

68893

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# SİSMİK MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜMÜYLE TÜRKİYE DEPREMLERİNİN ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Mehmet UTKU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Temmuz 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Ekim 1997

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Haluk EYİDOĞAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ülben EZEN

Prof. Dr. Özer KENAR

Prof. Dr. Mustafa AKTAR

Doç. Dr. Tuncay TAYMAZ

EKİM 1997

## ÖNSÖZ

Sismik Moment Tansör, bir deprem kaynağını matematik olarak tanımlamada gerek ve yeter şarttır. Buradan hareketle, bu doktora tezinde, hazırlanan bir bilgisayar yazılımıyla Türkiye'deki bazı telesismik depremlerin **Sismik Moment Tansörleri** kestirilmiştir. Elde edilen moment tansör bileşenleri ayrıştırılarak kaynağın kinematik özellikleri tanımlanmağa çalışılmış ve bölge tektoniği ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, moment tansör elemanları bilinen **Türkiye depremleri** için moment tansör analizleri yapılmış, çeşitli kaynak modellerine ait kompleks moment tansör tanımları ile moment tansör analizleri verilmiştir.

Bu doktoranın başlangıcından sonuçlanmasına yakın bir noktaya kadar tez danışmanlığımı yürüten ve yaşamın itirazsız sonucuna uyararak bu görevinden ve aramızdan ayrılmak zorunda kalan değerli hocam merhum **Prof.Dr.Nezihi CANITEZ**'i, birlikte olduğumuz süreçteki gerek bilimsel ve gerekse deneyimleriyle yapmış olduğu katkılarından dolayı rahmetle ve saygıyla anıyorum.

Bundan sonraki süreçte tez danışmanlığımı üstlenen değerli hocam **Prof.Dr. Haluk EYİDOĞAN** 'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Doktora programıma Yurtiçi Doktora Bursu ile katkı sağlayan **TÜBİTAK**'a, **TÜBİTAK-Bilim Adamı Yetiştirme Grubu** nezdinde teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, eşim **Y.Müh. Zuhale UTKU**'ya, **Dr. H.Sadi KULELİ**'ye, **Araş. Gör. Bülent KAYPAK**'a, **Arş.Gör. Orhan D. POLAT**'a, **Arş.Gör. Turgay İŞSEVEN**'e ve bölümümüzün diğer elemanlarına yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

İstanbul, Ekim 1997

Y. Müh. Mehmet UTKU

## İÇİNDEKİLER

|                                                                            | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| SEMBOL LİSTESİ.....                                                        | vi    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                         | viii  |
| TABLO LİSTESİ.....                                                         | xvi   |
| ÖZET.....                                                                  | xx    |
| SUMMARY.....                                                               | xxi   |
| <br>                                                                       |       |
| BÖLÜM 1. GİRİŞ.....                                                        | 1     |
| <br>                                                                       |       |
| BÖLÜM 2. SİSMİK MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜMÜ.....                             | 5     |
| 2.1. SİSMİK KAYNAK.....                                                    | 6     |
| 2.1.1. Eşdeğer Kuvvetler ve Moment Tansör Yoğunluğu.....                   | 6     |
| 2.1.2. Sismik Moment Tansör.....                                           | 7     |
| 2.2. GREEN FONKSİYONU.....                                                 | 10    |
| 2.3. SİSMOGRAM.....                                                        | 13    |
| 2.4. DOĞRUSAL MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜMÜ.....                               | 16    |
| 2.5. MOMENT TANSÖR AYRIŞIMI.....                                           | 18    |
| 2.6. TELESİSMİK CİSİM DALGALARI TERS ÇÖZÜMÜ.....                           | 21    |
| <br>                                                                       |       |
| BÖLÜM 3. DOĞRUSAL MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜM<br>ALGORİTMASI.....             | 24    |
| <br>                                                                       |       |
| BÖLÜM 4. TÜRKİYE TEKTONİĞİNE GENEL BİR BAKIŞ.....                          | 32    |
| <br>                                                                       |       |
| BÖLÜM 5. YAPILAN MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜMLERİ<br>ve TANSÖR ANALİZLERİ..... | 40    |
| 5.1. DALGA-ŞEKLİ VERİSİNİN HAZIRLANMASI.....                               | 42    |
| 5.2. KAYNAK BÖLGESİ HIZ YAPISI.....                                        | 42    |
| 5.3. 14 HAZİRAN 1964 MALATYA DEPREMİ.....                                  | 43    |
| 5.4. 25 MART 1969 DEMİRCİ DEPREMİ.....                                     | 49    |
| 5.5. 28 MART 1969 ALAŞEHİR DEPREMİ.....                                    | 62    |

|                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.6. 06 NİSAN 1969 KARABURUN DEPREMİ .....                                                                          | 75         |
| 5.7. 28 MART 1970 GEDİZ DEPREMİ .....                                                                               | 85         |
| 5.8. 22 MAYIS 1971 BİNGÖL DEPREMİ .....                                                                             | 96         |
| <b>BÖLÜM 6. SONUÇLARIN SİSMOLOJİDEKİ YERİ .....</b>                                                                 | <b>116</b> |
| 6.1. ÇÖZÜM DOĞRULUĞU .....                                                                                          | 116        |
| 6.1.1. Sentetik Örnekler .....                                                                                      | 116        |
| 6.1.2. Gerçek Örnekler .....                                                                                        | 126        |
| 6.1.3. Özgün Moment Tansörlere Örnekler.....                                                                        | 135        |
| 6.2. ÇÖZÜM DUYARLILIĞI.....                                                                                         | 137        |
| 6.3. BENZER ÇALIŞMALAR.....                                                                                         | 142        |
| 6.3.1. Türkiye Depremleri İçin Kestirilmiş Moment Tansörler.....                                                    | 142        |
| 6.3.2. Benzer Sonuçlara Örnekler .....                                                                              | 143        |
| <b>BÖLÜM 7. SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>                                                                             | <b>153</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                                                               | <b>157</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                                                                   | <b>173</b> |
| EK - A HATA HESABI.....                                                                                             | 174        |
| EK - B ALET BÜYÜTMELERİ .....                                                                                       | 176        |
| EK - C ŞEKİL 6.1'deki SENTETİK SİSMOGRAMLARDAN<br>YAPILAN DOĞRUSAL MOMENT TANSÖR TERS<br>ÇÖZÜM SONUÇLARI.....       | 177        |
| EK - D EN GENEL KOMPLEKS MOMENT TANSÖR<br>ve ANALİZ ÖZETİ .....                                                     | 184        |
| EK - E SIRF DEVİYATRİK MOMENT TANSÖRÜ TEMSİL<br>EDEN KOMPLEKS MOMENT TANSÖR ve<br>ANALİZ ÖZETİ.....                 | 187        |
| EK - F ÇEK-AYIR (pull - a - part) TÜRÜ BİR TEKTONİK<br>YAPIYI TEMSİL EDEN KOMPLEKS MOMENT<br>TANSÖR ve ANALİZİ..... | 190        |
| EK - G DOĞRULTU ATIMLI SAĞ YÖNLÜ BİR FAYIN<br>MOMENT TANSÖRÜ ve ANALİZ ÖZETİ .....                                  | 197        |



|               |                                                                                                             |            |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>EK - H</b> | <b>45° EĞİM ATIMLI BİR NORMAL FAYIN MOMENT<br/>TANSÖRÜ ve ANALİZ ÖZETİ .....</b>                            | <b>198</b> |
| <b>EK - I</b> | <b>LİSTRİK (Azalan Eğimli) FAYI TEMSİL EDEN<br/>KOMPLEKS MOMENT TANSÖR ve ANALİZİ .....</b>                 | <b>199</b> |
| <b>EK - J</b> | <b>13 Mart 1992 ERZİNCAN DEPREMİ İÇİN HRVD<br/>TARAFINDAN KESTİRİLEN MOMENT TANSÖR<br/>ve ANALİZİ .....</b> | <b>206</b> |
| <b>EK - K</b> | <b>SIKIŞTIRILMIŞ LİNEER VEKTÖR DİPOL (CLVD) .....</b>                                                       | <b>212</b> |
| <b>EK - L</b> | <b>YERKABUĞU MODELİ DENEMELERİ.....</b>                                                                     | <b>214</b> |
|               | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                        | <b>216</b> |



## SEMBOL LİSTESİ

|                 |   |                                            |
|-----------------|---|--------------------------------------------|
| $u_j$           | : | Yerdeğiştirme alanı                        |
| $f_j$           | : | Eşdeğer cisim kuvvetleri                   |
| $S_{ij}$        | : | Fiziksel gerilme alanı                     |
| $\tau_{ij}$     | : | Model gerilme alanı                        |
| $m_{ij}$        | : | Moment tansör yoğunluğu                    |
| $M$             | : | Sismik moment tansör                       |
| $M_0$           | : | Skaler sismik moment                       |
| $Q(r,z;\omega)$ | : | P dalgası yerdeğiştirme potansiyeli        |
| $J_i(kr)$       | : | i. dereceden birinci tür Bessel fonksiyonu |
| $G_{kj}$        | : | Green fonksiyon                            |
| $T$             | : | Gerilme eksen                              |
| $P$             | : | Basınç eksen                               |
| $B$             | : | Sıfır (null) eksen                         |
| $\Omega(t)$     | : | Kaynak-zaman fonksiyonu                    |
| $\alpha$        | : | P dalgası hızı                             |
| $\beta$         | : | S dalgası hızı                             |
| $\rho$          | : | Yoğunluk                                   |
| $m_b$           | : | Cisim dalgası magnitudü                    |
| $M_s$           | : | Yüzey dalgası magnitudü                    |
| $\Delta$        | : | Episantr uzaklığı                          |
| $t^*$           | : | Atenüasyon parametresi                     |
| $K$             | : | Kuzey                                      |
| $G$             | : | Güney                                      |
| $D$             | : | Doğu                                       |
| $B$             | : | Batı                                       |
| $KAF$           | : | Kuzey Anadolu Fayı                         |
| $DAF$           | : | Doğu Anadolu Fayı                          |

|        |   |                                                                                       |
|--------|---|---------------------------------------------------------------------------------------|
| DAFZ   | : | Doğu Anadolu Fay Zonu                                                                 |
| En     | : | 10 <sup>n</sup>                                                                       |
| SYN4   | : | Telesismik cisim dalgaları ters çözümü bilgisayar yazılımı (Software package).        |
| SMTIN  | : | Sismik moment tansör ters çözümü bilgisayar yazılımı                                  |
| CMTDEC | : | Kompleks moment tansör ayrışımı bilgisayar yazılımı                                   |
| DECOM1 | : | Küresel koordinatlardaki moment tansör ayrışımı bilgisayar yazılımı                   |
| MT     | : | Moment Tansör                                                                         |
| CMT    | : | Odaksal (centroid) moment tansör                                                      |
| EKK    | : | En Küçük Kareler                                                                      |
| SVD    | : | Tekil değer ayrışımı (Singular Value Decomposition)                                   |
| STF    | : | Kaynak-zaman fonksiyonu (Source Time Function)                                        |
| ISC    | : | Uluslararası Sismoloji Merkezi (International Seismological Center)                   |
| NEIC   | : | Ulusal Deprem Bilgi Merkezi (National Earthquake Information Center )                 |
| HRVD   | : | Harvard                                                                               |
| WWSSN  | : | Dünya kapsamında standart sismograf ağı (World-Wide Standardized Seismograph Network) |
| LPZ    | : | Uzun peryot düşey (Z) bileşen sismografi                                              |
| EMTk   | : | k. Elementer Moment Tansör                                                            |
| İB     | : | İzotropik Bileşen                                                                     |
| Mj.C   | : | Büyük kuvvet-çifti (Major Couple)                                                     |
| Mn.C   | : | Küçük kuvvet-çifti (Minor Couple)                                                     |
| DC     | : | Çift kuvvet-çifti (Double-Couple)                                                     |
| BDC    | : | En iyi ikili kuvvet-çifti (Best Double-Couple)                                        |
| VD     | : | Vektör Dipol                                                                          |
| CLVD   | : | Sıkıştırılmış (Compensated) Lineer Vektör Dipol                                       |
| S/N    | : | Sinyal / Gürültü oranı                                                                |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                          | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Şekil 1.1</b> Bir kaynağın; 1 izotropik bileşen, 1 ikili kuvvet-çifti, 1 sıkıştırılmış doğrusal vektör dipol olarak ayrışımının şematik görünümü..... | 4     |
| <b>Şekil 2.1</b> Fay yönelim parametreleri ile kartezyen koordinatların tanımı .....                                                                     | 9     |
| <b>Şekil 2.2</b> Telesismik cisim dalgaları için Green fonksiyonlarını hesaplama tekniğinin şematik görünümü.....                                        | 13    |
| <b>Şekil 2.3</b> Kuramsal kaynak-zaman fonksiyonu.....                                                                                                   | 22    |
| <b>Şekil 3.1</b> WWSSN uzun peryot sismograflarının frekans tepkileri.....                                                                               | 26    |
| <b>Şekil 4.1</b> Türkiye’deki faal levha sınırları ve paleotektonik bölgeler.....                                                                        | 33    |
| <b>Şekil 4.2</b> Türkiye’nin neotektonik bölgeleri.....                                                                                                  | 35    |
| <b>Şekil 4.3</b> Ege Bölgesi tektonik birlikleri .....                                                                                                   | 38    |
| <b>Şekil 5.1</b> Bu çalışmada kullanılan depremlere ait P dalgası ilk hareket yönlerinden saptanan fay düzlemi çözümleri .....                           | 41    |
| <b>Şekil 5.2</b> 14 Haziran 1964 Malatya depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü. ....                         | 44    |
| <b>Şekil 5.3</b> 14 Haziran 1964 Malatya depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. ....                     | 46    |

|                   |                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.4</b>  | 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü.....                                                                                                                     | 47 |
| <b>Şekil 5.5</b>  | 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansörün, $(\bar{I}B+M_j.C+M_n.C)$ şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....    | 50 |
| <b>Şekil 5.6</b>  | 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansörün en iyi çift kuvvet-çifti çözümünden elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....                | 51 |
| <b>Şekil 5.7</b>  | 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansörün, $(\bar{I}B+DC+CLVD)$ şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....        | 52 |
| <b>Şekil 5.8</b>  | 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansörün, $(\bar{I}B+DC+DC+DC)$ şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....        | 53 |
| <b>Şekil 5.9</b>  | 14 Haziran 1964 Malatya Depremi için moment tansörün, $(\bar{I}B+CLVD+CLVD+CLVD)$ şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi çözümleri. .... | 54 |
| <b>Şekil 5.10</b> | 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansörün, $(\bar{I}B+VD+VD+VD)$ şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri ve Elementer Moment Tansörler .....                                        | 55 |
| <b>Şekil 5.11</b> | Doğu Anadolu Fay zonunun tektonik görünümü ve bazı depremlerin fay düzlemi çözümleri .....                                                                                                                          | 57 |
| <b>Şekil 5.12</b> | 25.03.1969 Demirci, 28.03.1969 Alâşehir ve 28.03.1970 Gediz depremleri için telesismik dalga şekli ters çözümünden elde edilen fay düzlemi çözümleri. (Eyidoğan ve Jackson, 1985). ....                             | 59 |

|                   |                                                                                                                                                                                                                  |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.13</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi için telesismik dalga-şekli<br>ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü. ....                                                                                                  | 60 |
| <b>Şekil 5.14</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi gözlemsel P dalgası<br>düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. ....                                                                                              | 61 |
| <b>Şekil 5.15</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansör<br>bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü.....                                                                                                                  | 63 |
| <b>Şekil 5.16</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansörün,<br>(İB+Mj.C+Mn.C) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer<br>Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve<br>Elementer Fay Düzlemi çözümleri .....     | 65 |
| <b>Şekil 5.17</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansörün en iyi<br>çift kuvvet-çifti çözümünden elde edilen Eşdeğer Kuvvet<br>Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay<br>Düzlemi Çözümleri .....       | 66 |
| <b>Şekil 5.18</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi için Moment tansörün,<br>(İB+DC+CLVD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer<br>Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve<br>Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....       | 67 |
| <b>Şekil 5.19</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansörün,<br>(İB+DC+DC+DC) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer<br>Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve<br>Elementer Fay Düzlemi Çözümleri .....      | 68 |
| <b>Şekil 5.20</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansörün,<br>(İB+CLVD+CLVD+CLVD) şeklinde ayrışımından elde<br>edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment<br>Tansörler ve elementer Fay Düzlemi Çözümleri..... | 69 |
| <b>Şekil 5.21</b> | 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansörün,<br>(İB+VD+VD+VD) şeklinde ayrışımından elde edilen<br>Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri ve Elementer Moment Tansörler .....                                          | 70 |

|                   |                                                                                                                                                                                                          |    |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.22</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü .....                                                                                            | 72 |
| <b>Şekil 5.23</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. ....                                                                                        | 73 |
| <b>Şekil 5.24</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü.....                                                                                                            | 74 |
| <b>Şekil 5.25</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için moment tansörün, (İB+Mj.C+Mn.C) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay düzlemi çözümleri.....      | 76 |
| <b>Şekil 5.26</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için moment tansörün en iyi çift kuvvet-çifti çözümünden elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi çözümleri .....       | 77 |
| <b>Şekil 5.27</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için moment tansörün, (İB+DC+CLVD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri .....       | 78 |
| <b>Şekil 5.28</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için moment tansörün, (İB+DC+DC+DC) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri.....       | 79 |
| <b>Şekil 5.29</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için moment tansörün (İB+CLVD+CLVD+CLVD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. .... | 80 |
| <b>Şekil 5.30</b> | 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için moment tansörün (İB+VD+VD+VD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri ve Elementer Moment Tansörler. ....                                        | 81 |

|                   |                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.31</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü. ....                                                                                             | 83 |
| <b>Şekil 5.32</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. ....                                                                                         | 84 |
| <b>Şekil 5.33</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü.....                                                                                                             | 85 |
| <b>Şekil 5.34</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment tansörün, (İB+Mj.C+Mn.C) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....      | 87 |
| <b>Şekil 5.35</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment tansörün en iyi çift kuvvet-çifti çözümünden elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....        | 88 |
| <b>Şekil 5.36</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment tansörün, (İB+DC+CLVD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....        | 89 |
| <b>Şekil 5.37</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment tansörün, (İB+DC+DC+DC) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....       | 90 |
| <b>Şekil 5.38</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment tansörün, (İB+CLVD+CLVD+CLVD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri ..... | 91 |
| <b>Şekil 5.39</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment tansörün, (İB+VD+VD+VD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri ve Elementer Moment Tansörler.....                                         | 92 |



|                   |                                                                                                                                                                                                                        |     |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.40</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyü elde edilen fay düzlemi çözümü.....                                                                                                               | 94  |
| <b>Şekil 5.41</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. ....                                                                                                         | 95  |
| <b>Şekil 5.42</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü.....                                                                                                                             | 97  |
| <b>Şekil 5.43</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansörün ( $\dot{I}B + Mj.C + Mn.C$ ) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....         | 98  |
| <b>Şekil 5.44</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansörün en iyi çift kuvvet-çifti çözümünden elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....                        | 99  |
| <b>Şekil 5.45</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansörün, ( $\dot{I}B + DC + CLVD$ ) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....          | 100 |
| <b>Şekil 5.46</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansörün, ( $\dot{I}B + DC + DC + DC$ ) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....       | 101 |
| <b>Şekil 5.47</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansörün, ( $\dot{I}B + CLVD + CLVD + CLVD$ ) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. .... | 102 |
| <b>Şekil 5.48</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansörün ( $\dot{I}B + VD + VD + VD$ ) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri ve Elementer Moment Tansörler. ....                                         | 103 |
| <b>Şekil 5.49</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyü elde edilen fay düzlemi çözümü. ....                                                                                                            | 105 |

|                   |                                                                                                                                                                                                          |     |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.50</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. ....                                                                                         | 108 |
| <b>Şekil 5.51</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü.....                                                                                                             | 109 |
| <b>Şekil 5.52</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansörün, (İB+Mj.C+Mn.C) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....      | 110 |
| <b>Şekil 5.53</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansörün en iyi çift kuvvet-çifti çözümünden elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....        | 111 |
| <b>Şekil 5.54</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansörün, (İB+DC+CLVD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri .....        | 112 |
| <b>Şekil 5.55</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansörün, (İB+DC+DC+DC) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. ....        | 113 |
| <b>Şekil 5.56</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansörün, (İB+CLVD+CLVD+CLVD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri, Elementer Moment Tansörler ve Elementer Fay Düzlemi Çözümleri. .... | 114 |
| <b>Şekil 5.57</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansörün (İB+VD+VD+VD) şeklinde ayrışımından elde edilen Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri ve Elementer Moment Tansörler.....                                          | 115 |
| <b>Şekil 6.1</b>  | Sentetik sismogramların hesaplanmasında kullanılan fay mekanizması ve üretilen P dalgası düşey (z) bileşen sentetik sismogramları.....                                                                   | 117 |

