sismogramlar arasında en iyi uyumu veren sismik moment tensör aranmaktadır. Ters çözüm işleminden önce teorik sismogramlar (Green fonksiyonları) hesaplanmaktadır. Teorik sismogramların hesaplanmasında kullanılan kabuk modeli MSL istasyonunun altındaki kabuk modelidir. Teorik sismogramlar farklı derinlikler için hesaplanarak gözlemsel sismogramlar ile karşılaştırılmış ve en iyi uyumu veren derinlik $H=10$ km olarak bulunmuştur. Hareket eden fayın doğrultusu, eğim ve atım yönleri sırasıyla 232, 89, 180 derece olarak bulunmuştur.

Tablo 3.1. 1977-2002 yılları arasında Doğu Irak bölgesinde meydana gelen depremlerin ($M > 5.5$) kaynak parametreleri. Çözümler Harvard sismoloji merkezi tarafından yapılmıştır.

no	boylam	Enlem	Str1	Dip1	Rake1	Str2	Dip2	Rake2	m_0	exp	Name
1	48.63	32.10	293	29	93	110	61	88	1.970	24	042677B
2	47.72	31.85	293	34	91	111	56	89	1.550	25	060577B
3	48.09	32.13	289	33	91	108	57	89	1.290	24	060577C
4	49.36	31.85	150	34	100	318	57	83	1.950	25	121478A
5	49.48	30.49	317	42	92	135	48	89	7.450	23	032879A
6	48.13	32.16	293	36	06	94	56	78	5.500	24	101980B
7	44.25	35.89	247	74	12	154	79	163	2.010	25	121880A
8	47.82	32.22	277	24	95	92	66	88	9.810	23	010281C
9	49.08	32.19	254	4	12	133	88	93	3.510	24	030583A
10	48.36	32.45	314	38	113	106	56	73	2.530	24	052883A
11	49.62	31.45	147	36	74	347	55	102	11.060	23	091885A
12	47.76	33.54	218	80	2	128	88	170	1.000	24	052987A
13	46.85	32.33	306	20	79	137	70	94	2.620	24	012688A
14	49.84	30.29	296	32	90	116	58	90	7.440	24	033088A
15	47.62	32.89	256	40	-7	351	85	-130	1.420	24	040289E
16	48.91	36.08	234	69	-163	138	75	-22	1.170	24	062490B
17	48.24	32.80	96	33	53	318	64	111	11.000	23	080390B
18	47.89	32.41	128	45	90	308	45	90	3.550	23	101190B
19	43.77	36.40	335	44	121	116	53	64	2.150	24	072491D
20	49.71	30.06	143	41	97	314	49	84	3.110	24	110491A
21	42.15	35.19	158	62	-167	62	79	-29	1.470	24	021793C
22	48.00	32.53	309	41	-114	99	53	71	2.490	24	073194A
23	48.60	32.18	103	25	87	286	65	91	7.860	23	092094A
24	49.46	30.87	117	32	72	318	60	101	9.750	23	042295A
25	46.00	33.50	183	20	52	43	74	103	3.160	24	080598G
26	48.03	34.38	25	39	-84	197	51	-95	3.310	23	082198A
27	47.22	33.23	126	31	121	270	64	73	11.470	23	100498A
28	47.22	33.20	131	41	103	294	50	79	1.370	24	100598A
29	44.97	35.27	128	29	86	312	61	92	5.160	23	011599B
30	46.29	32.78	301	42	74	142	50	104	1.450	24	032301A
31	47.80	32.58	116	31	113	270	62	77	7.460	23	040301D
32	47.58	32.81	121	31	101	288	60	83	4.130	23	090101C
33	47.55	34.39	36	74	16	302	75	163	1.410	24	042402E
34	45.17	33.74	242	74	5	151	85	164	9.840	23	061802A
35	48.97	35.82	295	29	99	104	62	85	6.970	25	062202B
36	48.95	35.65	105	34	71	308	58	103	7.780	23	090202B
37	49.10	32.04	141	45	103	303	46	78	3.020	24	092502C
38	47.66	34.54	284	45	105	82	47	75	7.110	23	122402E