|                  |                                                                                                                                                                             |     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.2</b> | Sönümlü en küçük karaler yönteminde kullanılan $\delta u = f(\beta)$ hata eğrisi. ....                                                                                      | 127 |
| <b>Şekil 6.3</b> | SYN4 ile hesaplanan P dalgası düşey (z) bileşen sentetik sismogramları ve kullanılan kaynaklara ait fay mekanizmaları. ....                                                 | 128 |
| <b>Şekil 6.4</b> | 13 Mart 1992 Erzincan depremine ait fay düzlemi çözümü ve dalga şekilleri (BISC, 1992, March; s.332). ....                                                                  | 132 |
| <b>Şekil 6.5</b> | 02 Mart 1992 Kamchatka depremine ait Fay düzlemi çözümü ve dalga şekilleri (BISC, 1992, March; s.330). ....                                                                 | 137 |
| <b>Şekil 6.6</b> | Çek-ayır (pull - a - part) türü bir tektonik yapının şematik görünümü. ....                                                                                                 | 139 |
| <b>Şekil 6.7</b> | Listrik fayın şematik görünümü. ....                                                                                                                                        | 140 |
| <b>Şekil 6.8</b> | Türkiye ve çevresindeki, 1980 - Ocak1994 sürecine ait depremler için kaynağı oluşturan eşdeğer kuvvetlerin katkı oranlarını sergileyen episantr dağılım haritası. ....      | 147 |
| <b>Şekil 7.1</b> | 14.06.1964(1), 25.03.1969(2), 28.03.1969(3), 06.04.1969(4), 28.03.1970(5) ve 22.05.1971(6) depremlerinin episantrları ile kaynağı oluşturan Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri..... | 155 |
| <b>Şekil K.1</b> | Bir Sıkıştırılmış Lineer Vektör Dipol'ün (CLVD) 2 ikili kuvvet-çiftinin (DC) toplamı olarak, şematik görünümü.....                                                          | 213 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                    | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Tablo 3.1</b> Bu doktora tezinde yapılan ters çözümün ana işlem adımları .....                                                  | 25    |
| <b>Tablo 3.2</b> SMTIN yazılım paketinin ana işlem algoritması .....                                                               | 28    |
| <b>Tablo 3.3</b> SMTIN yazılım paketindeki “Sismogramların Ters Çözümüne Hazırlanması” aşamasının ayrıntılı işlem algoritması..... | 29    |
| <b>Tablo 3.4</b> SMTIN yazılım paketindeki “Ters Çözüm” aşamasının ayrıntılı işlem algoritması.....                                | 30    |
| <b>Tablo 3.5</b> SMTIN yazılım paketindeki “Hata Hesabı” aşamasının ayrıntılı işlem algoritması.....                               | 30    |
| <b>Tablo 3.6</b> SMTIN yazılım paketindeki “Ayrıştırma” aşamasının ayrıntılı işlem algoritması.....                                | 31    |
| <b>Tablo 5.1</b> Bu çalışmada kullanılan depremlerin kronolojik listesi .....                                                      | 40    |
| <b>Tablo 5.2</b> Bu çalışmada kullanılan hız yapıları .....                                                                        | 43    |
| <b>Tablo 5.3</b> 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansöre ait özdeğer (eigen value) ve özvektörler (eigen vector). .... | 48    |
| <b>Tablo 5.4</b> 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansöre ait özdeğer ve özvektörler. ....                                 | 58    |
| <b>Tablo 5.5</b> 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için moment tansöre ait özdeğer ve özvektörler .....                                | 70    |

|                  |                                                                                                                                                                      |     |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 5.6</b> | 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment tansöre ait<br>özdeğer ve özvektörler .....                                                                              | 83  |
| <b>Tablo 5.7</b> | 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansöre ait<br>özdeğer ve özvektörler .....                                                                                   | 96  |
| <b>Tablo 5.8</b> | 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansöre ait<br>özdeğer ve özvektörler .....                                                                                 | 104 |
| <b>Tablo 6.1</b> | Şekil 6.1'deki sentetik sismogramlardan yapılan doğrusal<br>moment tansör ters çözüm özet sonuçları.....                                                             | 119 |
| <b>Tablo 6.2</b> | Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 6'sı ile yapılan<br>doğrusal moment tansör ters çözüm özet sonuçları.....                                                 | 121 |
| <b>Tablo 6.3</b> | Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 5 'i ile yapılan<br>doğrusal moment tansör ters çözüm özet sonuçları.....                                                 | 122 |
| <b>Tablo 6.4</b> | Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 4'ü ile yapılan<br>doğrusal moment tansör ters çözüm özet sonuçları.....                                                  | 123 |
| <b>Tablo 6.5</b> | Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 3'ü ile S.V.D.<br>yöntemi kullanılarak yapılan doğrusal moment tansör ters<br>çözüm özet sonuçları. ....                  | 124 |
| <b>Tablo 6.6</b> | Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 3'ü ile sönümlü<br>en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan doğrusal<br>moment tansör ters çözüm özet sonuçları..... | 125 |
| <b>Tablo 6.7</b> | Şekil 6.3'de kullanılan kaynağın moment tansör tanımı ve<br>özet analizi. ....                                                                                       | 129 |
| <b>Tablo 6.8</b> | Şekil 6.3'deki dalga şekillerinin doğrusal moment tansör<br>ters çözümünden elde edilen özet sonuçlar. ....                                                          | 131 |
| <b>Tablo 6.9</b> | Şekil 6.4'deki dalga şekillerinden yapılan doğrusal moment<br>tansör ters çözümü özet sonuçları. ....                                                                | 133 |

|                   |                                                                                                                                                                                  |     |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 6.10</b> | 13 Mart 1992 Erzincan depremi için ISC tarafından verilen çözümlerin kupürü (BISC, 1992, March; s.134).....                                                                      | 134 |
| <b>Tablo 6.11</b> | 13 Mart 1992 Erzincan depremi için HRVD tarafından kestirilen moment tansörün DECOM1 ile yapılan analizinden elde edilen özet sonuçlar. ....                                     | 135 |
| <b>Tablo 6.12</b> | 13 Mart 1992 Erzincan depremi için NEIC tarafından kestirilen moment tansörün DECOM1 ile yapılan analizinden elde edilen özet sonuçlar. ....                                     | 136 |
| <b>Tablo 6.13</b> | Şekil 6.5'deki dalga şekillerinden yapılan doğrusal moment tansör ters çözümü özet sonuçları. ....                                                                               | 138 |
| <b>Tablo 6.14</b> | 02 Mart 1992 Kamchatka depremi için ISC tarafından verilen çözümlerin kupürü (BISC, 1992, March; s.13).....                                                                      | 139 |
| <b>Tablo 6.15</b> | 02 Mart 1992 Kamchatka depremi için HRVD tarafından kestirilen moment tansörün DECOM1 ile yapılan analizinden elde edilen özet sonuçlar. ....                                    | 140 |
| <b>Tablo 6.16</b> | 02 Mart 1992 Kamchatka depremi için NEIC tarafından kestirilen moment tansörün DECOM1 ile yapılan analizinden elde edilen özet sonuçlar. ....                                    | 141 |
| <b>Tablo 6.17</b> | Doğrusal moment tansör ters çözümleri için çözüm duyarlılıkları.....                                                                                                             | 144 |
| <b>Tablo 6.18</b> | ISC kataloglarında moment tansörü verilen, 1980-Ocak1994 sürecine ait Türkiye, Ege denizi ve Akdeniz depremleri ile 01.10.1995 ve 05.12.1995 depreminin kronolojik listesi ..... | 145 |
| <b>Tablo 6.19</b> | Fitch ve diğ. (1981)'den sonuçlar. Sayfa 9362, Tablo 2.....                                                                                                                      | 148 |
| <b>Tablo 6.20</b> | Fitch ve diğ. (1981)'den sonuçlar. Sayfa 9367, Tablo 4.....                                                                                                                      | 149 |

|                   |                                                                                                                                                  |     |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 6.21</b> | Fitch ve diğ. (1981)'den sonuçlar. Sayfa 9368, Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7. ....                                                                   | 150 |
| <b>Tablo 6.22</b> | Fitch ve diğ. (1980)'den sonuçlar. Sayfa 3823, Tablo 1. (Devamı). ....                                                                           | 151 |
| <b>Tablo 6.23</b> | Fitch ve diğ. (1980)'den sonuçlar. Sayfa 3826, Table 2. ....                                                                                     | 152 |
| <b>Tablo 7.1</b>  | Bu çalışmada kullanılan depremlere ait eşdeğer kuvvet bileşenlerinin kaynağa ve kaynağın deviyatrik bileşenine katkı oranları .....              | 156 |
| <b>Tablo B.1</b>  | Bu çalışmada kullanılan sismogramları kaydeden WWSSN istasyonlarının alet büyötmeleri (instrument magnification) .....                           | 176 |
| <b>Tablo K.1</b>  | (K.1) eşitliğıyle verilen moment tansöre ait özdeğer ve özvektörler ile her biri ikili kuvvet-çifti olarak tanımlanan ayrışımın özdeğerleri..... | 212 |
| <b>Tablo L.1</b>  | Lineer moment tansör ters çözümleri açısından, Türkiye'nin batısı ile doğusu arasındaki yerkabuğı modellerinin karşılaştırılması .....           | 214 |

## ÖZET

Klâsik fay düzlemi çözümleri ya da kaynakla ilgili bilgi edinme yöntemleri, genellikle, deprem kaynağının bir ikili kuvvet-çifti (double couple) olduğu varsayımına dayanır. Halbuki bu tür sismik kaynakların tamamen ikili kuvvet-çifti olmadığı da en azından kuramsal bir gerçektir. Alternatif olarak, deprem kaynağındaki kuvvetler bir tansör olarak yorumlanabilir. Deprem kaynağını bir moment tansör ile tanımlamak, hem sismik kaynağı karakterize eden tüm kuvvetlerin belirlenmesini, hem de deprem kaynağının özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Bu amaçla, bu çalışmada, doğrusal moment tansör ters çözümü ve moment tansörün analizini yapan bir bilgisayar yazılımı hazırlanmış ve gözlemsel telesismik deprem kayıtlarına uygulanmıştır. Türkiye’de olmuş, magnitüdları ( $m_b$ ) 6 civarında olan 6 adet telesismik deprem için, WWSSN istasyonlarında kaydedilmiş P dalgası fazlarının kullanıldığı bu çözümler, iki aşamadan oluşmaktadır. Önce, her depremin dalga-şekli tersçözümü yapılmış, sonra da Doğrusal Moment Tansör Tersçözümü ile depremlerin moment tansörleri kestirilmeğe çalışılmıştır. Aynı bilgisayar yazılımıyla moment tansörlere uygulanmış olan bir dizi ayrıştırma (decomposition) işlemleri sonucunda, incelenen Batı Anadolu depremlerinde daha çok çekme gerilmesinin (tensile stress) baskın olduğu, Doğu Anadolu Fay Zonundaki depremlerde ise bir sıkıştırma bileşeniyle birlikte makaslama hareketinin de egemen olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç; Batı Anadolu’da bir açılma, Doğu Anadolu’da bir sıkışma rejiminin sürdüğü şeklindeki Türkiye’nin genç tektonik (neotektonik) yorumunu desteklemektedir. Ayrıca, Türkiye ve çevresinde olan ve moment tansörleri bilinen 38 adet depremin moment tansör analizleri yapılmış, benzer sonuçlar veren bazı çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Bunların yanısıra, çeşitli kaynak modelleri için kompleks moment tansör tanımları ve analizleri verilmiştir. Yapılan testlerle, elde edilen sonuçların bugünkü olanaklarla isabetli olduğu ortaya çıkmıştır.



# **THE ANALYSIS OF MAJOR EARTHQUAKES IN TURKEY USING THE SEISMIC MOMENT TENSOR INVERSION**

## **SUMMARY**

One of the main goal in seismology is to describe the physics of the seismic source. A common approach is the approximation of seismic sources by a model of equivalent body forces if a seismic event involves no extend bodies, its source can be described phenomenological by a vector field or by any one of three kinds of symmetric second order tensor fields. The vector field is the equivalent force. The tensor fields are the stress-free strain, the stress glut and any other moment tensor density.

In the conventional focal mechanism solution, usually, a double couple force system is assumed. On the other hand it is known that seismic source is not a double couple in most of the cases. It is shown theoretically that the seismic source can be represented perfectly by a seismic moment tensor, and in turn, the most generalized representation of the force system acting at the earthquake source can be obtained from the inversion of seismic moment tensor. Then seismic moment tensor is necessary and sufficient condition for the description of the physics of seismic sources. This is a quantity, and it characterizes all the information about the source.

Knopoff and Gilbert (1960) investigated the seismic radiation for variety shear dislocation sources. The equivalent body forces are defined by Burridge and Knopoff (1964). Gilbert (1970), introduced the seismic moment tensor for calculating the excitation normal modes of free oscillation of the earth. The concept of a seismic moment tensor, has been defined as the volume integral of the stress drop. Knopoff and Randall (1970) represented the equivalent forces by a linear vector dipole. Randall (1971) showed that seismic moment of a generalized dislocation is a tensor. Gilbert (1973) gives the moment tensor elements for an isotropic source, a shear dislocation and a compensated linear vector dipole. Buland and Gilbert (1976) designed a matched filtering for seismic moment tensor.

By using the representation theorem for seismic sources the observed displacement at an arbitrary position ( $x$ ) at the time ( $t$ ) due to a distribution of equivalent body forces ( $f_j$ ) in a source region is

$$u_k(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_V G_{kj}(x, t; r, \bar{t}) f_j(r, \bar{t}) d^3r dt$$

where  $(G_{kj})$  are the components of the Green's function, and  $(r, \bar{t})$  are coordinates of source point. The subscript  $k$  indicates the component of the displacement. Hence, the observed displacement is

$$u_k(x, t) = [G_{kj,i} * s(\bar{t})] m_{ij}$$

where  $*$  denotes the temporal convolution, and  $s(\bar{t})$  is source time function.  $m_{ij}$  are constant representing the components of the second rank seismic moment tensor. Then, generally, the observed displacement in matrix form is

$$u = Gm$$

This is the seismogram is a linear combination of the seismic moment tensor and the Green's function. The linearity between the Green's function elements and the moment tensor was first used by Gilbert (1973) for moment tensor inversion. Green's function is the impulse response of the medium between source and receiver. Wang and Herrmann (1980), Herrmann and Wang (1985) presented expression for the 10 Green's functions required to describe the wave field due to an arbitrary point dislocation source and a point explosion buried in a plane layered elastic medium. (Bouchon, 1981) expressed the Green's function for an elastic layered medium as a double integral over frequency and horizontal wave number, who shows that for any time window, the wave number integral can be exactly represented by a discrete summation. The concept seismic moment tensor was further extended by Backus and Mulcahy (1976) and Backus (1977 a,b). Moment tensor can be determined from free oscillations of the earth (e.g. Gilbert and Dziewonski, 1975), long-period surface waves (e.g. McCowan, 1976; Mendiguren, 1977; Aki and Patton, 1978; Kanamori and Given 1981, 1982; Nakanishi and Kanamori, 1982, 1984), and long-period body waves (e.g. Stump and Johnson, 1977; Strelitz, 1978, 1980 a,b; Fitch et al., 1980, 1981; Langston, 1981; Dziewonksi et al., 1981; Dziewonski and Woodhouse, 1983 a, b; Jost and Herrmann, 1989; Kikuchi and Kanamori 1991). Fitch et al. (1981) compared moment tensors from surface waves and body waves.

Thus, if the Green's function representing the medium is known, seismic moment tensor can be inverted from the seismogram. This kind of parameterization gives us a set of linear equations. Then, linear inverse theory can be applied to solve this problem. It can be performed either in time or

frequency domain. This is called “the linear moment tensor inversion”. The linear moment tensor inversion is estimated by six independent moment tensor components.

As the result of the decomposition each elementary moment tensor obtained from decomposition procedure represents corresponding force component. The equivalent forces can be determined from an analysis of the eigenvalues and eigenvectors of the moment tensor. The moment tensor can be decomposed into an isotropic and deviatoric component (Fitch et al., 1980; Jost and Herrmann, 1989), or a major and minor double couple (Ben-Menahem and Singh, 1981; Kanamori and Given, 1981; Jost and Herrmann, 1989), or an isotropic part (IP) and double couple (DC) and compensated linear vector dipole (CLVD) (Knopoff and Randall, 1970; Ben-Menahem and Singh, 1981; Jost and Herrmann, 1989). Besides a complete moment tensor can be the superposition of an isotropic component and three vector dipoles (or three CLVD’s or three double couple, Ben-Menahem and Singh, 1981; Jost and Herrmann, 1989). The eigenvectors corresponding to each eigenvalues give the principal axes of source mechanism.

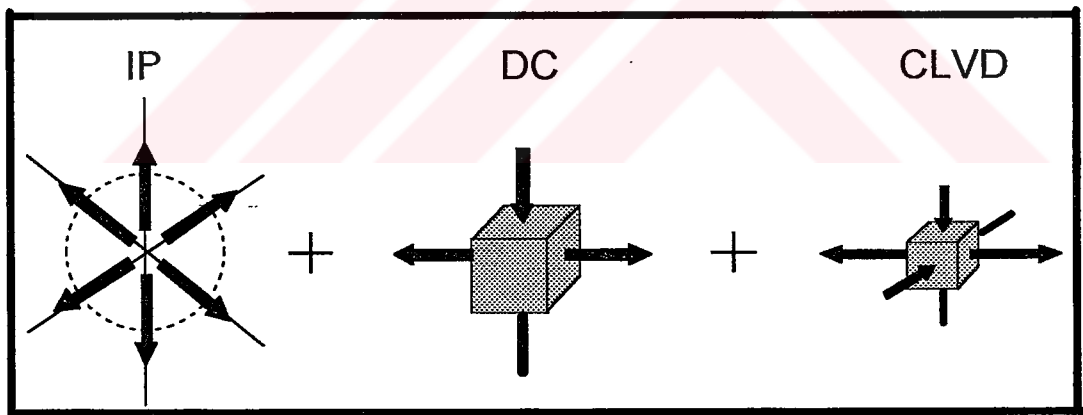


Figure S.1 The schematic view of a moment tensor source that it is decomposed into an isotropic part (IP), a double couple (DC) and compensated linear vector dipole (CLVD).

The centroid moment tensor solution have been proposed by Dziewonski et al. (1981). This method is a nonlinear iterative method as different than the linear inversion method. Many application of the centroid moment tensor inversion have been performed for the regional and local scale studies by Dziewonski and Woodhouse (1983 a,b), Woodhouse and Dziewonski (1984), Ekström and Dziewonski (1985). Additional of the source

characteristics the lateral heterogeneity of the earth have been investigated by the Patton (1980), Romanowicz (1981), Nakanishi and Kanamori (1982), Dziewonski et al., (1984). In this study, second-rank time independent moment tensors are used. The higher order solution of the 2 moment tensor have been implimented by Backus and Mulcahy (1976), Backus (1977 a,b), Stump and Johnson (1982), Dziewonski and Woodhouse (1983 a). Also the time dependent moment tensor solution have been implemented by Dziewonski and Gilbert (1974), Gilbert and Dziewonski (1975), Backus and Mulcahy (1976), Backus (1977 a), Stump and Johnson (1977), Strelitz (1980), Sipkin (1982), Vasco and Johnson (1988).

In the present study 6 earthquakes selected from Western Anatolian region and East Anatolian Fault have been analyzed by using linear moment tensor inversion method. The seismograms have been obtained from the 82 WWSSN type stations. Their epicentral distances range between about  $30^{\circ}$  and  $90^{\circ}$ . The seismograms have been digitized with the 0.5 and 1 sec sample rates.

Dominant moment tensor elements of the teleseismic earthquakes have been investigated by linear moment tensor inversion method. The process of the calculation of moment tensor elements of the earthquakes have been performed in two steps. In the first step, the source parameters and source time function of the earthquake have been estimated using the waveform inversion method. In the second step, the best double couple solution of the moment tensor is estimated, and the moment tensor is decomposed. The dominant equivalent force of the moment tensor that represents the source, is determined by the decomposition process which gives the contribution rate of the equivalent body forces.

The results obtained from the inverse solution show that two earthquakes from Eastern Anatolian Fault zone (14.06.1964, 22.05.1971) have a dominant double couple component. These two earthquakes have also isotropic components which represents an implosion type source. The four events from the west Anatolia region (25.03.1969, 28.03.1969, 06.04.1969, 28.03.1970) display tensile crack type source. The contribution rates of double couple are fairly low, with a rate of less than 30%.

The source types in both two regions seems to be coherent with tectonic kinematics of the regions. As the yield of the compression regime in the Eastern Anatolia, this kinematic nature have been represented by thrust faults in the region. The isotropic components of the moment tensor solution indicate an implosive type volume change. The result may represent the thickening crust in the region. The tensile crack type sources are appropriated with the normal faults of the western Anatolia. These faults are the results of the extension in the region.

In chapter 6, our analysing method was applied to 38 earthquakes which occurred in Turkish and surroundings for which moment tensor elements given by ISC bulletin. As an examples, one of the decomposition results is given in Appendix-J. This is a decomposition of the moment tensor estimated by HRVD for 13 March 1992 Erzincan earthquake. The results show that the 79% of the 38 earthquakes have a dominant double couple source, and remaining the 21% have a dominant CLVD component. The proportion of earthquakes that have a CLVD component of 20% or greater is 53%.

Several specific source models have been examined to find the rate of distortion on the P waveforms in time domain and the amount of deflection from DC components. The examined source models are pull-a-part rupture and a listric fault respectively. The results for there models are given in Appendices D through F.



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Bir bölgedeki aktif tektonizma, o bölgede etkili litosfer hareketlerine ve deformasyonlarına bağlı bir takım olaylarla biçimlenir. Denge durumundaki kuvvet sisteminde meydana gelen bir farklılaşma, bu dinamik dengenin bozulmasına neden olur. Bozulan kuvvet dengesinin bir sonucu olarak, ortamda, bazı kırılmalar, çökmeler, yükselmeler, genişleme ve daralmalar gibi tektonizmanın değiştiğini gösteren farklı oluşumlar ortaya çıkar. Buradaki “Nedeni” bulmak, bugüne kadar tüm yerbilimlerinin ortak araştırma alanını oluşturmuştur. Bundan sonra da gündemde kalmaya devam edecektir.

Bir sismik kaynak (burada deprem kaynağı anlamında kullanılacaktır) çalışmasındaki temel amaç, kaynağın fizik özelliklerinin belirlenmesidir. Eğer bir sismik olay, gerçekleşmiş olduğu ortamla ilgili deliller taşıyorsa, bu olayın kaynağı (indigenous source), fiziksel olarak ya bir vektör alanı ile ya da 3 tür tansör alanından herhangi biri ile tanımlanabilir. Vektör alanı, bir eşdeğer kuvvettir. Tansör alanları ise Serbest-Gerilme Deformasyonu, Gerilme Fazlalığı (stress glut) ve Moment Tansör Yoğunluğudur. Bunlar simetrik ve 2.mertebeden (rank) tansörlerdir (Backus ve Mulcahy, 1976; Geller, 1976; Kennet, 1983). Sismik kaynak kinematığının tanımlanması doğrultusundaki ortak yaklaşım, kaynak bölgesi içindeki bir eşdeğer kuvvet modeliyle sismik kaynağın kestirilmesidir. Knopoff ve Gilbert (1960), dislokasyon türü çeşitli kaynaklardaki sismik yayını incelemiştir. Eşdeğer kuvvetler, kaynağın neden olduğu hareketten ve dolayısıyla da sismogramdan saptanabilir. Bunun için sismik moment tansörün özdeğer (eigenvalue) analizi gerekir (Jost ve Herrmann, 1989).

Sismolojideki kaynak tanımına bakıldığında, deprem; jeolojik olarak bir “faylanma”, jeofizik olarak da bir “sonlu dislokasyon” olayıdır. Böyle bir dislokasyon kaynağı, Yeriçindeki elâstik deformasyon enerjisinin boşaldığı anda başlayan ve belli



bir süre devam ettikten sonra biten yırtılmadan (kırılmadan) ibarettir. Dolayısıyla, bunun, bir jeofizik dille açıklanması, buna eşdeğer bir kuvvet sisteminin tanımlanmasıyla mümkündür. Deprem odağındaki fizik mekanizmaya eşdeğer kuvvet sisteminin ortaya çıkarılması ve mekanizmayı yönlendiren baskın (dominant) kuvvet bileşeninin saptanması ise kaynağın bir moment tansörle tanımlanmış olmasıyla mümkündür. Bundan dolayıdır ki bu doktora tezi, bu bakış açısının Türkiye'deki depremlerde de kullanılması alışkanlığını başlatmayı amaçlamıştır. Buradan hareketle, doğrusal moment tansör ters çözüm (inversion) prensipleri kullanılarak bir bilgisayar yazılımı hazırlanmış ve Türkiye'deki bazı depremlerin telesismik moment tansörleri kestirilmeğe (estimation) çalışılmıştır. Daha sonra elde edilmiş olan moment tansör bileşenleri ayrıştırılarak (decomposition) kaynağı oluşturan kuvvet bileşenleri ortaya çıkarılmış ve bölge tektoniğiyle ilişkilendirilmiştir. Doğrusal moment tansör ters çözümü için gerekli başlangıç kaynak modeli ile kaynak-zaman fonksiyonu da telesismik dalga-şekillerinin en küçük kareler ters çözümü ile sağlanmıştır. Ayrıca, moment tansörleri bilinen Türkiye ve civarındaki 38 adet depremin moment tansör analizleri yapılmıştır. Türkiye'deki sismolojik veri olanaklarının kısıtlı oluşu yöntemin uygulanmasını sınırlandıran en önemli faktördür.

Klâsik fay düzlemi çözümleri, yukarıda sözü edilen eşdeğer kuvvetin bir ikili kuvvet-çifti (double-couple) olduğu varsayımından yola çıkarak mekanizmayı açıklamaktadır. Deprem kaynağındaki sismik momentin bir tansör olduğu kuramsal bir gerçek olmasına rağmen, işlemlerde çoğu zaman bu parametre bir skaler olarak alınmaktadır. Böylece varılan sonuçlar eksik bilgi içermekte, bazı şüpheleri de yanında taşımaktadır.

Burridge ve Knopoff (1964), çeşitli sismik dislokasyonlar için eşdeğer cisim kuvvetlerini tanımlamıştır. Gilbert (1970), serbest yüzeydeki yerdeğiştirmenin hesaplanmasında moment tansörleri tanıtmıştır. Bu çalışmasında, sismik moment tansörü, gerilme düşüşünün (stress-drop) bir hacim integrali olarak tanımlanmıştır. Knopoff ve Randall (1970), eşdeğer kuvvetleri doğrusal bir vektör dipol ile göstermiştir. Randall (1971), genelleştirilmiş bir dislokasyonun sismik momentinin bir tansör olduğunu göstermiştir. Gilbert (1973), bir izotropik kaynak, bir makaslama (shear) dislokasyonu ve bir sıkıştırılmış lineer vektör dipol (CLVD) için moment

tansör elemanlarını vermiştir. Buland ve Gilbert (1976), sismik moment tansör için bir uyum süzgeci (matched filtering) tanımlamıştır.

Sismik moment tansör ters çözümü, ya zaman ortamında ya da frekans ortamında olmak üzere doğrusal veya iteratif olarak yapılır. Moment tansör ile Green fonksiyonu elemanları arasındaki doğrusallık, ilk defa Gilbert (1973) tarafından “Moment Tansör Ters Çözümü” adıyla kullanılmıştır. Bu çalışmasında, moment tansör elemanlarını, gözlemsel veriden frekans ortamında hesaplamıştır. Sismik moment tansör kavramı, daha sonraları, Backus ve Mulcahy (1976), Backus (1977 a,b) tarafından geliştirilmiştir. Moment tansörler; Yer’in serbest salınımlarından (Gilbert ve Dziewonski, 1975), uzun peryotlu yüzey dalgalarından (McCowan, 1976; Mendiguren, 1977; Aki ve Patton, 1978; Kanamori ve Given, 1981, 1982; Nakanishi ve Kanamori, 1982, 1984) ve uzun peryotlu cisim dalgalarından (Stump ve Johnson, 1977; Strelitz, 1978, 1980; Ward, 1980 a,b; Fitch ve diğ., 1980, 1981; Langston, 1981; Dziewonski ve diğ., 1981; Dziewonski ve Woodhouse, 1983 a,b; Jost ve Herrmann, 1989; Kikuchi ve Kanamori, 1991) saptanabilir. Fitch ve diğ., 1981 yılında, yüzey dalgaları ile cisim dalgalarının moment tansörlerini karşılaştırmıştır. Odaksal moment tansör (Centroid-Moment Tensor : CMT) çözümü olarak anılan iteratif ters çözüm, ilk defa Dziewonski ve diğ. (1981) tarafından ileri sürülmüştür. Bölgesel (regional) ve küresel (global) sismisite amaçlı çalışmalarda da kullanılan bu yaklaşım, daha sonra Dziewonski ve Woodhouse (1983 a,b), Woodhouse ve Dziewonski (1984), Ekström ve Dziewonski (1985) tarafından birçok çalışmada ele alındı. Patton (1980), Romanowicz (1981), Nakanishi ve Kanamori (1982), Dziewonski ve diğ. (1984) Yer’in yanal heterojenitesini bu ters çözüm yöntemleri içinde inceledi. Jost ve Herrmann, 1989 yılında genel bir sismik nokta kaynağın tanımı için moment tansör taraması yaptı.

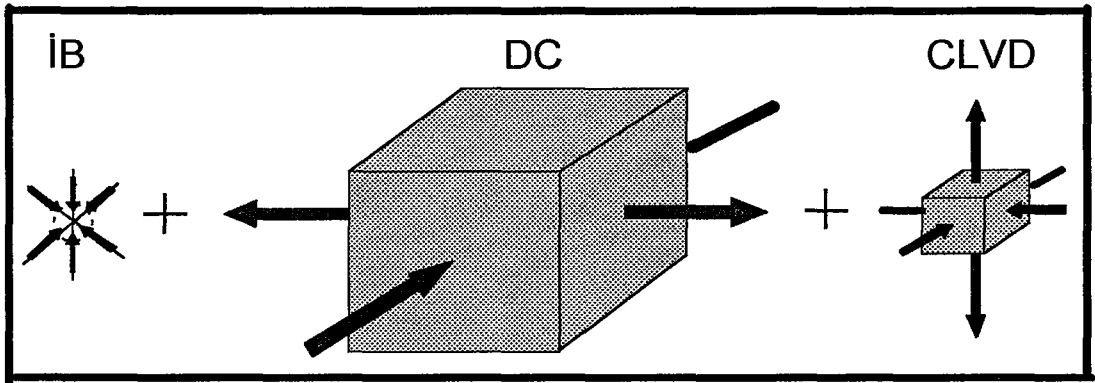
Gilbert tarafından yapılan 1970 ve 1973 yıllarındaki çalışmalarda da görüldüğü gibi serbest yüzeydeki yerdeğiştirme, Green Fonksiyonu ile moment tansörün çarpımına eşittir. Green fonksiyonu, kaynak ile alıcı arasındaki ortamın impuls tepkisidir ve bir tansördür (Aki ve Richards, 1980; Bullen ve Bolt, 1985; Jost ve Herrmann, 1989). Wang ve Herrmann (1980), Herrmann ve Wang (1985) düzlem katmanlı elâstik ortamdaki keyfi bir nokta dislokasyon kaynağı ile bir nokta patlatma (explosion) kaynağının neden olduğu dalga alanını tanımlayan 10 Green fonksiyonunu



formüle etti. Bouchon (1981), dalga alanının tam ayrıklaştırılmasına (discretization) dayanan bir yaklaşımla, çok katmanlı elâstik ortamların Green fonksiyonlarını bulmuştur.

Genel olarak, bir izotropik bileşen ile bir deviatrik bileşenden oluşan tam bir moment tansör; 1 izotropik bileşen (İB), 1 ikili kuvvet-çifti (DC) ve 1 sıkıştırılmış doğrusal vektör dipolün (CLVD) süperpozisyonu olabileceği gibi (Şekil 1.1), 1 izotropik bileşen, 1 büyük kuvvet-çifti (Mj.C) ve 1 küçük kuvvet-çiftinin (Mn.C) ya da 1 izotropik bileşen ile 3 çift kuvvet-çiftinin ya da 1 izotropik bileşen ile 3 sıkıştırılmış doğrusal vektör dipolün ya da 1 izotropik bileşen ile 3 vektör dipolün (VD) süperpozisyonu da olabilir (Knopoff ve Randall, 1970; Fitch ve diğ., 1980; Ben-Menahem ve Singh, 1981; Kanamori ve Given, 1981; Langston, 1981; Dziewonski ve Woodhouse, 1983; Jost ve Herrmann, 1989; Ohtsu, 1991). CLVD'nin matematik ve fizik anlamı, EK-K'da tartışılmaktadır.

Buraya kadar, hep 2.mertebeden ve zaman-bağımsız moment tansörlerden söz edildi. Daha yüksek mertebeden moment tansörler için Backus ve Mulcahy (1976), Backus (1977 a,b), Stump ve Johnson (1982), Dziewonski ve Woodhouse (1983a) önerilebilir. Zaman-bağımlı moment tansörler için ise Dziewonski ve Gilbert (1974), Gilbert ve Dziewonski (1975), Backus ve Mulcahy (1976), Backus (1977a), Stump ve Johnson (1977), Strelitz (1980), Sipkin (1982), Vasco ve Johnson (1988) bakılmalıdır.



**Şekil 1.1** Bir kaynağın; 1 izotropik birleşen, 1 ikili kuvvet-çifti, 1 sıkıştırılmış doğrusal vektör dipol olarak ayrışımının şematik görünümü.

## BÖLÜM 2

### SİSMİK MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜMÜ

Ters çözüm, parametre kestirimi demektir. Doğası gereği, düz çözümü (forward solution) olmayan sistemin ters çözümü de olmaz. Düz çözüm, parametre uzayından gözlem uzayına geçme işlemi, ters çözüm ise gözlem uzayından parametre uzayına geçmektir. Bu geçiş, sözkonusu iki küme arasında olayın özelliklerine göre tanımlanan bir fonksiyon yada fonksiyonel ilişki ile gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, daha çok depremin neden olduğu ve yeryüzünde gözlenen dalga-şekliyle ilgilenileceğinden konuyu bu yönüyle ele almak daha doğru olacaktır. Dalga-şekli açısından düz problem çözümü, bir sentetik sismogram yapma işidir. Ters çözüm yaparken düz problemin idealleştirilmesi demek, problemin çok basitleştirilmesi demektir. Bu, modelleme sırasında sonsuz tane parametreden kurtulmanın, kaçınılmaz çaresi olsa da dikkatli olmayı ve yöntemleri iyi seçmeyi gerektirir. Çünkü asıl hedef, sonuçların ayırtılabilirliğidir.

Sismolojide ters çözümler, küresel (global), bölgesel (regional) ve yerel (local) olmak üzere üç kapsamda yapılır. Bu kapsamlardan biri esas alınarak yapılan moment tansör ters çözümü de gerek hesaplanma yaklaşımı, gerekse çözüm hedefi yönüyle 2 şekilde yapılır. Bunlardan birisi, odaksal moment tansör (CMT) ters çözümüdür. (Dziewonski ve diğ., 1981; Fitch ve diğ., 1980, 1981; Dziewonski ve Woodhouse, 1983 a, b; Ekström ve Dziewonski, 1985). Bununla, moment tansörün 6 bağımsız bileşeni ile kaynak noktası koordinatları birlikte kestirilir. CMT ters çözümü, nonlineer bir EKK işlemidir. Diğerisi ise doğrusal moment tansör ters çözümü olup, bu doktora tezinin konusunu oluşturur. Dolayısıyla bu bölümde, önce düz çözümde moment tansör tanımlanacak, sonra doğrusal ters çözümü ve ayrışımı yapılacak ve daha sonra da bu çalışmanın kısmen amacını oluşturan doğrusal moment tansör ters çözüm algoritması verilecektir.

## 2.1. SİSMİK KAYNAK

Sismikte çok çeşitli kaynak türleri ve bunlara ait kaynak tanımlamaları olmasına rağmen, burada kaynak olarak, daha çok bir faylanmadan (shear dislocation source) söz edilecektir. Bu ise bir fay yüzeyinin ve dolayısıyla bu yüzeyi oluşturan birim alanların yüzey boyunca yer değiştirmesiyle ortaya çıkan dinamik bir süreksizlik (dislocation) olarak kendini gösterir. Böylece, bir deprem kaynağından söz edildiği de açıktır. Deprem anında, fay izine paralel zıt yönlü iki kuvvet meydana gelir. İşte bu iki kuvvet, bir “kuvvet-çifti (couple)” oluşturur (Knopoff ve Gilbert, 1959).

O halde, bir deprem kaynak tanımlanırken, öncelikle fiziğinin tanımlanması gerekir. Yani daha genel bir ifadeyle, kaynağı oluşturan bir “eşdeğer kuvvet (equivalent force)” modeli saptanır. Bir fay düzlemi üzerinde ani bir yerdeğiştirmeyi karakterize eden eşdeğer kuvvetler, bir “ikili kuvvet-çifti (double-couple)” oluşturur. Bir ikili kuvvet-çifti eşdeğer kuvvet sistemi, çoğu deprem için en uygun modeldir (Dziewonski ve diğ., 1981). Eğer bir sismik olay, bir takım dış etkilere kaynaklanmıyorsa, bunu oluşturan kaynak, ya bir vektör alanı ile ya da II. mertebeden bir tansör alanı ile fiziksel olarak tanımlanabilir (Backus ve Mulcahy, 1976 a,b).

### 2.1.1. Eşdeğer Kuvvetler ve Moment Tansör Yoğunluğu

Deprem öncesinde ortam, gerilmeler açısından belli bir denge durumunda bulunur. Doğal (fiziksel) gerilme alanı (S) olarak adlandırılan bu kuvvet dağılımının etkisi altındaki yapı da davranışını buna göre yönlendirir. Deprem sonrasında, bu dengenin bozulmasıyla ortaya çıkan modelin davranışını yönlendiren bir model gerilmesi ( $\tau$ ) sözkonusu olur. Dolayısıyla, kaynağın bulunduğu yerde, bu iki gerilme alanı arasında bir fark oluşur. Bu farkın gradienti, eşdeğer kuvvetleri temsil eder. Fark ise gerilme fazlalığı (stress-glut) olarak adlandırılır. “ $u_j$ ” yerdeğiştirme, “ $\rho$ ” yoğunluk, “ $g_j$ ” kaynak hacmi (V) içindeki normal (self) gravite olmak üzere doğrusallaştırılmış hareket denklemi,

$$\rho \partial_{tt} u_j = \partial_j S_{ij} + g_j \quad (2-1)$$

olur (Kennett, 1983). Model gerilmesinin neden olduğu hareket denklemi ise (2-1) denklemindeki aynı yerdeğiştirmeyi vermesi için ancak bu denkleme bir kuvvet

dağılımının (f) eklenmesiyle elde edilebilir. Kısaca, doğal gerilme için hareket denklemi (2-1) şeklinde olurken, model gerilmesi için

$$\rho \partial_{tt} u_j = \partial_i \tau_{ij} + g_j + f_j \quad (2-2)$$

olması gerekir (Kennett, 1983). Demek ki matematik olarak eşdeğer kuvvetler, bir elâstodinamik hareket denklemindeki doğal gerilmenin model gerilmesi ile değiştirilmesi halinde ortaya çıkar. Şu halde;  $f_j$ , kaynağı tanımlayan bir eşdeğer kuvvettir. Hesaplanması, (2-2) bağıntısından gerçekleştirilebilir.

Moment tansör yoğunluğu, bu gerilme fazlalığıdır. Buna göre,

$$m_{ij} = \tau_{ij} - S_{ij} \quad (2-3)$$

$$\partial m_{ij} = - f_j \quad (2-4)$$

bağıntıları yazılabilir.  $m$ , moment tansör yoğunluğudur. Eşdeğer kuvvetlerle ilgili ayrıntılı matematik ifade, Burridge ve Knopoff (1964)'deki gibi representasyon teoreminden çıkarılabilir.

### 2.1.2. Sismik Moment Tansör

Fay yüzeyinin her noktasındaki moment tansör yoğunluklarından ( $m_{ij}$ ), kaynağı tanımlayan “Sismik Moment Tansör” oluşur.  $M$  ile gösterilir, kaynak konumunun ve zamanının genelleştirilmiş fonksiyonudur, dolayısıyla kaynakla ilgili maksimum bilgiyi sağlar.

Sonlu kaynaklar, nokta kaynakların basit bir süperpozisyonu ile oluşturulabilir. Bir nokta kaynak, bir eşdeğer elâstik yamulma (strain) için

$$m_{ij} = \lambda \delta_{ij} \epsilon_{kk}^T + 2\mu \epsilon_{ij}^T \quad (2-5)$$

şeklinde yazılan moment tansör yoğunluğu ile karakterize edilir.  $\lambda$  ve  $\mu$  elâstik sabitlerdir.  $\delta$ , birim impuls (delta-dirac) fonksiyonu;  $\epsilon$  ise elâstik yamulmadır.  $V$  hacimli bir kaynak için moment tansör,

$$M_{ij}(t) = \int m_{ij}(r, t) dV \quad (2-6)$$

olur.  $(r, t)$ , kaynak noktasının koordinatıdır. Bir fay düzlemi ( $\Sigma$ ) için ise,

$$M_{ij}(t) = \int_{\Sigma} m_{ij}(r, t) d\Sigma \quad (2-7)$$

yazılır.