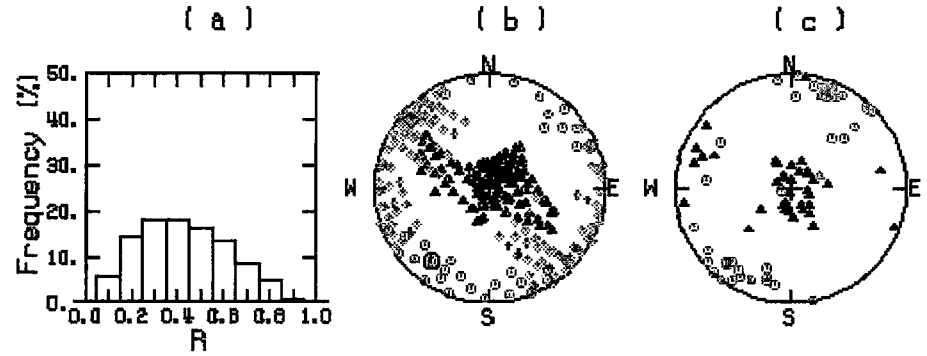


Şekil 3.1. Doğu Irak bölgesinde 1977-2002 yılları arasında meydana gelen depremlerin yerlerini ve faylanma mekanizmaları gösterilmektedir. Sismik moment tensörler Harvard sismoloji grubu tarafından elde edilmiştir.

Tablo 3.2. Tablo 3.1.'de verilen faylanma mekanizması parametreleri kullanarak hesaplanan P ve T eksenlerinin Azimut ve Dalım açıları. Faylanma tipleri de verilmektedir.

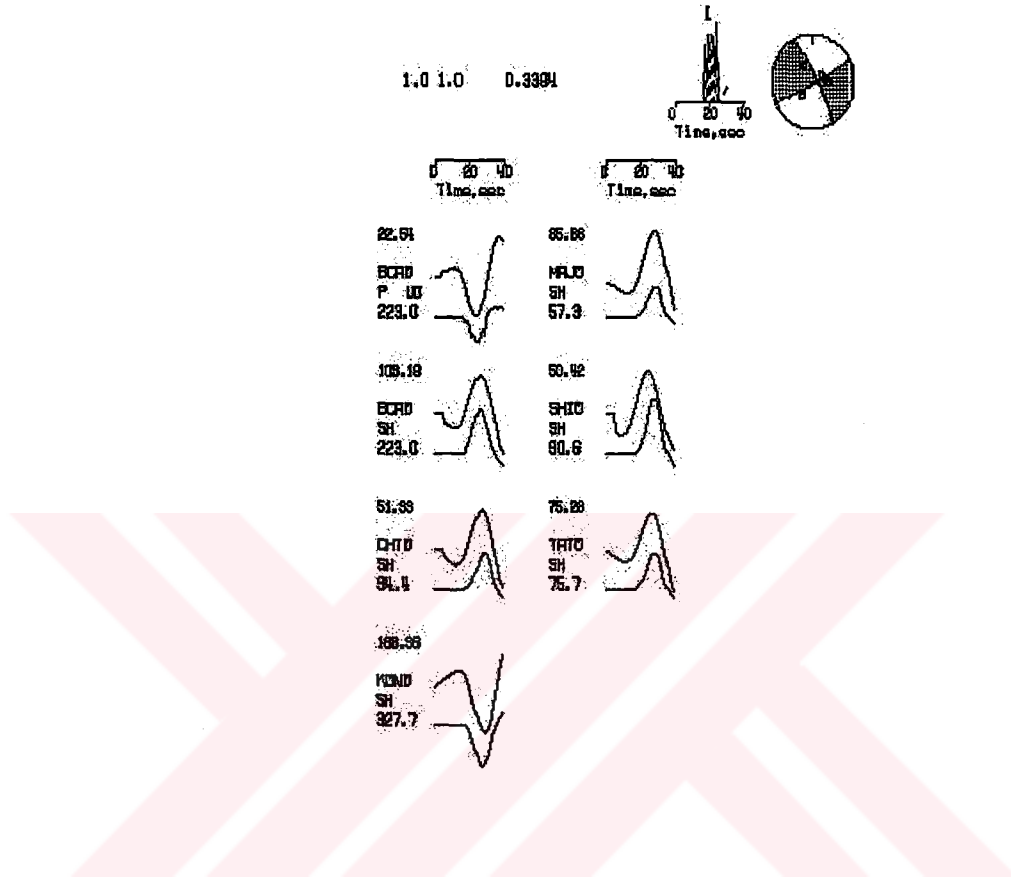
No	P - EKSENİ		T - EKSENİ		FAYLANMA TİPİ
	Azimut	Dalım Açısı	Azimut	Dalım Açısı	
1	201	16	15	74	Ters
2	202	11	19	79	Ters
3	198	12	16	78	Ters
4	53	11	206	77	Ters
5	226	3	22	87	Ters
6	192	10	328	76	Ters
7	201	3	110	20	Sol
8	183	21	357	69	Ters
9	219	43	46	47	Sol
10	208	9	330	73	Ters
11	68	10	292	76	Ters
12	173	6	82	8	Sol
13	225	25	54	64	Ters
14	206	13	26	77	Ters
15	227	37	113	29	Sol
16	95	27	187	3	Sol
17	32	17	264	64	Sol
18	37	0	127	90	Ters
19	224	5	326	68	Sol
20	48	4	180	84	Ters
21	17	28	113	11	Sol
22	202	6	314	73	Ters
23	15	20	199	70	Ters
24	40	14	225	73	Ters
25	123	28	330	59	Sol
26	79	83	291	6	Normal
27	14	17	149	67	Sol
28	32	5	150	80	Ters
29	41	16	228	74	Ters
30	222	4	112	79	Ters
31	9	16	151	70	Ters
32	23	14	181	74	Ters
33	349	0	259	22	Sol
34	197	8	105	15	Sol
35	198	16	3	73	Ters
36	29	12	250	74	Ters
37	42	1	136	81	Sol
38	183	1	279	79	Sol