Daha basit bir notasyonla, elementer hacimli (V) bir kaynak için moment tansör,

$$M_{ij} = m_{ij} \cdot V \quad (2-8)$$

şeklindedir. V yerine,  $\Sigma$  yüzeyli, h kalınlıklı ve n birim normalli çok ince bir elementer hacim alınır, (2-8) bağıntısı,

$$M_{ij} = (\lambda \delta_{ij} \epsilon_{kk}^T h + 2\mu \epsilon_{ij}^T h) \cdot \Sigma \quad (2-9)$$

şekline dönüşür ve buradan da

$$M_{ij} = \left[ \lambda \delta_{ij} \Delta u_k n_k + \mu (\Delta u_j n_i + \Delta u_i n_j) \right] \Sigma, \quad (2-10)$$

$$\lim_{h \rightarrow 0} \epsilon_{ij}^T h = \frac{1}{2} (\Delta u_i n_j + \Delta u_j n_i)$$

olur.  $\Delta u_i$ , fayın yerdeğiştirme süreksizliğidir.  $n_i$ , elementer hacme ait normalin doğrultu kosinüsüdür. D, yerdeğiştirme süreksizliğinin skaler değeri olmak üzere, eğer yerdeğiştirme süreksizliği vektörü, v birim vektörü doğrultusunda ise

$$\Delta u(t) = D(t)v \quad (2-11)$$

yazılabilir. Buna göre,

$$M_{ij} = \delta_{ij} v_k n_k \lambda D \Sigma + (v_j n_i + v_i n_j) \mu D \Sigma \quad (2-12)$$

elde edilir. Yer içinde bir faylanma, büyük normal gerilmeler altında gerçekleştiğine göre, genellikle faya normal yerdeğiştirme süreksizliği yoktur. Bu durumda kayma yönü (v), fay normaline diktir.

O halde, tam bir makaslama hareketi için sismik moment tansör bileşenleri,

$$M_{ij}(t) = M_o(t)(v_i n_j + v_j n_i) \quad ;$$

$$v \cdot n = v_k \cdot n_k = 0 \quad (2-13)$$

$$M_o(t) = \mu D(t) \Sigma$$

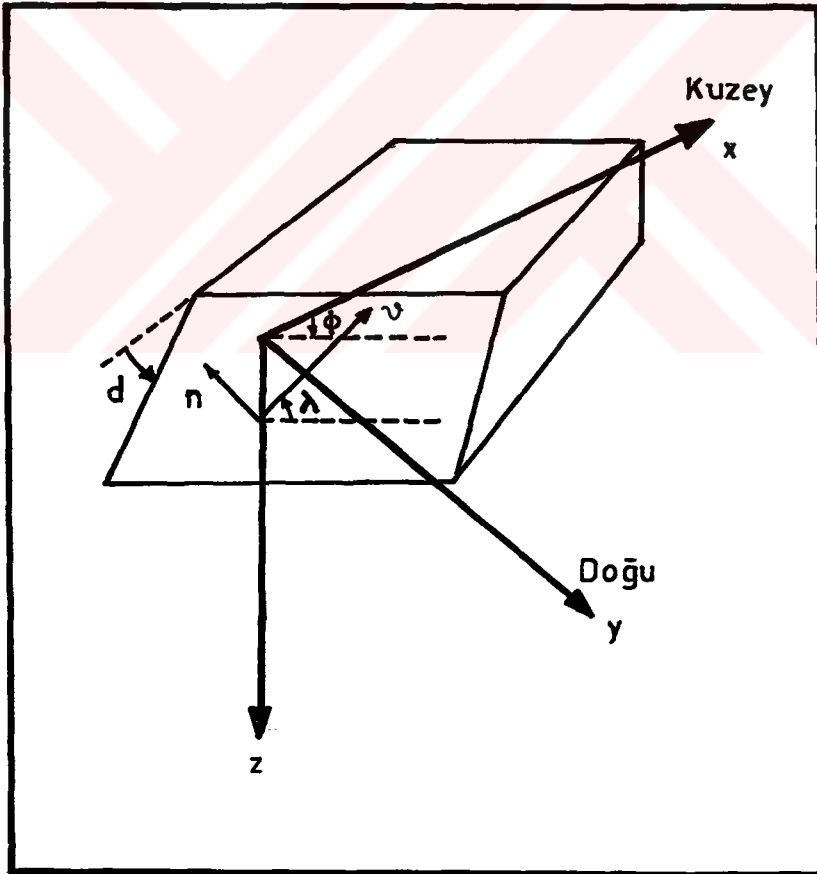
olur. (Aki ve Richards, 1980; Kennet, 1983; Madariaga, 1983; Jost ve Herrmann, 1989).  $M_o$ , Skaler sismik momenttir.  $\mu$ , rijidite sabitidir. Uygulamada,  $\Sigma$ , fay yüzeyinin alanı, D ise fay yüzeyindeki ortalama yerdeğiştirmeyi gösterir. (2-13) eşitliği, moment tansörün simetrik olduğunu gösterir. Buradan, sismik moment tansörün kartezyen bileşenleri,

$$M_{ij} = f(\phi, d, \lambda) \quad (2-14)$$

şeklinde hesaplanabilir (Aki ve Richards, 1980; Romanowicz, 1983; Jost ve Herrmann, 1989).  $\phi$ , fay düzleminin doğrultusudur.  $d$ , fay düzleminin eğimidir.  $\lambda$  ise kayma yönü (rake)'dür (Şekil 2.1). Buna göre moment tansör, matris biçiminde

$$M = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{yx} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{zx} & M_{zy} & M_{zz} \end{bmatrix} \quad (2-15)$$

gibi yazılabilir. Bu çalışmada da  $(x,y,z)$ , yani (kuzey, doğu, aşağı) kartezyen koordinat sistemi kullanılır. Küresel koordinatlara göre moment tansör bileşenleri için Aki ve Richards (1980), Dziewonski ve Woodhouse (1983) ve Jost ve Herrmann (1989)'a bakılabilir. Keyfi yönelimli bir sismik kaynak, değişik odak mekanizmalı nokta



**Şekil 2.1** Fay yönelim (orientation) parametreleri ( $\phi, d, \lambda$ ) ile kartezyen koordinatların ( $x, y, z$ ) tanımı. Orijin, episantırdadır (Jost ve Herrmann, 1989'dan).

kaynakların süperpozisyonu olarak tanımlanabilir. Her nokta kaynak bir moment tansör ile tanımlanır. Asıl kaynağı karakterize eden sismik moment tansör ( $M_{ij}$ ), bu elementer moment tansörlerin ( $M_n$ ) doğrusal bir kombinasyonu olur. Böylece,

$$M_{ij} = a_1 M_1 + a_2 M_2 + a_3 M_3 + \dots \quad (2-16)$$

yazılabilir. (Jost ve Herrmann, 1989; Kikuchi ve Kanamori, 1991).

Ayrıca, moment tansörler, moment tansör yoğunluğunun tanımlandığı fiziksel parametreye göre de adlandırılırlar. Eğer, eşdeğer kuvvetler esas alınmışsa, “Kuvvet Moment Tansörü”nden; eğer, gerilme fazlalığı esas alınmışsa, “Artık (glut) Moment Tansörü”nden; eğer, gerilme düşüşü (stress drop) esas alınmışsa, “Gerilme Moment Tansörü”nden sözedilir (Backus ve Mulcahy, 1976 a,b; Backus, 1977 a,b).

## 2.2. GREEN FONKSİYONU

Elâstodinamik Green fonksiyonu, matematik olarak, kaynak fiziğine uygun bir cisim kuvvetine göre dalga denkleminin çözülmesidir. Fizik olarak da kaynak ile alıcı arasındaki ortamın impuls tepkisidir. Yani, Yer modelindeki dalga yayılımını karakterize eder. Dolayısıyla, bir yerdeğiştirme alınıdır (Şekil 2.2).

Green fonksiyonun hesaplanmasında çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır (Wang ve Herrmann, 1980; Herrmann ve Wang, 1985). Ama hepsinde de tabakalı modelin çözümü, Thomson-Haskell matris yöntemine dayanır.

Bu doktora tezinde, M.Bouchon’un tekniği kullanılır. Bouchon (1981) tarafından ortaya konan bu yaklaşımla, tabakalı elâstik ortamların Green fonksiyonları, açılal frekans ( $\omega$ ) ve yatay dalga-sayısına ( $k$ ) göre alınan bir yüzey integrali ile ifade edilir. Bu yöntem, kaynak tarafından meydana getirilen dalga alanının tam ayrıklaştırılmasına (discretization) dayanır. Buna göre tek bir kaynak, eşdeğer bir kaynak seti ile temsil edilir. Sonsuz ve tekdüze (homojen) bir ortamdaki nokta kaynağa ait boyuna (compressional) yer değıştirme potansiyeli,  $(r, \phi, z)$  silindirik koordinat sisteminde ve Sommerfeld integrali biçiminde,

$$Q(r, z, \omega) = -ie^{i\omega t} \int_0^\infty \frac{k}{\gamma} J_0(kr) e^{-\gamma|z|} dk \quad ;$$

$$\gamma = (k_\alpha^2 - k^2)^{1/2}, \text{Im}(\gamma) < 0 \quad (2-17)$$

$$k_\alpha = \omega / \alpha$$

bağıntısıyla verilir (Bouchon, 1981). Burada  $J_0$ , sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonudur.  $\alpha$  ise P dalga hızıdır. Bunu izleyen işlemlerle, önce, birbirine L uzaklıktaki kaynak-alıcı düzenine, sonra da L yarı çaplı çember üzerinde eşit aralıklarla dağılmış kaynaklardan oluşan “Elementer Kaynak Seti” düzenine ulaşılır. Herbiri konsantrik çemberlerle karakterize edilen sonsuz tane elementer kaynak seti de (2-17) bağıntısıyla verilen orijindeki nokta kaynakla birlikte “Tam Kaynak Seti”ni oluşturur. İşte, bu şekildeki tam kaynak seti tarafından yayınımlı sağlanan elâstik dalga alanının yerdeğiştirme potansiyeli,

$$Q_a(r, z; \omega) = -\frac{i\pi}{L} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \frac{k_n}{\gamma_n} J_0(k_n r) e^{-i\gamma_n |z|} ; k_n = 2n\pi / L \quad (2-18)$$

$$\gamma_n = (k_\alpha^2 - k_n^2)^{1/2}, \text{Im}(\gamma) < 0$$

şeklinde yazılabilir (Bouchon, 1981).  $\varepsilon_n$ , Neumann faktörüdür.

Düşey yerdeğiştirme alanı (w),

$$w(r, z; \omega) = \frac{\partial Q_a}{\partial z} \quad (2-19)$$

olduğuna göre, Green fonksiyon,

$$w(r, z; \omega) = \frac{\pi}{L} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n k_n J_0(k_n r) e^{-i\gamma_n |z|} \quad (2-20)$$

olur. Burada, L, ayırıklaştırma aralığıdır. Tabakalı ortamlar için her tabakadaki ayrıntı dalga alanı, klâsik matris yayılım yöntemleriyle hesaplanır (Haskell, 1964; Dunkin, 1965).

Bir dislokasyon kaynağı için pozitif z yönünde hareket eden bir düşey nokta kuvvet (F) tarafından oluşturulan elâstik yerdeğiştirme alanının düşey bileşeni,

$$w(r, z; \omega) = \frac{F}{4\pi\rho\omega^2} \left[ \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left( \frac{e^{-ik_\beta R} - e^{-ik_\alpha R}}{R} \right) + k_\beta^2 \frac{e^{-ik_\beta R}}{R} \right], k_\beta = \omega / \beta \quad (2-21)$$

şeklinde Lamb (1904) tarafından verilmiştir.  $\rho$ , yoğunluktur.  $\beta$  ise S dalga hızıdır. (2-21)’de geçen  $e^{-ik_\alpha R} / R$  terimleri, (2-18) bağıntısı ile değiştirilerek, bir dislokasyon tarafından yayınımlı gerçekleştirilen düşey yerdeğiştirme alanı,

$$w(r, z; \omega) = -\frac{iF}{4L\rho\omega^2} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n k_n \left( \gamma_n e^{-i\gamma_n |z|} + \frac{k_n^2}{\gamma_n} e^{-i\gamma_n |z|} \right) J_0(k_n r) ; \quad (2-22)$$

$$v_n = (k_\beta^2 - k_n^2)^{1/2}, \text{Im}(v_n) < 0$$

olur (Bouchon, 1981).



Yine bir dislokasyon kaynağı için  $\phi_0$  doğrultusuna yönelimli bir yatay nokta kuvvete (F) göre kaynağın radyal, teğetsel (tangential) ve düşey yerdeğiştirme alanları Harkrider (1964) tarafından verilir. Buna göre düşey yerdeğiştirme alanı,

$$w(r, \phi, z; \omega) = \frac{F}{4\pi\rho\omega^2} \cos(\phi - \phi_0) \frac{\partial^2}{\partial_r \partial_z} \left( \frac{e^{-ik_\beta R} - e^{-ik_\alpha R}}{R} \right) \quad (2-23)$$

bağıntısıyla ifade edilir.  $\phi$ , gözlem noktasının azimutudur. (2-23)'deki  $e^{-ik_{\alpha,\beta} R} / R$  terimleri yerine, (2-18) ifadesi konursa, eşdeğer kaynak düzeni için düşey yerdeğiştirme alanı,

$$w(r, \phi, z; \omega) = \frac{F \operatorname{sgn}(z)}{4L\rho\omega^2} \cos(\phi - \phi_0) \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n k_n^2 (e^{-iv_n |z|} - e^{-i\gamma_n |z|}) J_1(k_n r) \quad (2-24)$$

olur (Bouchon, 1981).

(2-24) eşitliğinden hareketle doğrultu atımlı bir fay için Green fonksiyon hesaplanmak istenirse, böyle bir kaynağa eşdeğer cisim kuvveti,  $\phi=0^\circ$  ve  $\phi=90^\circ$  doğrultularına yönelimli kuvvetlerle karakterize edilen bir yatay kuvvet çiftidir. Düşey yerdeğiştirme alanı,

$$w(r, \phi, z; \omega) = \frac{M_0 \operatorname{sgn}(z)}{4L\rho\omega^2} \sin 2\phi \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n k_n^2 \left[ k_n J_0(k_n r) - 2 \frac{J_1(k_n r)}{r} \right] (e^{-i\gamma_n |z|} - e^{-iv_n |z|}) \quad (2-25)$$

olarak elde edilir (Bouchon, 1981). Burada  $M_0$ , her kuvvet çiftinin skaler sismik momentidir.

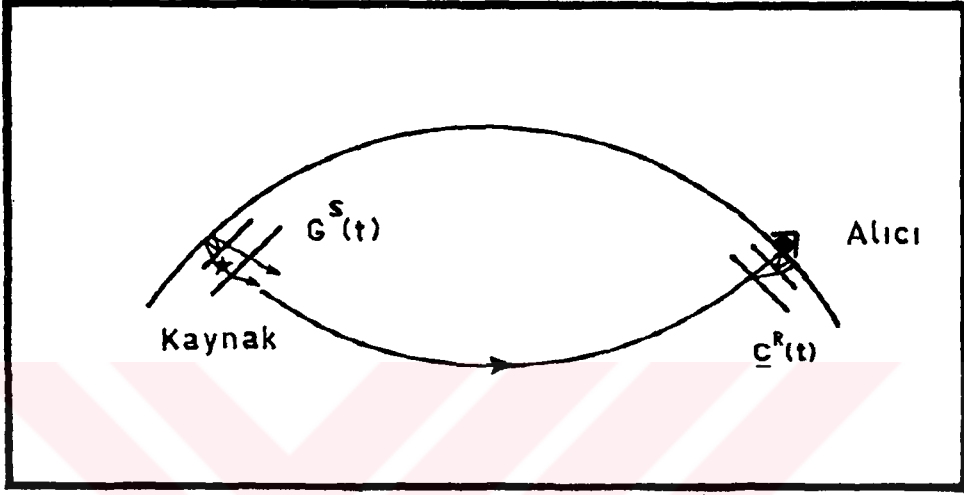
Telesismik P ve S dalga paketlerini oluşturan dalgalar, esas olarak, sabit ışın parametresi ile karakterize edilir. Minimum seyahat süreli ışın yoluyla Manto'yu geçerek yayılan tüm doğrudan, yansıyan, kırılan ve dönüşen dalgaları içerir. Bu dalgalar için yukarıdaki yaklaşımla yada bir başkası ile hesaplanan Green fonksiyonlar, simgesel bir gösterimle,

$$G(t) = G^s(t) * Y(t) * C^R(t) \quad (2-26)$$

şeklinde ifade edilebilir (Langston ve Helmberger, 1975; Nábělek, 1984).  $G^s(t)$ , kullanılan dalga türüne bağlı olarak kaynak bölgesindeki Yerkabuğunun impuls tepkisi.  $C^R(t)$  de aynı şekilde alıcı bölgesindeki Yerkabuğu yapısının impuls tepkisi.  $Y(t)$  ise Manto'nun impuls tepkisi.  $*$  işareti evrişim işlemini gösterir (Şekil 2.2). Yaklaşık  $30^\circ$  ile  $90^\circ$  arasındaki episantr uzaklıklarında  $Y(t)$ ,

$$Y(t) = g * A(t, t^*) * \delta(t - t_m) \quad (2-27)$$

ifadesiyle tanımlanır (Burdick ve Helmberger, 1978; Nábělek, 1984). Burada,  $g$ , geometrik yayılma (geometrical spreading) etkisidir.  $A(t, t^*)$ , anelâstik soğurulma (anelastic attenuation) dir.  $\delta(t-t_m)$  de Manto'daki seyahat zamanını (travel time) gösterir.



Şekil 2.2 Telesismik cisim dalgaları için Green fonksiyonlarını hesaplama tekniğinin şematik görünümü (Nábělek, 1984).

### 2.3. SİSMOGRAM

Genel olarak bir sismogram, Yeriçini karakterize eden bir Green fonksiyon ile bir kaynak-zaman fonksiyonunun evrişimi (convolution) dir. Bunun için, çözüme, elastodinamik representasyon teoremini yazarak başlamak ve kaynaktaki dalga yayılımını buna göre ele almak gerekir. Representasyon teoremi,

$$u_k(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_V d^3r G_{kj}(x, t; r, \bar{t}) f_j(r, \bar{t}) + \int_{dv} d^2r \left[ G_{kj}(x, t; r, \bar{t}) t_j(r, \bar{t}) - u_j(r, \bar{t}) h_{kj}(x, t; r, \bar{t}) \right] dt \quad (2-28)$$

şeklinde yazılabilir (Kennett, 1983).  $V$ , kaynak hacmini;  $G_{kj}$ , Green fonksiyonu;  $f_j$ , kaynaktaki eşdeğer kuvvet dağılımını;  $(x, t)$ , gözlem noktasının koordinatını;  $(r, \bar{t})$ , kaynak noktasının koordinatını;  $t_j$ , çekme (traction) bileşenlerini;  $h_{kj}$ , Green tansörüne ait çekme elemanlarını gösterir.

Bu teorem, kaynak hacmi içinde, sözkonusu kaynağa uygulandığında,

$$u_k(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_V G_{kj}(x, t; r, \bar{t}) f_j(r, \bar{t}) d^3r dt \quad (2-29)$$

olur (Madariaga, 1983; Jost ve Herrmann, 1989).  $k$ , yerdeğiştirmeye ait ilgili bileşeni gösterir. Eşdeğer cisim kuvvetleri de (2-4) bağıntısıyla tanımlandığına göre (2-29) eşitliğinden,

$$u_k(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_V G_{kj,i}(x, t; r, \bar{t}) m_{ij}(r, \bar{t}) dV dt \quad (2-30)$$

eşitliği, (2-30) eşitliğinden de

$$u_k(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_V G_{kj,i}(x, t; r, \bar{t}) M_{ij}(\bar{t}) dt \quad (2-31)$$

eşitliği elde edilir. Green fonksiyonda görülen virgülden sonraki alt indis, o bileşene göre diferansiyeli gösterir. (2-31) eşitliği ise

$$u_k(x, t) = G_{kj,i}(x, t; r, \bar{t}) * M_{ij}(\bar{t}) \quad (2-32)$$

demektir (Gilbert, 1970, 1973; Gilbert ve Dziewonski, 1975; Stump ve Johnson, 1977; Doornbos, 1982; Nábělek, 1984; Jost ve Herrmann, 1989).  $*$  işareti evrişim işlemini gösterir. Bu ifade, iç orijinli herhangi bir kaynak için geçerlidir. (2-32)'deki zaman bağımlı sismik moment tansör için, bütün bileşenlerinin  $s(t)$  gibi aynı zaman bağımlılığına sahip oldukları varsayılırsa, gözlemsel yerdeğiştirme, daha genel bir ifadeyle,

$$u_k(x, t) = [G_{kj,i} * s(\bar{t})] M_{ij} \quad (2-33)$$

olur (Jost ve Herrmann, 1989). Bu,  $(r, t)$  koordinatında bulunan bir nokta moment tansörden kaynaklanan,  $(x, t)$  koordinatındaki gözlemsel yerdeğiştirme sismogramıdır.