IRAK (218,20; 311,10; 66,68)



Şekil 3.2. Şekil 3.1’de gösterilen ve Tablo 3.1’de verilen deprem kaynak parametreleri kullanılarak Doğu Irak bölgesi için elde edilen Gerilme Tensörü. (a) R değerinin frekans dağılımı, (b) gözlemsel değerlerle uyumlu olan teorik asal eksenlerin dağılımı, (c) gözlemse P ve T eksenlerinin dağılımı. En iyi gerilme tensörü modelindeki maximum, ortanca ve minimum gerilme eksenlerinin azimut ve dalımları şeklin üst kısmında verilmektedir.

3.2. 18 Aralık 1980 Depreminin Sismik Moment Tensör Çözümü



Şekil 3.3. 18 Aralık 1980 Depreminin Sismik Moment Tensör Çözümü.

4. SONUÇLAR

Yakın deprem episenterlerinin yoğun grubunda bulunmamasına rağmen Irak bölgesi jeodinamik şekiller orta derecede yüksek sismik risk göstermektedir. Bu önemli yüksek nüfuslu şehirlerdeki korunmasızlıkla artacaktır. Sismolojik araştırma durumu, sismik gözlemler ve sismik zarar bilinci son iki yüzyıl boyunca daha iyi durumdadır. Bu çalışmada verilen bilgilerin Irak sismolojisinde daha detaylı ve sismik yöntem açıklamaları ve sismolojik mühendislik araştırmalarına teşvik etmesi umulmaktadır.

Irak depremleri orta ve sık derinlikte meydana gelmektedir. Depremlerin %90'ının odak derinlik seviyesi 30-50 km ve 4-5 büyüklüğündedir. Depremlerin sadece %8 den daha azı 5.5'ten daha büyüktür. Sismisite, Zagros-Toros kuşaklarının aktivitesi ile kontrol edilmektedir. Sismisitenin uzay-zaman dağılımına bakıldığında üç safha dikkat çekmektedir: 1900-1930, 1930-1960 ve 1960-Günümüz etkinliği ifade eden bağıntı

Log N = 5.8 - 0,7 M'dir

Literatürden elde edilmiştir.

Yer kabuğunun kalınlığı Zagros yükselme bölgesine doğru artma eğiliminde olduğu bulunmuştur. Kabuk değerleri Bağdat bölgesinde 38 km (V_c 6.3 km/san) olarak, Rutba'da 35-35 km (V_c 5.9 km/san, V_m 8.2 km/san), Musul'da 31-34 km (V_c 6.0km/san, V_m 8.3 km/san ve Süleymaniye'de 41-43 km (V_c 6.1 km/san, V_m 8.0 km/san. olarak değişmektedir.

Irak'ta yapılan attenuation çalışmaları depremlerin büyüklükleri ($m_b = 4.1-5.7$) ve dalgaların geçtiği yol Irak'ın Kuzey ve orta bölgelerini kapsamaktadır. Bu konuda yapılan araştırmada Nuttli (1980) amplitüd - uzaklık azalım eğrisi kullanılmış ve bölge için elde edilen azalım katsayısı $a = 0.0035 \text{ km}^{-1}$ dir.

Doğu Irak bölgesinde meydana gelen depremlerin faylanma mekanizmaları kullanılarak Bölgesel Gerilme Tensörü belirlenmiştir. Bu çalışma, faylanma mekanizmaları Harvard sismoloji grubu tarafından elde edilen ve 1977-2002 yılları arasında meydana gelen $M > 5.5$ depremlerini kapsamaktadır.

Yapılan analiz sonucunda en büyük, σ_1 , ortanca, σ_2 , ve en küçük, σ_3 , gerilme eksenlerinin doğrultu ve eğimleri sırasıyla şu şekilde elde edilmiştir; 218, 20; 311, 10; 66, 68. En büyük ve ortanca gerilme eksenlerinin yataya yakın, en küçük gerilme ekseninin düşeye yakın olması bölgedeki tektonik rejimin sıkışma olduğunu göstermektedir.

Ters çözüm işleminde gözlemsel sismogramlar ile teorik sismogramlar arasında en iyi uyumu veren sismik moment tensör aranmaktadır. Ters çözüm işleminden önce teorik sismogramlar (Green fonksiyonları) hesaplanmaktadır. Teorik sismogramların hesaplanmasında kullanılan kabuk modeli MSL istasyonun altındaki kabuk modelidir. Teorik sismogramlar farklı derinlikler için hesaplanarak gözlemsel sismogramlar ile karşılaştırılmış ve en iyi uyumu veren derinlik $H=10$ km olarak bulunmuştur. Hareket eden fayın doğrultusu, eğim ve atım sonucu 232, 89, 180 derece olarak belirtilmiştir.



5. KAYNAKLAR

- Alsinawi, S.A. & Al-Qasrani, Z.O, 2003, Earthquake Hazards Concideration For Irak, Dördüncü Uluslararası Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Konferansı, Tahran, İran.
- Alsinawi, S.A., 2002, Seismicity, Seismotectonics, Crustal Structure and attenuation data on Irak, REMLER Toplantısı, Antakya, Türkiye.
- Alsinawi S.A. & Al-Ridha, N ,1988 , Microseismicity Of Iraq 1974-1982, Iraqi Jour. Science. V. 29,No.1&2, p 91-108.
- Alsinawi, S.A. & Issa, A .A., 1986 , Seismicity and cismotectonics of Iraq, Jour. Geol.Soc. Of Iraq, V. J9,No.2, p 39-59..
- Al-Naqib, K.M. (1967) "Geology of the Arabian Peninsula Southeastern Iraq" US Geological Survey, Professional Paper 569 G, 1-47
- Buday, T. & Jassim S.Z. ,1987 , The Regional Geology of Iraq Tectonism, Magmatisin and Metamorphism, V.2. Iraqi Geological Survey and Mineral Investigation Press, Baghdad, 352p.
- Best,J.A.; Barazangi, M;Al-Saad.D. ;Sawaf.T. & Gebran A. (1993) " Continental Marin Evolution of the Northern Arabian Platform in Syria A.A.P.G. Bulletin. 77, p 173-193.
- Dahgani, G & Makris ,J (1984)"The Gravity Field and Crustal Structure of Iran "N.Jb.GeolPaleaonto.Abb-Sttugart, 168, p215-229.
- Dunnington, H.V. (1958) "Generation, Migration, Accumulation and Dissipation of Oil in Northern Iraq " Habitat of Oil, Weeks, L.G. (Editor) Amer. Assoc. Petr. Geol. Pp 1194-1251.
- Fahmi, K.J & Al Abbasi. J.N (1989)"Seismic Intensity Zoning and Earthquake Risk Mapping in Iraq" Natural Hazards, 2, p 1-12.
- Gephart, J.W.1990, FSMI: a Fortran program for inverting fault / slicken side and earthquake focal mechanism data to obtain the regional stress tensor, Comput. Geosci. 16, 953-989.

- Kikuchi, M. & Kanamori, H., 1991. Inversion of complex body waves – III Bull. Seism. Sol. Am., 81, 2335-2350.
- Knopoff, L. & Fouda, A. (1975) "Upper Mantle Structure Under The Arabian Peninsula" Tectonophysics, 26, p. 121-134.
- Sezgin, N., 2003, Doğu Anadolu'nun sismotektonik Özellikleri, Doktora Tezi, İ. Ü. Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.



ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Kerkük (Irak)'da doğdum. Orta ve lise öğrenimimi Kerkük lisesi'nde tamamladım. 1990 yılında girdiğim Musul Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Bölümü lisans programından 1994 yılında mezun oldum. Lisans programımın son 4 semestresinde Uygulamalı Jeofizik eğitimi gördüm. Askerliğimi Irak'ta yedek subay olarak tamamladıktan sonra, eğitimimi sürdürebilmek amacı ile 1999 yılında Türkiye'ye geldim. Yüksek Lisans programına katılmak için Kasım 1999'da Gazi Üniversitesi TÖMER' de bir yıl Türkçe eğitim ve dil bilgisi görmek mecburiyetinde kaldım. 2001 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Programına kayıt olup eğitimimi sürdürmekteyim.