Eksenel simetri durumunda, problem, P-SV ve SH bileşenlerine ayrılarak ele alınır. Bu doktora tezinde yalnız P dalga fazı kullanılır. Buradan hareketle, P-SV dalgaları için,  $h$  derinliğindeki bir kaynağın neden olduğu,  $\phi$  azimutu,  $\Delta$  episantır uzaklığı ve  $t$  zamanındaki yer değiştirme,

$$u(\phi, \Delta, t) = \{ I^{PSV^2}(\Delta, h, t) \left[ \frac{1}{2}(M_{yy} + M_{xx}) - \frac{1}{2}(M_{yy} - M_{xx}) \cos 2\phi + M_{xy} \sin 2\phi \right] \right. \\ \left. + I^{PSV^1}(\Delta, h, t) [M_{yz} \sin \phi + M_{xz} \cos \phi] \right\}$$

$$+ I^{PSV^0}(\Delta, h, t) M_{zz} \} * s(t) \quad (2-34)$$

olur (Ward, 1980 b; Aki ve Richards, 1980; Nábělek, 1984).  $I^0$ ,  $I^1$  ve  $I^2$  ifadeleri ortam tepki fonksiyonlarıdır ve azimuttan bağımsızdır. Bunlar, Green fonksiyonlar cinsinden şöyle yazılabilir:

$$I_\theta^0 = G_{\theta z, z} \quad I_\theta^1 = G_{\theta r, z} + G_{\theta z, r} \quad I_\theta^2 = G_{\theta r, r} \quad (2-35)$$

( $r, \phi, z$ ), orijini kaynak üzerinde bulunan silindirik koordinatlardır.  $\theta$ , alıcıda kaydedilen yerdeğiştirmenin yönüdür.

O halde, keyfi yönelimli bir moment transörden kaynaklanan yayınının saptanabilmesi için düşey ve yatay birim kuvvet impulslarına ortamın tepkisinin bilinmesi gerekir. Dolayısıyla, diferansiyel işlem ile 4 kuvvet çiftini içeren 3 elementer sismogram olan  $I^0$ ,  $I^1$  ve  $I^2$  bulunabilir. Bunun için, incelenen dalga türüne bağlı olarak çeşitli yöntemlerden biri kullanılabilir [Örneğin; telesismik cisim dalgaları için Helmberger (1974), Langston ve Helmberger (1975), Bouchon (1976), Ward (1980b), Nábělek (1984); yüzey dalgaları için Harkrider (1964), Saito (1967); “tsunami”ler için Ward (1980c), Comer (1982) bakılabilir...].

(2-35) bağıntılarına göre  $I^0, I^1$  ve  $I^2$  için

$$I^{PSV^0} = \alpha_\ell^2 n_{\alpha_\ell}^2 \dot{I}_\ell^{P\uparrow} + \alpha_\ell^2 n_{\alpha_\ell}^2 \dot{I}_\ell^{P\downarrow} - \beta_\ell^2 p n_{\beta_\ell} \dot{I}_\ell^{SV\uparrow} + \beta_\ell^2 p n_{\beta_\ell} \dot{I}_\ell^{SV\downarrow} \quad (2-36a)$$

$$I^{PSV^1} = -2\alpha_\ell^2 p n_{\alpha_\ell} \dot{I}_\ell^{P\uparrow} + 2\alpha_\ell^2 p n_{\alpha_\ell} \dot{I}_\ell^{P\downarrow} + \beta_\ell^2 (n_{\beta_\ell}^2 - p^2) \dot{I}_\ell^{SV\uparrow} - \beta_\ell^2 (n_{\beta_\ell}^2 - p^2) \dot{I}_\ell^{SV\downarrow} \quad (2-36b)$$

$$I^{PSV^2} = \alpha_\ell^2 p^2 \dot{I}_\ell^{P\uparrow} + \alpha_\ell^2 p^2 \dot{I}_\ell^{P\downarrow} + \beta_\ell^2 p n_{\beta_\ell} \dot{I}_\ell^{SV\uparrow} + \beta_\ell^2 p n_{\beta_\ell} \dot{I}_\ell^{SV\downarrow} \quad (2-36c)$$

$$p = \frac{1}{r_h} \frac{dT}{d\Delta} \quad (2-36d)$$

$$n_{\beta_\ell} = \left[ (1/v_\ell^2) - p^2 \right]^{1/2} \quad (2-36e)$$

ifadeleri yazılabilir (Nábělek, 1984).  $v_\ell$ ,  $\ell$ . katmandaki ilgili (boyuna yada enine) dalga hızıdır.  $r_h$ , deprem hiposentirından Yer'in merkezine olan uzaklıktır.  $T$ , ilgili dalga türünün kaynaktan-alıcıya toplam seyahat zamanıdır. Yeni elementer sismogramlar olan  $\dot{I}_\ell^{P\uparrow}$  ve  $\dot{I}_\ell^{P\downarrow}$  ifadeleri de  $\ell$ . katmanda bulunan bir birim impuls  $P$  dalgası nokta kaynağı tarafından oluşturulan, yukarı ve aşağı giden  $P$  dalgalarına ortamın tepkisinin zaman türevleridir. Keza, diğer yeni elementer sismogramlar olan  $\dot{I}_\ell^{SV\uparrow}$  ve  $\dot{I}_\ell^{SV\downarrow}$  ifadeleri de SV nokta kaynağından S dalgalarına tepkilerin zaman türevleridir. Bu tepki fonksiyonları, Bouchon (1976)'daki gibi yayılım matrisleri kullanılarak

hesaplanabilir. Buradan hareketle de  $\ell$ . kabuk katmanında ve  $d$  derinliğinde bulunan bir nokta moment tansörden kaynaklanan ve bir  $p$  ışın parametresine karşılık gelen bir episantr uzaklığındaki ve  $\phi$  azimuntundaki bir istasyon tarafından kaydedilen telesismik P dalgasına ait yerdeğiştirme,

$$u^P(\phi, p, t) = M_n [ I_\ell^{P\uparrow}(t - n_{\alpha_\ell} d, p) r_\ell^{P\downarrow}(p) + I_\ell^{P\uparrow}(t + n_{\alpha_\ell} d, p) r_\ell^{P\downarrow}(p) \\ + I_\ell^{SV\uparrow}(t - n_{\beta_\ell} d, p) r_\ell^{SV\downarrow}(p) + I_\ell^{SV\uparrow}(t + n_{\beta_\ell} d, p) r_\ell^{SV\downarrow}(p) ] * \dot{s}(t) \quad (2-37)$$

olur (Nábělek, 1984). Telesismik SV dalgası için de benzer ifade yazılabilir. Yalnız ışın parametresi farklı olur. Tepki fonksiyonları olan  $I_\ell^{P\uparrow}, I_\ell^{P\downarrow}, I_\ell^{SV\uparrow}$  ve  $I_\ell^{SV\downarrow}$  ifadeleri, bu durumda, SV dalga paketlerine katılan ışınları içerir. (2-37) bağıntısında yer alan  $r_\ell$  ifadeleri, yukarı ve aşağı giden ışınlara ait “kaynak yayılım örüntüleri (source radiation patterns)”dir (Aki ve Richards, 1980; Nábělek, 1984; Jost ve Herrmann, 1989).

$$r_\ell^{P\uparrow} = \alpha_\ell^2 [ a_1 p^2 + a_2 n_{\alpha_\ell}^2 - 2a_3 p n_{\alpha_\ell} ] \quad (2-38a)$$

$$r_\ell^{P\downarrow} = \alpha_\ell^2 [ a_1 p^2 + a_2 n_{\alpha_\ell}^2 + 2a_3 p n_{\alpha_\ell} ] \quad (2-38b)$$

$$r_\ell^{SV\uparrow} = \beta_\ell^2 [ a_3 (p^2 - n_{\beta_\ell}^2) - (a_2 - a_1) p n_{\beta_\ell} ] \quad (2-38c)$$

$$r_\ell^{SV\downarrow} = \beta_\ell^2 [ a_3 (p^2 - n_{\beta_\ell}^2) + (a_2 - a_1) p n_{\beta_\ell} ] \quad (2-38d)$$

$$a_1 = \hat{M}_{xx} \cos^2 \phi + \hat{M}_{xy} \sin 2\phi + \hat{M}_{yy} \sin^2 \phi \quad (2-38e)$$

$$a_2 = \hat{M}_{zz} \quad (2-38f)$$

$$a_3 = \hat{M}_{xz} \cos \phi + \hat{M}_{yz} \sin \phi \quad (2-38g)$$

$$\hat{M}_{ij} = M_{ij} / M_n \quad (2-38h)$$

$M_n$ , moment tansörün normudur.  $\hat{M}_{ij}$  de kaynak mekanizmasını tanımlayan, normalize edilmiş moment tansör bileşenleridir.

## 2.4. DOĞRUSAL MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜMÜ

Moment tansör, sismogramı doğrusallaştıran bir büyüklüktür. (2-32) ve (2-33) eşitliklerine daha genel bir gözle bakıldığında, gözlemsel yerdeğiştirme alanının,

$$u = Gm \quad (2-39)$$

şeklinde olduğu görülür (Stump ve Johnson, 1977; Jost ve Herrmann, 1989). Bu matris normunda genel bir ifadedir.  $u$ ,  $(n \times 1)$  boyutlu bir vektör olup yeryüzünde gözlenmiş yerdeğiştirmelerden oluşur.  $G$ , uygun bir algoritma ve yer modeli kullanılarak hesaplanmış Green fonksiyonlarını içeren  $(n \times 6)$  boyutlu bir matristir.  $m$  ise sismik moment tansör elemanlarından oluşan  $(6 \times 1)$  boyutlu bir vektördür.  $n$ , gözlem sayısını gösterir.

Moment tansörün doğrusal ters çözümü, (2-39) denkleminde  $M$  vektörünün kestirilmesidir. Bu, 3 aşamalı bir işlemi gerektirir (Jost ve Herrmann, 1989):

- a) Veri toplama ve ayıklanması işlemi,
- b) Sentetik Green fonksiyonlarının hesaplanması,
- c) (2-39) denkleminin çözülmesi.

İlk adım, öncelikle kullanılacak verinin sağlanması, sonra da ters çözüm işlemine hazırlanmasıdır. Gözlem sayısının çokluğu, çözüm güvenilirliğini olumlu yönde etkileyen faktörlerdendir. Ayrıca, elde edilen verinin sinyal/gürültü oranı yüksek olmalıdır. Bunun için gerekirse yüksek frekanslı gürültüler süzülür. Verideki alet etkisi, anelâstik atenüasyon ve geometrik yayılma etkileri giderilir.

İkinci adımda, uygun bir algoritma ve yer modeli kullanılarak Green fonksiyonları hesaplanır (bkz: 2.2 ve 2.3).

Üçüncü adım, tersleme işleminin yapıldığı adımdır. (2-39) ile verilen denklem takımının çözümü, uygun bir sayısal hesaplama yöntemiyle yapılır (Marquardt, 1970; Wiggins, 1972; Jackson, 1976; Lines ve Treitel, 1984; Menke, 1984; Press ve diğ., 1986; Canitez, 1992). Genel olarak ters çözüm, bir en küçük kareler (EKK) problemi olarak ele alınır (Gilbert, 1973; Mendiguren, 1977; Stump ve Johnson, 1977).

Ters çözüm işlemi, ya zaman ortamında ya da frekans ortamında yapılır. Zaman ortamındaki tersleme işlemi, (2-39) denkleminin çözümünden ibarettir. Frekans ortamındaki ters çözümde ise (2-39) denklemi, her frekans için ayrı-ayrı çözülür (Stump ve Johnson, 1977; Jost ve Herrmann, 1989).

## 2.5. MOMENT TANSÖR AYRIŞIMI

Sismolojideki amaçlardan biri kaynaktaki kuvvet dağılımlarını tanımlamaktır. Bunun için moment tansöre ayrıştırma (decomposition) işlemleri uygulanır ve kaynağı oluşturan kuvvet bileşenleri ortaya çıkarılır. Bu amaçla, moment tansörün özdeğer (eigenvalue) analizi yapılır. Her  $m_i$  özdeğerine, bir ortonormal  $a_i = (a_{ix}, a_{iy}, a_{iz})^T$  özvektörü (eigenvector) karşılık gelir. T, transpoze işlemini gösterir. Özvektörlerin ortonormal özelliğinden moment tansörün tam eksen dönüşümü,

$$M = [a_1 a_2 a_3] \text{diag}(m_i) \begin{bmatrix} a_1^T \\ a_2^T \\ a_3^T \end{bmatrix} \quad (2-40)$$

şeklinde yazılabilir (Jost ve Herrmann, 1989).

Ayrıştırma işlemine, moment tansörden izotropik bileşeni (İB) ayırmakla başlanır. İzotropik bileşen, kaynaktaki hacim değişiminin göstergesidir. Kalan parça ise moment tansörün deviyatrik bileşenidir. Kaynağı oluşturan eşdeğer kuvvetlerle ilgili bilgi verir. Bu, genel moment tansör ayrışımıdır. Buna göre, (2-40)'daki diyagonalize edilmiş moment tansör ( $M'$ ),

$$M' = \text{diag}(m_i) = \text{diag}(\bar{m}) + \text{diag}(m_i^*) \quad (2-41a)$$

$$M' = \bar{m}I + \text{diag}(m_i^*) \quad (2-41b)$$

$$\bar{m} = \frac{1}{3}(m_1 + m_2 + m_3) \quad (2-41c)$$

$$m_i^* = m_i - \bar{m} \quad (2-41d)$$

olur (Fitch ve diğ., 1980; Jost ve Herrmann, 1989).  $\bar{m}$ , özdeğerler ortalamasıdır.  $m_i^*$ , deviyatrik bileşenin özdeğerleridir. I ise birim matrisi simgeler. (2-41a) ve (2-41b)'deki ilk terim izotropik bileşeni, ikinci terim deviyatrik bileşeni gösterir.

Klâsik fay düzlemi çözümleri, kaynağı bir ikili kuvvet-çifti olarak alır ve makaslama (shear) tipli bir fay hareketi, buna göre, asıl (major) mekanizma olarak tanımlanmış olur. Bu ise izotropik bileşenden hiç söz etmemek ve deviyatrik bileşenin tamamen ikili kuvvet-çifti (pure double-couple) olduğunu varsaymak demektir.

Deviyatrik bileşeni ayırtmak, birden fazla eşdeğer kuvvet sisteminin ortaya konması anlamına gelir. Buradan hareketle;

Bir moment tansör, bir izotropik bileşen (İB) ile 3 vektör dipole (VD) ayrıştırılabilir. Buna göre, herbiri bir vektör dipol kaynağına eşdeğer 3 moment tansör tanımlanır. Bu moment tansörlere, “Elementer Moment Tansörler” adı verilir. Elementer moment tansörlerin oluşturulmasında diyadiklerden yararlanılır. Ayrıştırılmış moment tansör,

$$\mathbf{M} = \overline{\mathbf{mI}} + m_1^* \mathbf{a}_1 \mathbf{a}_1 + m_2^* \mathbf{a}_2 \mathbf{a}_2 + m_3^* \mathbf{a}_3 \mathbf{a}_3 \quad (2-42)$$

şeklinde yazılabilir (Ben-Menahem ve Singh, 1981; Jost ve Herrmann, 1989).

Bir moment tansör, bir izotropik bileşen (İB) ile 3 ikili kuvvet-çiftine (DC) ayrıştırılabilir. Buna göre ayrıştırılmış moment tansör,

$$\begin{aligned} \mathbf{M} = \overline{\mathbf{mI}} + \frac{1}{3}(m_1 - m_2)(\mathbf{a}_1 \mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_2 \mathbf{a}_2) + \frac{1}{3}(m_2 - m_3)(\mathbf{a}_2 \mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_3 \mathbf{a}_3) \\ + \frac{1}{3}(m_3 - m_1)(\mathbf{a}_3 \mathbf{a}_3 - \mathbf{a}_1 \mathbf{a}_1) \end{aligned} \quad (2-43)$$

olur (Ben-Menahem ve Singh, 1981; Jost ve Herrmann, 1989).

Bir moment tansör, bir izotropik bileşen (İB) ile 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) ayrıştırılabilir. Ayrıştırma sonucunda,

$$\begin{aligned} \mathbf{M} = \overline{\mathbf{mI}} + \frac{1}{3}m_1(2\mathbf{a}_1 \mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_2 \mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_3 \mathbf{a}_3) + \frac{1}{3}m_2(2\mathbf{a}_2 \mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_1 \mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_3 \mathbf{a}_3) \\ + \frac{1}{3}m_3(2\mathbf{a}_3 \mathbf{a}_3 - \mathbf{a}_1 \mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_2 \mathbf{a}_2) \end{aligned} \quad (2-44)$$

elde edilir (Ben-Menahem ve Singh, 1981; Jost ve Herrmann, 1989).

Bir moment tansör, bir izotropik bileşen (İB) ile bir büyük kuvvet- çiftine (major couple) ve bir küçük kuvvet-çiftine (minor couple) ayrıştırılabilir.

$|m_3^*| \geq |m_2^*| \geq |m_1^*|$  olduğu varsayılarak ayrıştırılan moment tansör,

$$\mathbf{M} = \overline{\mathbf{mI}} + m_3^*(\mathbf{a}_3 \mathbf{a}_3 - \mathbf{a}_2 \mathbf{a}_2) + m_1^*(\mathbf{a}_1 \mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_2 \mathbf{a}_2) \quad (2-45)$$

şeklinde yazılabilir (Ben-Menahem ve Singh, 1981; Kanamori ve Given, 1981; Jost ve Herrmann, 1989). (2-45)’deki ikinci terim, büyük kuvvet-çiftini tanımlar. Bu terimde  $m_3^*$ ’ın yerini, moment tansörün mutlak değer olarak en büyük iki özdeğerinin ortalaması alırsa, bu terim, en iyi ikili kuvvet-çiftini (best double-couple) tanımlar.

Bir moment tansör, bir izotropik bileşen (İB) ile bir ikili kuvvet-çifti (DC) ve bir sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) ayrıştırılabilir. Bunun için de diğer ayrıştırmalarda olduğu gibi diyadiklerden yararlanılarak, biri ikili kuvvet-çifti, diğeri sıkıştırılmış lineer vektör dipol kaynağına eşdeğer iki elementer moment tansör oluşturulur. Buna göre ayrıştırma işlemi,



$$M = \bar{m}I + m_3^*(1-2F)(a_3a_3 - a_2a_2) + m_3^*F(2a_3a_3 - a_2a_2 - a_1a_1) \quad (2-46)$$

olur (Knopoff ve Randall, 1970; Ben-Menahem ve Singh, 1981; Jost ve Herrmann, 1989). Burada,  $F = -m_1^* / m_3^*$ 'dir.

Ayrıştırma işleminin bir amacı da kaynak üzerindeki basınç/çekme gerilmesi katkısının oranıyla, makaslama katkısının oranını saptamak ve baskın bileşene göre kırık tipini sınıflandırmaktır. Tam bir ikili kuvvet-çifti modelinden, sismik kaynağın sapma miktarını kestirmek için Dziewonski ve diğ. (1981),

$$\varepsilon = \left| \frac{m_{\min}^*}{m_{\max}^*} \right| \quad (2-47)$$

parametresini kullanmıştır. Burada geçen minimum ve maksimum değerleri mutlak değer anlamındadır. Elementer moment tansörlerin momentlerinden, kaynak üzerindeki katkı yüzdeleri belirlenebilir. (2-46) eşitliğinden de görüldüğü gibi, çift kuvvet-çiftinin katkı yüzdesi  $(1-2\varepsilon)*100$ , sıkıştırılmış lineer vektör dipolünki ise  $2\varepsilon*100$ 'dür. Bunlar, deviyatrik bileşendeki katkı paylarıdır. Aynı şekilde, bir sismik kaynak için monopol, ikili kuvvet-çifti ve sıkıştırılmış lineer vektör dipol katkı payları da kestirilebilir.

Özvektörlerden fay yönelimi (orientation) saptanır. Moment tansörün pozitif özdeğerine karşılık gelen özvektör, fay düzleminin gerilme (T) eksenini verir. Sıfır özdeğerine karşılık gelen özvektör, sıfır (B) eksenini verir. Negatif özdeğere karşılık gelen özvektör de basınç (P) eksenini verir.  $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$  kaynak noktası koordinatları,

$$\begin{aligned} \bar{x} &= R \sin i_h \cos \theta \\ \bar{y} &= R \sin i_h \sin \theta \\ \bar{z} &= R \cos i_h \end{aligned} \quad (2-48)$$

ile verilir (Herrmann, 1975). R, odak kürenin yarıçapıdır.  $i_h$ , geliş açısı (angle of incidence) dir.  $\theta$  ise istasyon azimutunu gösterir.

$(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$  koordinatlarından,  $(x, y, z)$  gözlem koordinatlarına dönüşüm,

$$\begin{aligned} x &= c_{11}\bar{x} + c_{12}\bar{y} + c_{13}\bar{z} \\ y &= c_{21}\bar{x} + c_{22}\bar{y} + c_{23}\bar{z} \\ z &= c_{31}\bar{x} + c_{32}\bar{y} + c_{33}\bar{z} \end{aligned} \quad (2-49)$$

ilişkisi ile tanımlanır (Herrmann, 1975). Fay düzlemine ait X, Y ve B (null) eksenlerinin yönlem (trend) ve dalımlarına (plunge) göre, (2-49) denkleminin doğrultu kosinüsleri,

$$X = (c_{11}, c_{12}, c_{13}) = (\cos \tau_x \cos \pi_x, \sin \tau_x \cos \pi_x, \sin \pi_x) \quad (2-50a)$$

$$Y = (c_{21}, c_{22}, c_{23}) = (\cos \tau_y \cos \pi_y, \sin \tau_y \cos \pi_y, \sin \pi_y) \quad (2-50b)$$

$$Z = B = (c_{31}, c_{32}, c_{33}) = (\cos \tau_z \cos \pi_z, \sin \tau_z \cos \pi_z, \sin \pi_z) \quad (2-50c)$$

şeklinde yazılır (Herrmann, 1975).  $\tau$ , ilgili eksenin yönlemine;  $\pi$  ise dalımını gösterir.

Ayrıca, T ve P eksenleri ile X ve Y eksenleri arasında,

$$T = \frac{\sqrt{2}}{2}(X + Y) \quad (2-51a)$$

$$P = \frac{\sqrt{2}}{2}(X - Y) \quad (2-51b)$$

$$X = \frac{\sqrt{2}}{2}(T + P) \quad (2-51c)$$

$$Y = \frac{\sqrt{2}}{2}(T - P) \quad (2-51d)$$

ilişkileri tanımlıdır (Herrmann, 1975; Backus, 1977a; Dziewonski ve Woodhouse, 1983a; Jost ve Herrmann, 1989). Bunların yanısıra, fay yönelim ( $\phi, d, \lambda$ ) parametrelerine göre de doğrultu kosinüsleri yazılabilir (Herrmann, 1975). Böylece, (2-50) ve (2-51) eşitliklerinden de yararlanılarak, fay yönelimi saptanır.

## 2.6. TELESİSMİK CİSİM DALGALARI TERS ÇÖZÜMÜ

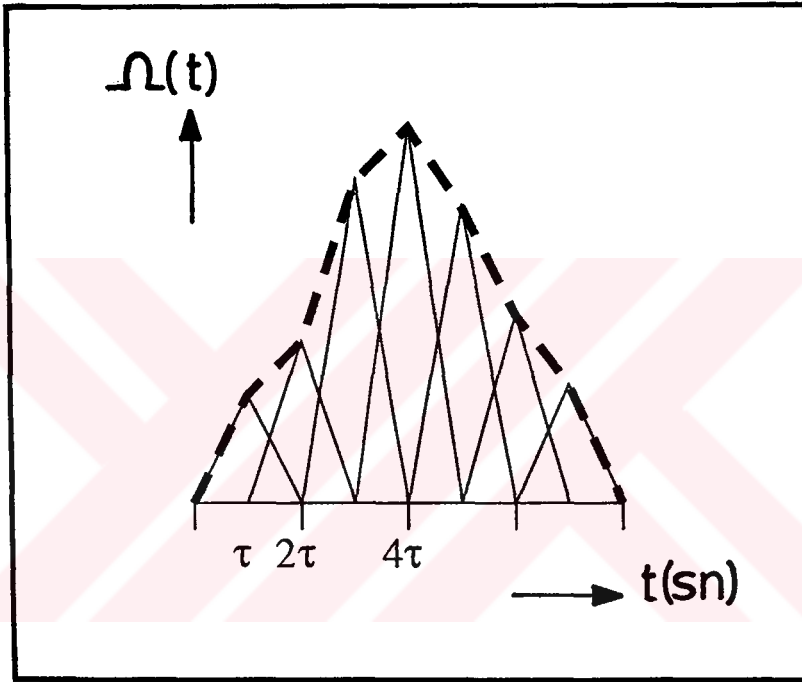
Sismolojide, kaynak parametrelerinin kestiriminde kullanılan standart tekniklerden biri, telesismik cisim dalgalarının ters çözümüne dayanır. Bu, McCaffrey, Abers ve Zwick (1991) tarafından bir bilgisayar yazılımı haline getirilmiş ve SYN4 adıyla anılan bir çözüm yöntemidir. SYN4, McCaffrey ve Abers (1988)'deki SYN3 adlı yazılımın daha geliştirilmiştir.

SYN4'da deprem kaynağı, bir ikili kuvvet-çifti nokta kaynağı olarak alınır. Bu ikili kuvvet-çifti kaynağı,

$$\Omega(t) = \sum_{k=1}^{n\tau} \omega_k T_{\Delta\tau}(t - \tau_k) \quad ; \quad T_{\Delta\tau}(t - \tau_k) = B_{\Delta\tau}(t - \tau_k) * B_{\Delta\tau}(t) \quad (2-52)$$

$$\tau_k = \Delta\tau(k - 1)$$

şeklinde tanımlanan, eşit alanlı üçgen fonksiyonlar serisiyle karakterize edilen bir kaynak-zaman fonksiyonuna sahiptir (Şekil 2.3; Nábělek, 1984).  $n\tau$ , üçgen fonksiyonların sayısıdır.  $\omega$ , kaynak-zaman fonksiyonu elemanlarının ağırlık değerleridir.  $T_{\Delta\tau}(t - \tau_k)$ , üçgen fonksiyonlardır ve iki dikdörtgen (box-car) fonksiyonun evrişimi olarak tanımlanır. \* işareti, evrişim işlemini gösterir.  $\tau$ , üçgen tabanının yarı-uzunluğudur. Buna göre, kaynak-zaman fonksiyonunun boyu ise  $(n\tau + 1)\tau$  olur. SYN4, çoklu kaynak (multiple sources) kullanımına da uygundur.



Şekil 2.3 Kuramsal kaynak-zaman fonksiyonu (Nábělek, 1984'den)

Telesismik cisim dalgalarının ters çözümü ve dolayısıyla SYN4, gözlemsel dalga-şekilleriyle sentetiklerinin EKK anlamında en iyi uyumunu sağlamak için kaynak modelinin iteratif olarak düzeltilmesine dayanır. Bu amaçla, düz (forward) çözümde gerekli olan Green fonksiyon, (2-26) ve (2-27) eşitliklerinden hesaplanır. Kaynak bölgesi kabuk yapısı için 2 katmanlı bir model kullanılır. Bir su katmanının da gerekmesi halinde, bu, 3 katmanlı bir hız yapısı olabilir. Algoritmaya göre kaynağın alt katmanda olma zorunluluğu vardır. Alıcı bölgesi kabuk yapısı için ise, hep yarı-sonsuz bir ortam varsayılır. Sentetik sismogramların hesaplanmasında, bir istasyona gelen tüm ışınların aynı ışın parametresine ( $p$ ) sahip oldukları kabul edilir. Böylece sentetik

sismogramlar; ikincil olayların (subevents), kaynak-zaman fonksiyonu elemanlarının ve elementer sismogramların sayısı kadar elementer sismogramın toplamından oluşur.

Ters çözüm yönteminin gücü, düğüm düzlemlerinin (nodal planes) yönelimi kadar kaynak derinliğine, deprem süresine ve sismik momente karşı dalga şekillerinin duyarlılığından kaynaklanır. Bundan dolayı, yaklaşık  $30^\circ$  ile  $90^\circ$  aralığındaki episanır uzaklıklarında, dalga-şekillerinin sentezi çabuk yapılabilir. Bu aralıktaki dalga-şekillerine, sadece, anelâstik atenüasyon, geometrik yayılma ve seyahat süresi (travel time) etkiler ve yönlendirir (Şekil 2.2; Helmberger, 1974; Langston ve Helmberger, 1975; Nábělek, 1984).

Çözüm sonuçlarının ayrırlılığı (resolution), 2 şekilde ele alınabilir:

- i) Gözlemsel verinin kalitesi,
- ii) Başlangıç parametreleri arası ödünleşme (trade-off).

İlki, kullanılan sismogramların bilgi içeriği ile ilgilidir. Bu, kayıt aletinin peryodundan, örnekleme işlemine ve sismogramların frekans içeriğine kadar pek çok faktörle ilişkilidir. Yani, S/N oranı yüksek dalga-şekilleri kullanılmalıdır. Sismogram üzerindeki fazların seçilebilirliği de çözümü kısıtlayıcı etkenlerdendir. Dolayısıyla, kaynak derinliği ile kaynak zaman fonksiyonunun ayrırlılığı, doğrudan faz ile serbest yüzeyden yansıyan fazın tanınmasına bağlıdır. Bu iki fazın zıt polariteli olması halinde, kaynak derinliği için en iyi çözüme ulaşılır. Ayrıca, kullanılan istasyonlara ait iyi bir azimutal dağılım da çözümdeki başarıyı artırır.

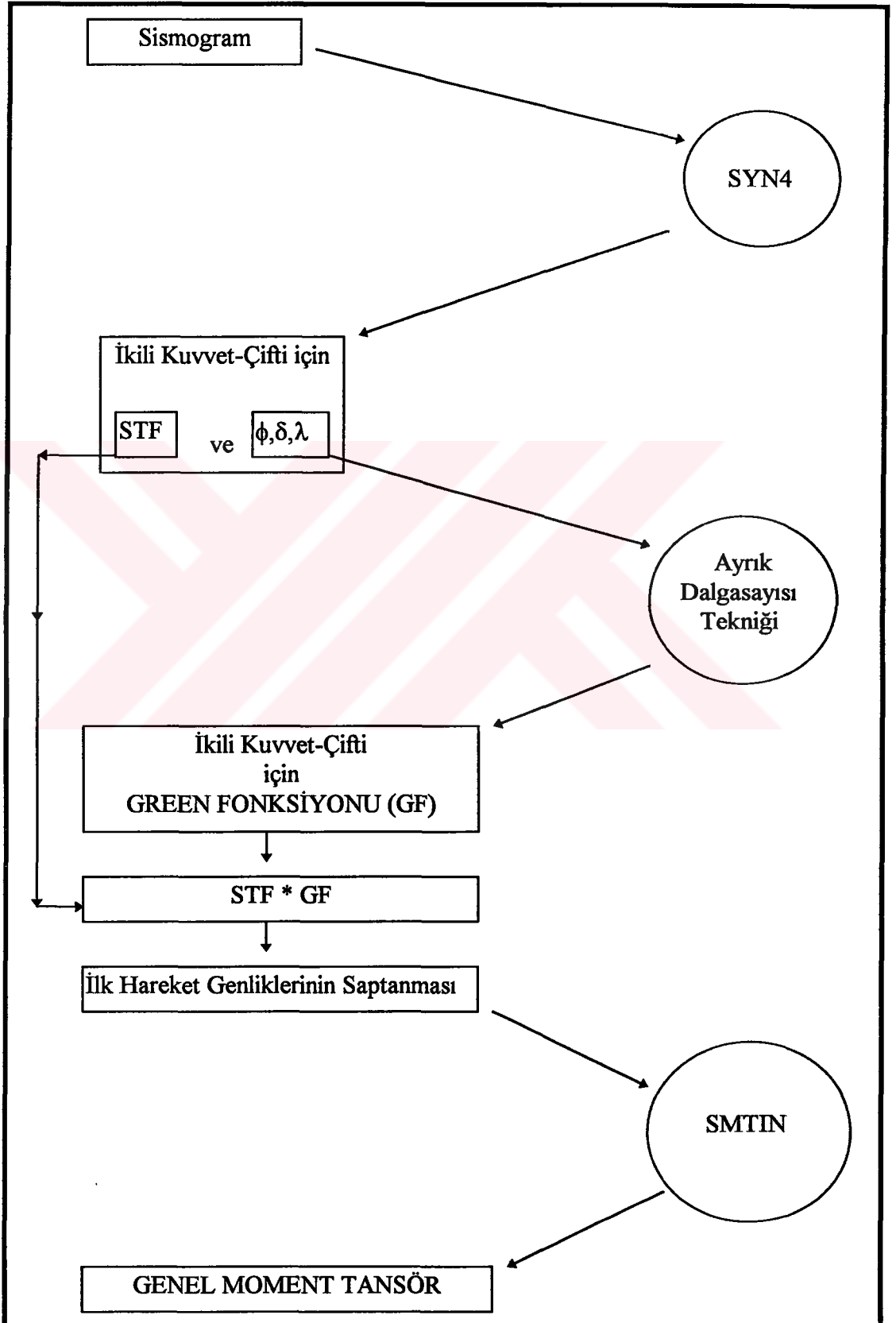
İkincisinde ise başlangıç parametreleri arası ödünleşme, çözüm tekilliğini (uniqueness) güçleştirir. Bunun yanı sıra, idealleştirilmiş kabuk yapısı, çözüm ayrırlılığını sınırlandırıcı bir rol oynar.

## BÖLÜM 3

### DOĞRUSAL MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜM ALGORİTMASI

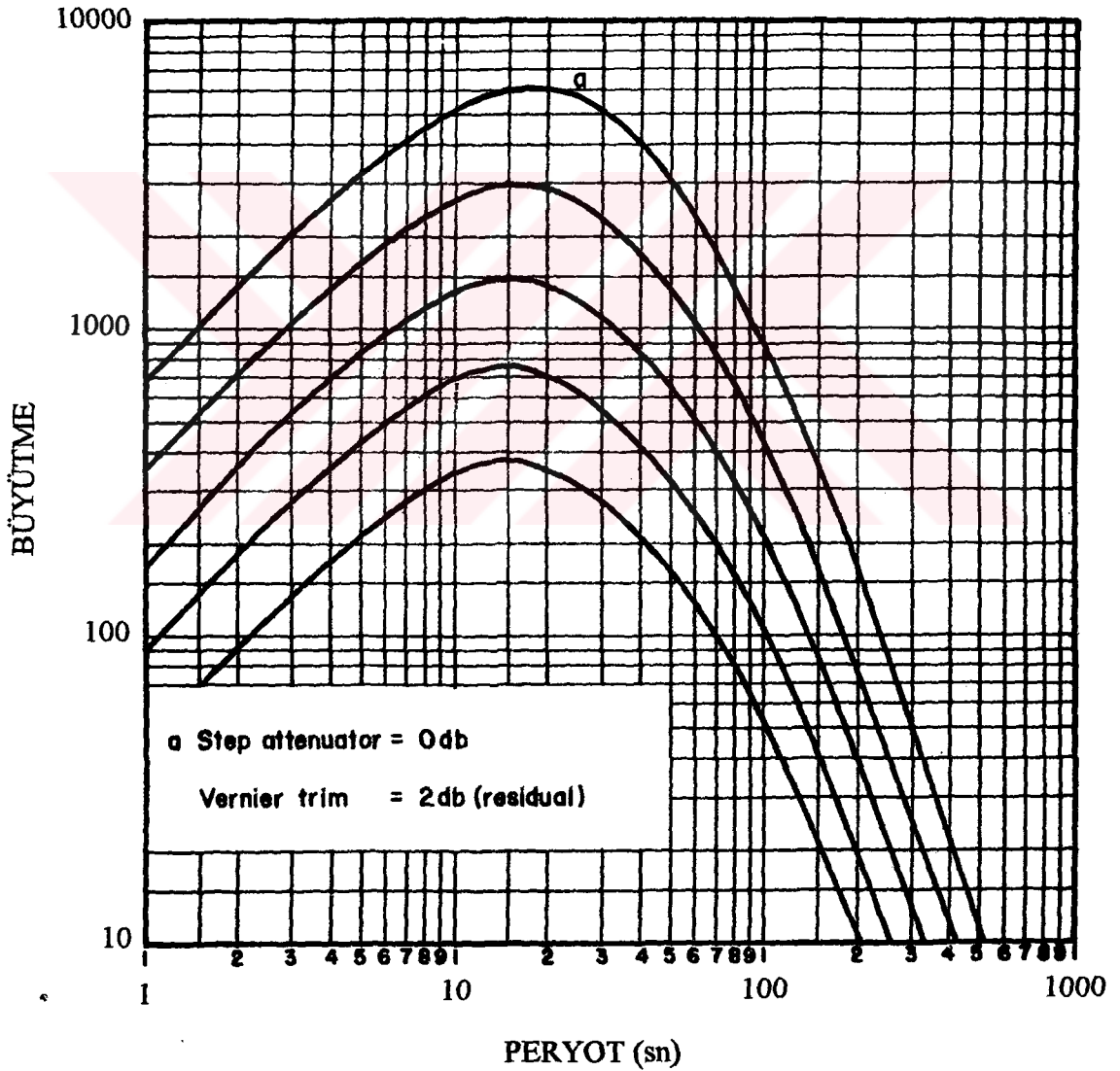
Bir deprem kaynağı, bir ikili kuvvet-çifti varsayımı kapsamından daha geniş bir kapsamda düşünüldüğü anda, kaynağın, bir moment tansörle tanımlanması gündeme gelir. Zaten, bir kaynağın tanımlanmasında ikili kuvvet-çifti yeterliliği kabul görürse, teknik olarak, SYN4 ile yapılan dalga-şekli ters çözümünden başka bir çözümün aranması gerekmez. Fay yönelim parametreleriyle, onun temsil ettiği fiziksel mekanizma arasındaki ilişki tekil değildir. Dolayısıyla, aynı fay yönelim parametreleri farklı fiziksel mekanizmalar karakterize edebilir. İşte bu doktora tezi, bu noktayı başlangıç kabul etmiş ve kapsamını buna göre belirlemiştir. Buna göre, sadece fay yönelim parametrelerinin de bir deprem kaynağını tanımlamada yeterli olmadığından hareketle, SYN4 ile kestirdiği sözkonusu parametrelere dayalı sentetik sismogramları kullanarak sözkonusu fay geometrisini de temsil eden moment tansöre ulaşmıştır. Bu işlemleri anlatan akış diyagramı, Tablo 3.1’de verilmektedir. Bunu yaparken sadece ilk hareket genliklerinin kullanılması, tüm dalga şekline göre daha fazla dikkati gerektirir. MT5, bu yönden avantaj sağlar (MT5 Program Paketi). SYN4 ile yapılan dalga-şekli ters çözümü, kaynağı bir ikili kuvvet-çifti olarak varsayar. Dolayısıyla, buradan kestirilen fay yönelim parametreleri bir ikili kuvvet-çiftine aittir. Aynı fay yönelim parametrelerinin ikili kuvvet-çifti olmayan (non double-couple) bir kaynağı da temsil edebileceği gerçeğinden hareketle bunların oluşturduğu sentetik sismogramlar hesaplanarak ilgili kaynak bilgisi, en iyi tanımlama olan tansör içeriğinde elde edilmiştir. İşte bu, önyargısız kuvvet bileşenlerinden bağımsız bir eşdeğer kuvvet sistemiyle deprem kaynağının tanımıdır.

**Tablo 3.1** Bu doktora tezinde yapılan ters çözümün ana işlem adımları.



Bu çalışmada kullanılan deprem verilerine uygulanmak üzere Doğrusal Moment Tansör Ters Çözüm Algoritması oluşturulmuştur. Algoritmaya SMTIN (Seismic Moment Tensor INversion) adı verilmiştir. SMTIN, Fortran 77 ile yazılan bir bilgisayar yazılım paketidir. Yaklaşık 100 Kb'lık bir bellek hacmi kaplar.

Bu yazılım paketi, telesismik WWSSN istasyonları P dalgası ilk hareket genliklerinden, doğrusal moment tansör ters çözümü yapar. Bu işlem, (2-39) doğrusal denklem takımının zaman ortamında çözülmesi ve kestirilen moment tansörün ayrıştırılmasından ibarettir. SMTIN, tüm bu işlemi Tablo 3.2'deki ana işlem



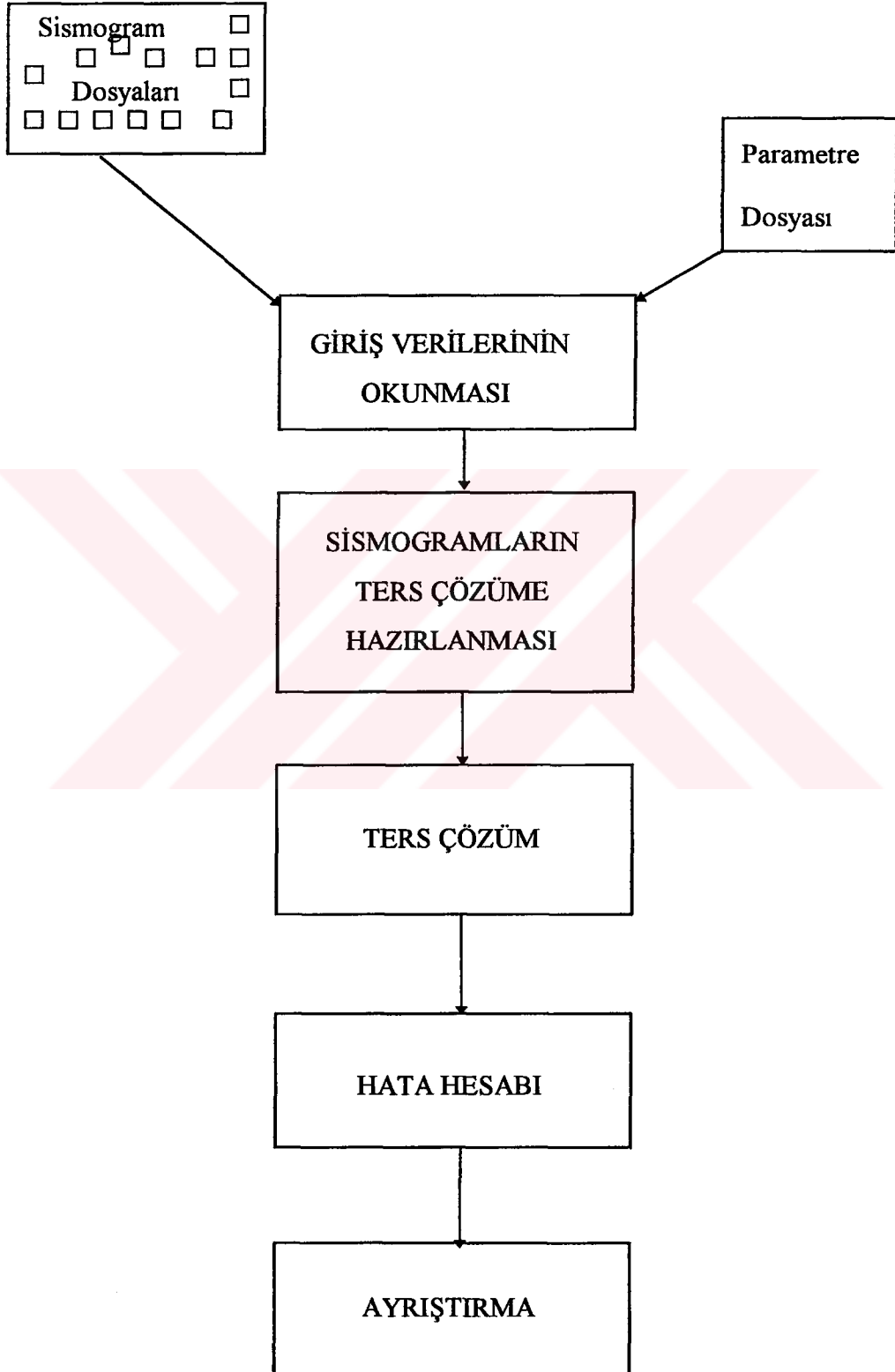
Şekil 3.1 WWSSN uzun peryot sismograflarının frekans tepkileri ("WWSSN sistemi, model 10700", 1965, Texas).

algoritmasına göre gerçekleştirir. Tablo 3.3,...,6 ana işlem adımlarının daha ayrıntılı algoritmalarını gösterir. SMTIN, her istasyona ait sismogram genliklerinden oluşan istasyon sayısı kadar sismogram dosyası ile bir parametre dosyası kullanır. Sismogram dosyaları; alet büyütme değeri, örnekleme aralığı ve genlik değerlerinden oluşur. Parametre dosyası ise istasyonlarla ilgili bilgileri (istasyona ait sismogram dosya adı, episantr uzaklığı, azimut,  $t^*$ ), Yerkabuğu hız yapısını ve kaynak-zaman fonksiyonunu içerir. Sismogramları, yanlardan %10 mertebesinde bir Kosinüs Çanı (Cosine Taper Window) ile törpüleyerek pencereler. Tablo 3.3'deki alet etkisinin giderilmesi adımı, Şekil 3.1.'deki WWSSN uzun peryot sismograflarının tepki eğrileriyle yapılır (bkz: Ek-B).

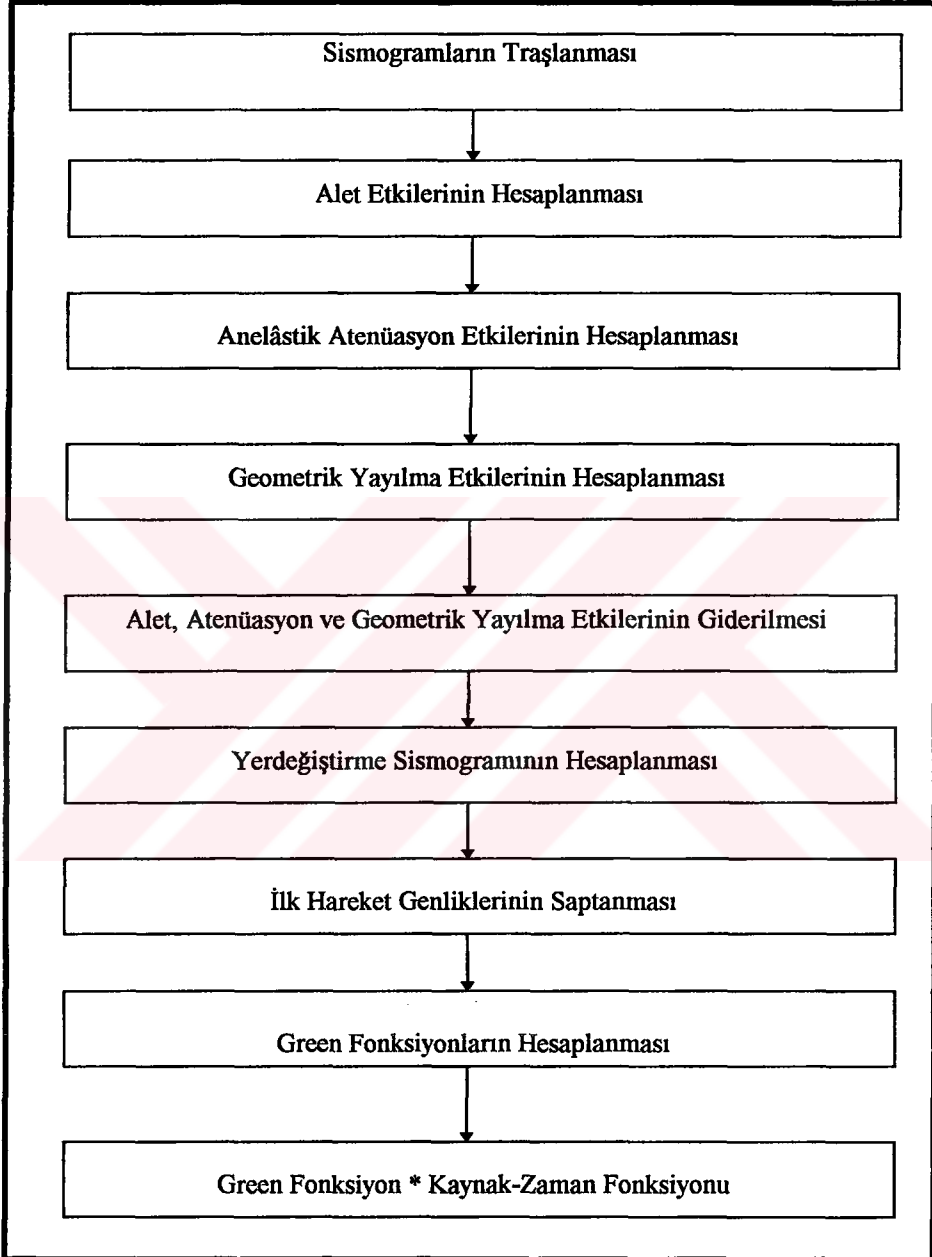
Anelâstik atenüasyonun hesaplanması ve giderilmesi adımında atenüasyon,  $t^*$  parametresiyle karakterize edilir (Bouchon, 1978a; Fitch ve diğ., 1980, 1981; Ganley, 1981; Helmberger, 1983; Anderson ve Hough, 1984; Menke, 1984; Bullen ve Bolt, 1985; Hough ve diğ., 1988, 1991; Boatwright ve diğ., 1991; Fletcher ve Boatwright, 1991). Geometrik yayılma (geometrical spreading) etkisinin hesaplanması ve giderilmesi adımlarında Aki ve Richards (1980), Ben-Menahem ve Singh (1981), Bullen ve Bolt (1985) ve Ergin (1987)'den yararlanılmıştır. Tablo 3.4, ters çözüm adımının ayrıntılı algoritmasını verir (bkz: Marquardt, 1970; Wiggins, 1972; Lines ve Treitel, 1984; Canitez, 1992). Tablo 3.5 ise hata hesabı adımının ayrıntısını gösterir (bkz: Ek-A). Tablo 3.6'da kestirilen tansöre uygulanan ayrıştırma işlemlerinin ayrıntılı adımları vardır.

SMTIN, tüm bu işlemleri; yüksek spektrumlu, yüksek duyarlıklı ve olası en kısa süreli bir performansla gerçekleştirir.

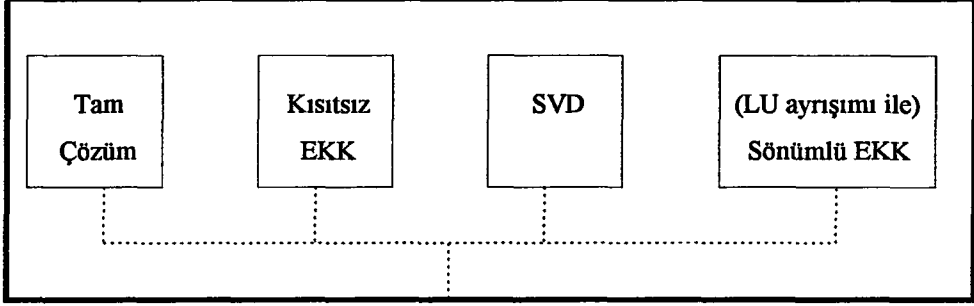


**Tablo 3.2** SMTIN yazılım paketinin ana işlem algoritması.

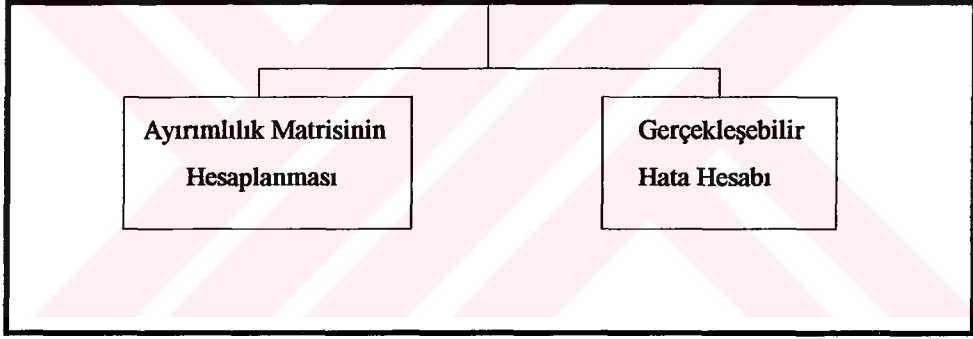
**Tablo 3.3** SMTIN yazılım paketinin ikinci ana adımı olan “Sismogramların Ters Çözümüne Hazırlanması” aşamasının ayrıntılı işlem algoritması.  
 \* işareti, evrişim (convolution) işlemini gösterir.



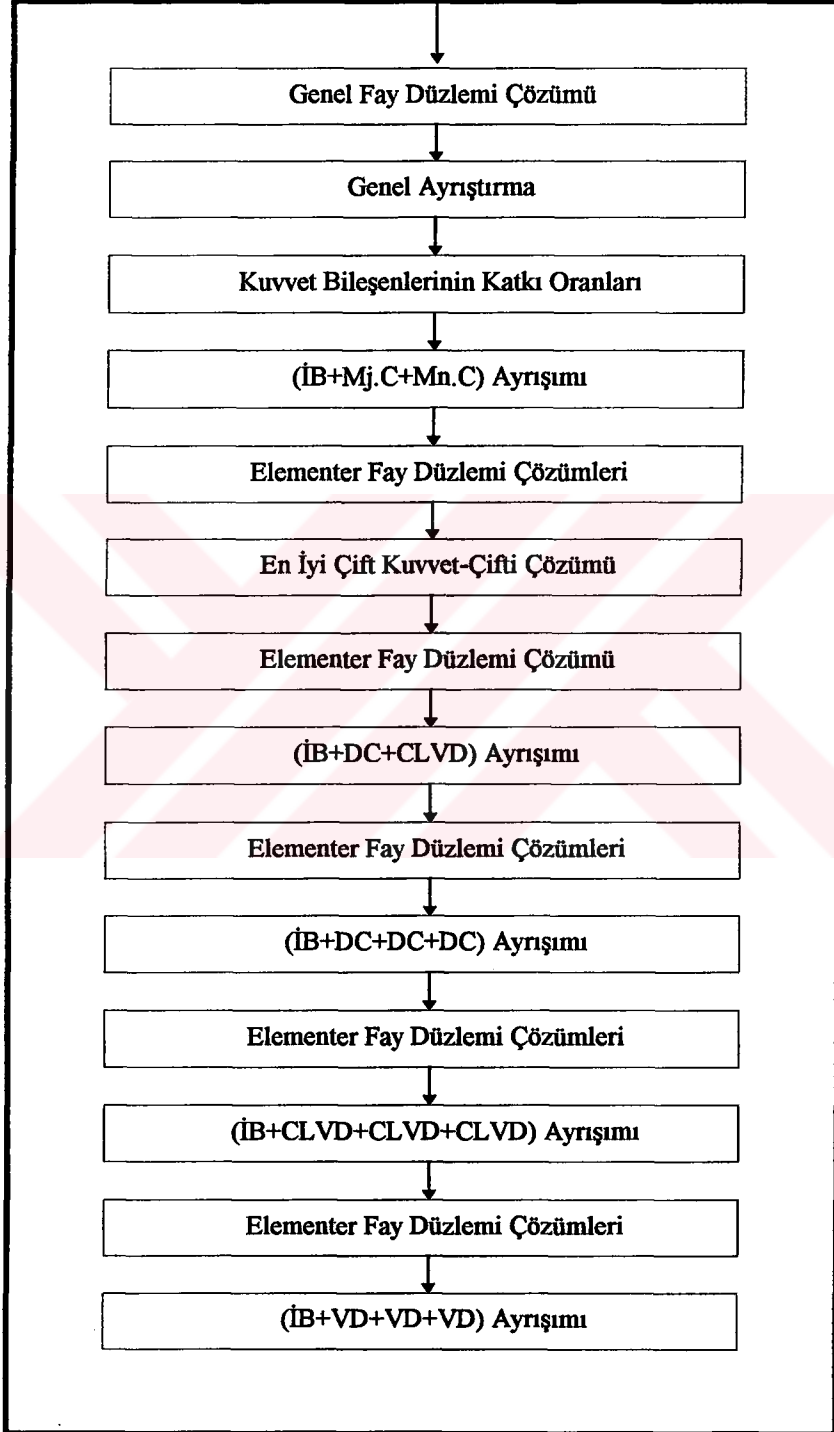
**Tablo 3.4** SMTIN yazılım paketinin üçüncü ana adımı olan “Ters Çözüm” aşamasının ayrıntılı işlem algoritması.



**Tablo 3.5** SMTIN yazılım paketinin dördüncü ana adımı olan “Hata Hesabı” aşamasının ayrıntılı işlem algoritması.



**Tablo 3.6** SMTIN yazılım paketinin beşinci ana adımı olan “Ayrıştırma” aşamasının ayrıntılı işlem algoritması.

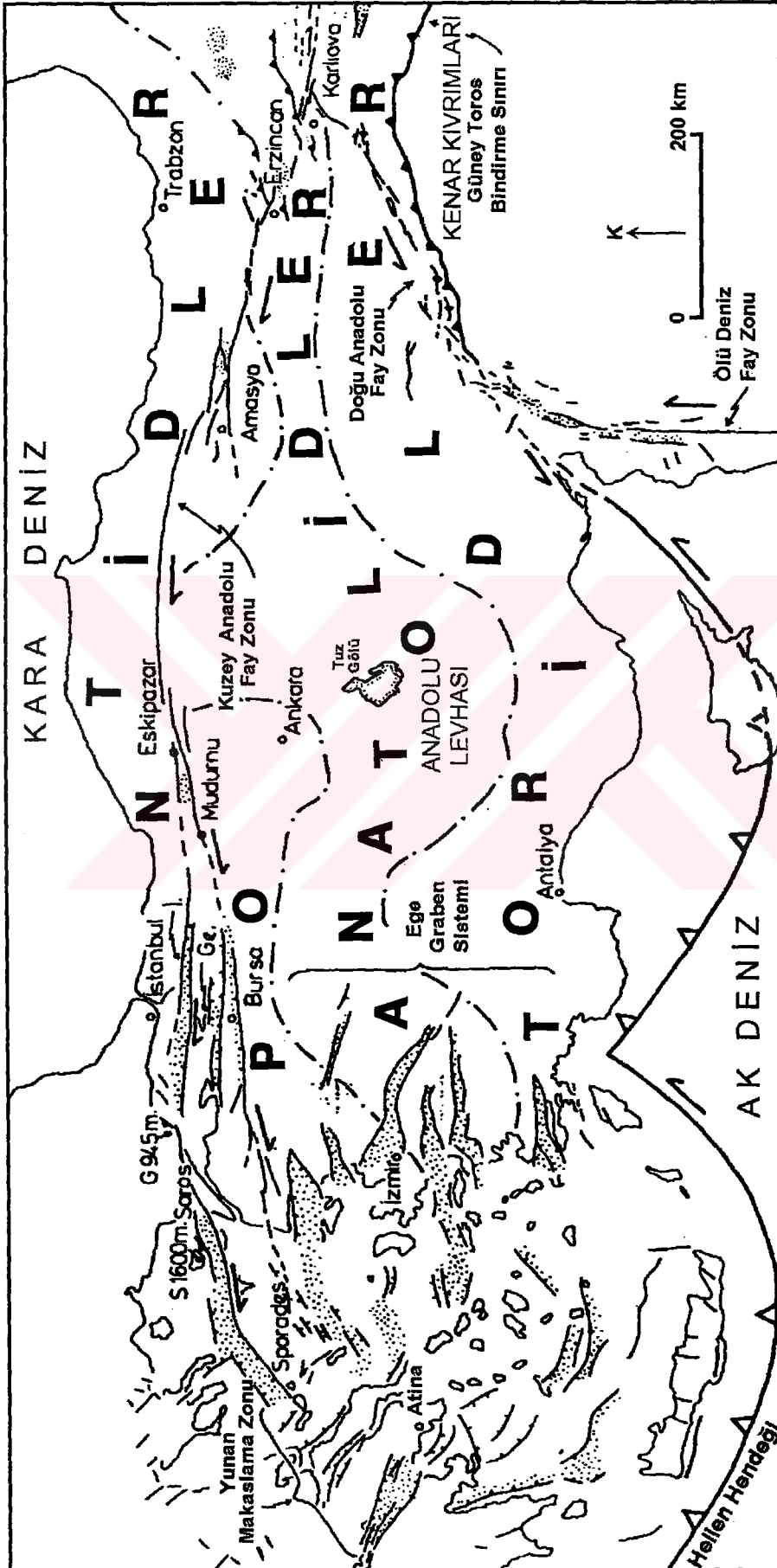


## BÖLÜM 4

### TÜRKİYE TEKTONİĞİNE GENEL BİR BAKIŞ

Türkiye tektoniğine genel bakarken, bunu, paleotektonik ve neotektonik olarak ele almak gerekir. Paleotektonik, Türkiye’de oldukça “genç” vakte kadar süregelmiştir. Çünkü Türkiye, çok yakın geçmişte tektonik devrimlere sahne olmuş bölgelerdendir. Şekil 4.1’de Türkiye’deki faal levha sınırları ve Ketin (1966) tarafından tanımlanmış olan paleotektonik bölgeleri gösterilmiştir. Bunlardan Pontidler, geç Kretase esnasında kuzeye eğimli bir dalma zonu üzerinde gelişmekte olan, kısmen Hersinyen kısmen de Kimeriyen taşlı bir temel üzerine kurulmuş, güneye bakan Pasifik tipi bir kıt’a kenarı idiler (Şengör 1980).

Anadolu’da Neo-Tetis’in kuzey kolunun güneyinde bugünkü Anatolidleri ve Toridleri kapsayan Anatolid/Torid Plâtformu mevcuttu. Gerek bu plâtformu ve gerekse doğu Anadolu birikim karmaşığını Afro-Arabistan’dan ayıran Neo-Tetis’in güney kolu ise geç Kretase’de kapanmağa başlamış ve sadece Bitlis/Zagros kesiminde orta (erken?) Miyosen’de Arabistan-Avrasya nihâî çarpışması gerçekleşmiştir. Doğu Akdeniz bugün okyanusal (veya kolaylıkla dalabilen, incelmış, kıt’asal) litosferle altlanan, Neo-Tetis’in güney kolunun henüz kapanmamış bir kalıntısından başka birşey değildir. Türkiye’de neotektonik devreyi başlatan işte bu kısmî kapanmadır. Bu kapanmanın yaşı, yeni bir-başka yorumla değişmediği takdirde değişmeyecek olan; Türkiye’de neotektonik devreyi Anadolu-Arabistan çarpışmasının başlattığıdır (Şengör, 1980).



**Şekil 4.1** Türkiye'deki faal levha sınırları ve paleotektonik bölgeler (Şengör&Cantez, 1982'den). Tek yönlü oklar, doğrultu-atımlı fayları; içi dolu üçgenli çizgiler, bindirmeleri (thrust faults); içi boş üçgenli çizgiler, dalma-batma (Subduction) zonlarını; taralı çizgiler, normal fayları; noktalanmış bölgeler, çöküntüleri gösterir. Şekil ayrıca, deniz seviyesinden olan yükseklikleri de verir.

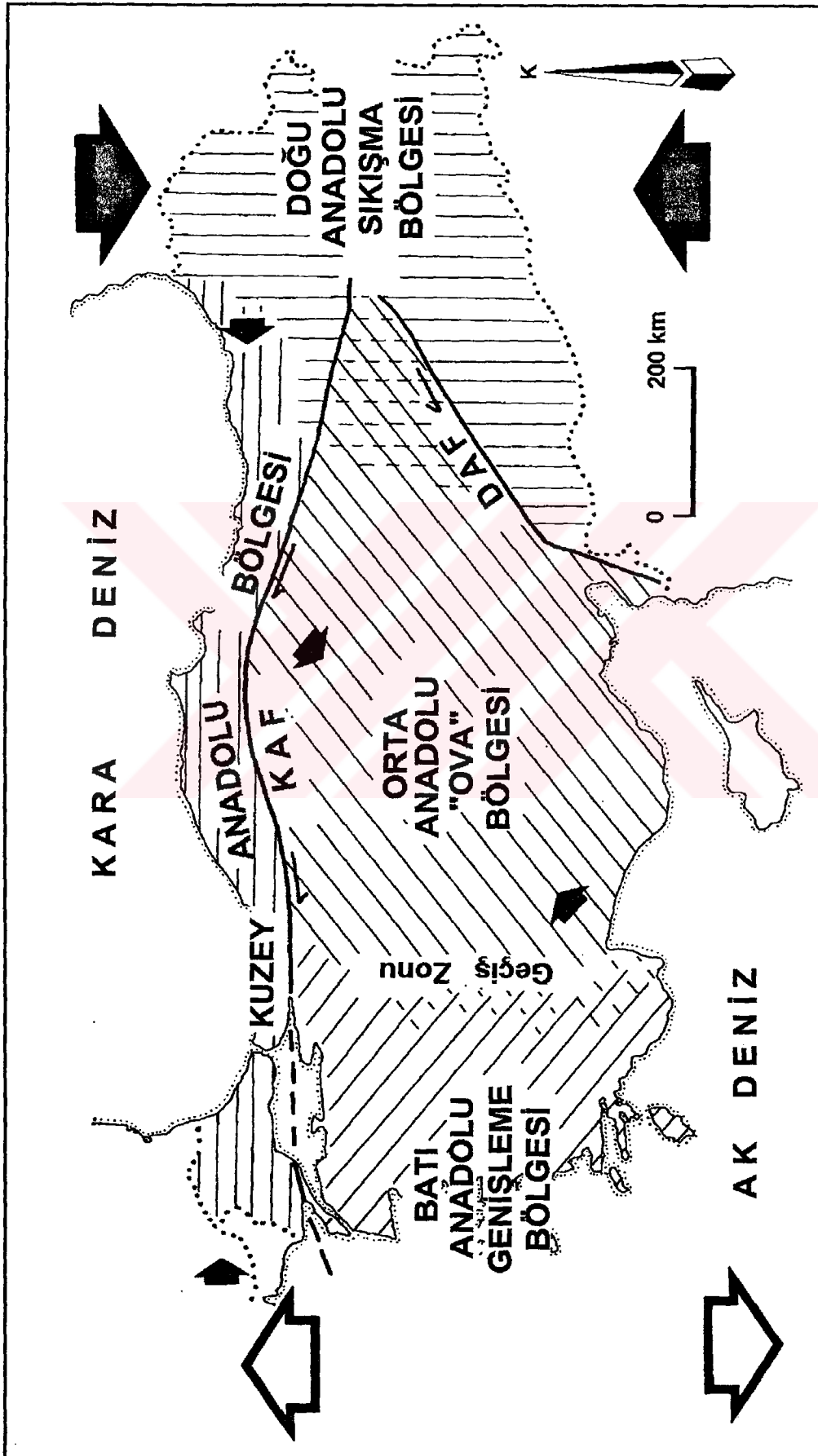
Türkiye’de kabaca orta Miyosen’den günümüze dek gelişmiş en geniş anlamda üç ana neotektonik bölge vardır (Şekil 4.2):

1. Doğu Anadolu sıkışma bölgesi,
2. Ege graben sistemi,
3. Orta Anadolu ovalar bölgesi.

**1. Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi :** Tortonyen’den beri kuzey-güney yönünde belki %40-60 oranında daralmış, kabuğu kalınlaşmış ve bu nedenle de yükselmekte olan bu bölgede sözkonusu daralmayı karşılayacak yapılar gelişmiştir. Doğu Anadolu’nun yükselmesinin çok önemli ve yükselme mekanizmasına ışık tutan bir gerekçesi, Bitlis kenet kuşağı dağlarının Doğu Anadolu plâtosundan daha sonra yükselmeye başlamış olmaları ve/veya daha yavaş yükselmekte olduklarıdır.

Gerek Kızıldeniz ve Atlas okyanusundan elde edilen manyetik lineasyon verileri, gerek Türk-İran plâtosu ve civar bölgelerin yüksek ve dağınık deprenselliği ve gerekse Türkiye’deki kenar kıvrımlarının ve Zagros şelf serilerinin Pliyosen’den günümüze dek devam edegelen kıvrılmaları bu bölgede Arabistan-Avrasya yaklaşmasının faal olduğunu göstermektedir. Doğu Anadolu’da bu yaklaşma, okyanusal dalmaya olanak bulunmadığından kıt’asal yamulmaya dönüşerek iki ana yolla karşılanmaktadır : Bir yandan Anadolu levhası (bkz: Şekil 4.2) Kuzey ve Doğu Anadolu transform fayları boyunca batıya sürülmekte, diğer yandan bu iki fayın birleştiği Karlıova eklemine doğusunda da önemli bir kısmı bir melanj kamasından ibaret olan kıt’a kabuğu, kıvrım ve bindirme tektoniği vasıtasıyla kolaylıkla kısalıp kalınlaşmaktadır. Şaroğlu, Şengör, Güner ve Kidd’in bu bölgeyle ilgili çalışmalarındaki orta Miyosen sonrası yapı ailelerinin tümü, bölgede yamulmanın kısmen kuzey-güney sıkışma ve doğu-batı genişleme (yanal atımlı faylar ve açılma çatlakları), kısmen de kuzey-güney sıkışma ve kabuk kalınlaşması (kıvrımlar ve bindirmeler) şeklinde geliştiğini gösterir. Doğu Anadolu’da bu yapıların tümünün önemli bir ortak yanları devamsızlıklarıdır.

Kıvrım ve bindirmelerle belgelenen şiddetli bir kuzey güney daralmanın hâkim olduğu Doğu Anadolu’daki yüksek ve hâlen de yükselmekte olan topoğrafya ile -150 mgal’e varan kuvvetli bir Bouguer anomalisi burada aynı zamanda kalın (olasılı 45-50





km; belki daha fazla) ve hâlen de kalınlaşmakta olan bir kıta kabuğu bulunduğunu işaret eder. Doğu Anadolu'daki kabuk kalınlığı, Doğu Anadolu birikim karmaşığının sıkışıp kalınlaşmasının sonucudur. Tüm veriler burada başka bir kıt'anın alta girerek kalınlığı artırdığı yönündeki yorumların imkânsızlığını göstermektedir.

Doğu Anadolu kuzeybatı İran'la birlikte aynı zamanda şiddetli bir geç Tersiyer-Kuaterner volkanizmasına da şahit olmuştur. Bölgede izleri görülen geç Kretase-Miyosen yaşlı volkanizma bu zaman süresince Doğu Anadolu'da faaliyet göstermiş olan dalma tektoniğinin ürünüdür. Bu devreyle ilgili mağmatizma burada 6 milyon yıl önce sona ermiştir (Innocenti ve diğ., 1976). Pliyosen'de başlayan ve Kafkaslar'dan Arap kıt'asının üzerine kadar uzanan yaygın volkanizma ise, tarihî indifaların da gösterdiği gibi (örneğin, 1441 Nemrut İndifai; Erinç, 1953) halen diridir. Türk-İran plâtosunun altına hâlen dalmakta olan herhangi bir litosfer levhasının bulunmaması, volkanizmanın plâtonun sadece en yüksek bölümlerine yakın bulunması ve buralardaki sismik dalga hızlarının düşük olması Doğu Anadolu'daki volkanizmanın, kıt'a kabuğunun, kısmî ergimeye uğramasının ve açılma çatlakları boyunca yarılmasının sonucu olduğuna işaret ederler.

Gerek kabuk kalınlaşması ve gerekse açılma çatlaklarının oluşumu Doğu Anadolu'daki sıkışma tektoniğinin eserleri olduklarına göre, buradaki bunlarla ilgili mağmatizma da aynı olayın sonucudur. Zaman içerisinde alkalin volkanizmanın kalk-alkalin volkanizmaya oranla artış göstermesi ise artan kabuk kalınlığına bağlı olarak giderek artan litostatik basınç etkisiyle platoda sıkışıp yana genişleme (yanal atımlı fay ve açılma çatlakları) tektoniğinin, sıkışıp kalınlaşma tektoniğine (kıvrım ve bindirmeler) oranla fazlalaştığını gösterir.

Sonuç olarak, Doğu Anadolu'nun neotektoniği tek bir temel kaynaktan, Arabistan-Avrasya yaklaşmasının hâlen faal olmasından türemektedir (Şengör, 1980).

**2. Ege Graben Sistemi :** Bu bölge de yine Tortonyen'den bu yana şiddetli bir kuzey-güney gerilme ile meydana gelmiş, birbirlerine paralel pek çok grabenden ve tâlî küçük havza ve yanal atımlı faylardan oluşan nisbeten ince (15-20 km) kabuk kalınlığı, az da olsa rift tipi alkalin Pliyo-Kuaterner volkanizması ve genellikle yüksek ısı akımı ile karakterize olur. Bölgenin en büyük karakteristiği, genel olarak doğu-batı yönünde uzanan pek çok grabeni içermesidir (Şengör, 1984). Bölgeyle ilgili depremlere ait fay düzlemi çözümleri (McKenzie, 1972; Taymaz ve diğ., 1991) de genel bir kuzey-güney

gerilme olduğunu göstermektedir. Marmara denizi ve civarında gerilme yönü, buradan geçen Kuzey Anadolu transform branşlarının etkileriyle kuzeydoğu-güneybatıya, Burdur civarında ise Anadolu levhası güney sınırının olası etkisiyle kuzeybatı-güneydoğuya dönmektedir (Şengör, 1980).

Ege graben sisteminin içerisindeki grabenlerin kenar faylarının hemen hepsi, eğimleri derine doğru hızla azalan listrik (=azalan eğimli) normal faylardır (Şekil 4.3). Bu nedenle, Ege'den elde edilen gerek jeolojik ve gerekse jeofizik verilerle Ege grabenler bölgesinin oluşumundan bu yana %50 oranında bir kuzey-güney genişleme geçirdiği sonucuna varılmıştır (Şengör, 1978).

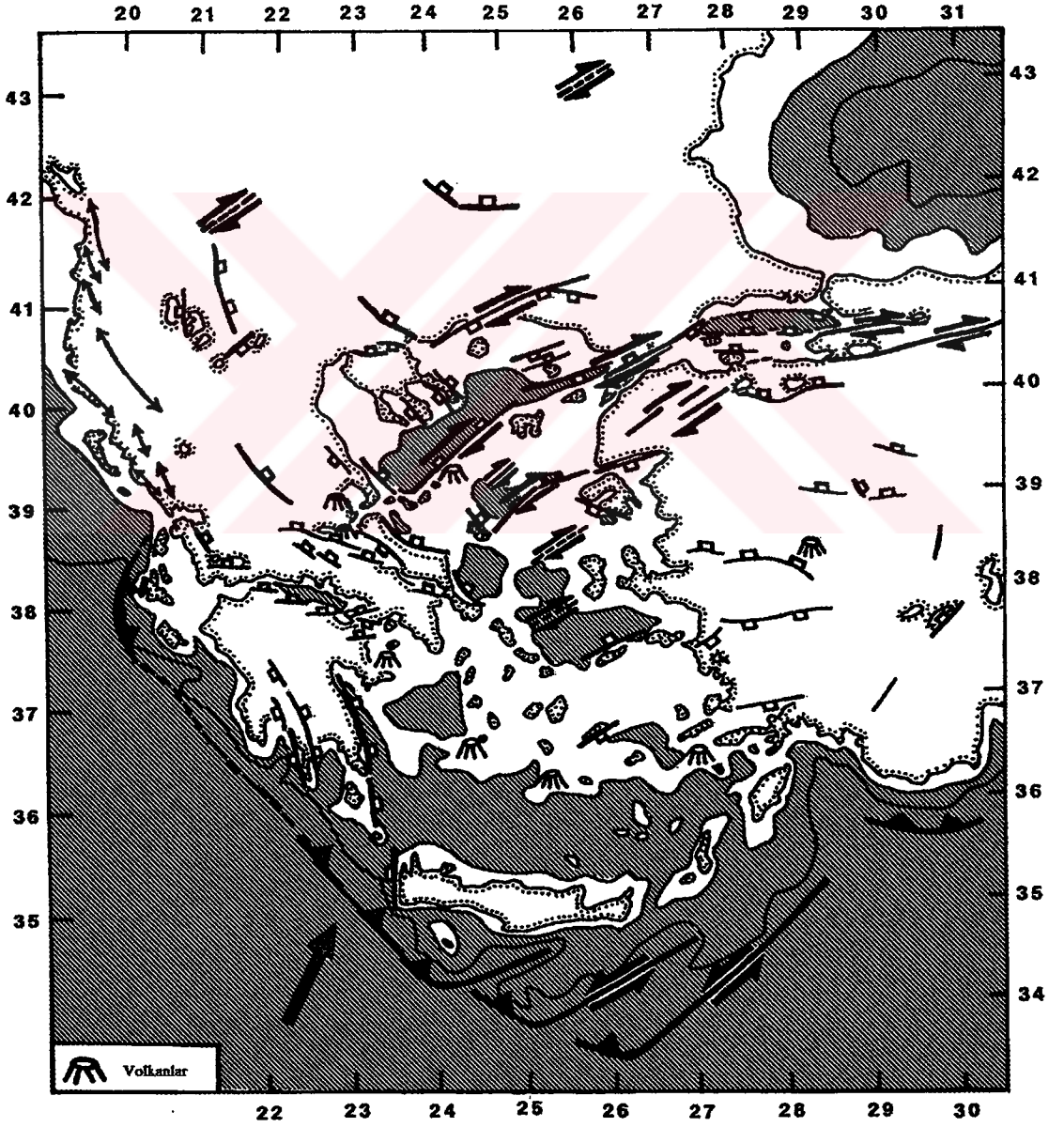
Ege'deki gerilme tektoniği mahallî olarak da tipik bir rift volkanizması içerir. Bunun en güzel örneği Kula ve Adalar arasında yayılan Pliyo-Kuaterner hornblend-olivin alkali bazalt volkanizmasıdır.

Dewey ve Şengör (1979), Ege graben sisteminin faaliyete geçmesiyle Kuzey Anadolu transform fayının oluşması arasındaki zaman yakınlığından dolayı iki sistem arasında olabilecek kökensel bağı şu modelle açıklamışlardır: Kuzey Anadolu transform fayı Ganosdağ bölgesinden itibaren güneybatıya dönme eğilimi gösterir. Ganosdağ ve Semadirek'de bulunan anormal yüksekliklerin, fayın dönmeğe başladığı yerlerde oluşan sıkışmanın yarattığı mahallî bindirme tektoniğinin eseri olmaları muhtemeldir. Saros körfezinin hemen batısında ise fay güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu Yunan makaslama zonuna geçer. Yanal atımlı sistemin önüne bu suretle çıkan geometrik engel Batı Anadolu ve Ege'de yaklaşık doğu-batı yönlü bir sıkışma doğurmuştur. Bu sıkışma zonu, daha önceki orojenik olaylar sonucunda zaten bir hayli kalınlaşmış olan kıt'a kabuğu kuzey-güney doğrultulu bindirmelerle kalınlaşmak yerine, doğu-batı doğrultulu normal faylarla kuzey-güney yönünde açılmağa başlamıştır. Yani, doğu-batı yönlü sıkışma, kuzey-güney yönlü gerilme ile karşılaşmağa başlanmıştır. Söz konusu bu daralma-genişleme mekanizması birbirine dik cereyan eder.

Şu halde; Ege'deki gerilme tektoniği, Anadolu levhasını, daha fazla sıkışıp daralamayacağı (gerek kuzey-güney, gerekse doğu-batı yönde) kıt'asal ortamdan Doğu Akdeniz'in "Okyanusal" ortamına iten kinematik sistemin bir parçasıdır. Kısacası, Ege graben sistemi de Doğu Anadolu sıkışma bölgesi gibi Avrasya-Arabistan

çarpışmasının bir ürünüdür ve hareketin buradan Kuzey Anadolu transform fayı ile batıya transfer edilmesi sonucu oluşmuştur.

**3. Orta Anadolu Ovalar Bölgesi :** Oblik faylarla sınırlı gerilme kökenli havzalardan meydana gelen ovalar bölgesi, aslında Ege graben sisteminin doğuya doğru gittikçe zayıflayan bir devamını oluşturur. Orta Anadolu'nun Kuzey Anadolu



**Şekil 4.3** Ege Bölgesi tektonik birlikleri (Taymaz ve diğ., 1991'den). Büyük ok, bölgedeki genel sıkışma yönünü; tekyönlü oklar, doğrultu-atım hareket yönünü; içi boş dikdörtgenli çizgiler, normal fayları gösterir.

transform fayıyla Toroslar arasında kalan geniş alanlarının hâlen en tipik morfolojik yapıları, Konya ve Tuz Gölü ovaları gibi büyük havzalardır. Ovaların, %50 oranında bir kuzey-güney yönlü genişlemeyi temsil ettiği sanılan Ege graben sistemine dereceli geçiş yapmaları ve Orta Anadolu'da şiddetli Eosen-Oligosen kabuksal dilimlenmeye rağmen ancak  $\pm 36$  km. lik bir kabuğun varlığı (Canitez, 1962) buradaki dev havzaların da kuzey-güney gerilme kökenli olduklarını işaret eder. Ovaların bu şekilde bir kuzey-güney gerilme ve doğu-batı daralma geometrisi içinde gelişmiş olmaları, bunların Ege graben sistemiyle birlikte bir kinematik bütün oluşturduklarını ve dolayısıyla "Anadolu Levhası" olarak tanımladığımız litosfer parçasının Karlıova'dan batıya doğru artan bir kuzey-güney gerilme rejiminin etkisinde olduğunu gösterir. Ege graben sistemi ile ovalar bölgesi arasındaki tektonik stil değişikliğinin en önemli nedeni, bu lineer gerilme hızındaki farklılık olsa gerektir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin neotektonik evriminde Avrasya-Arabistan çarpışması bu evrimi başlatan bir tetik görevi yapmıştır (Şengör, 1980).

## BÖLÜM 5

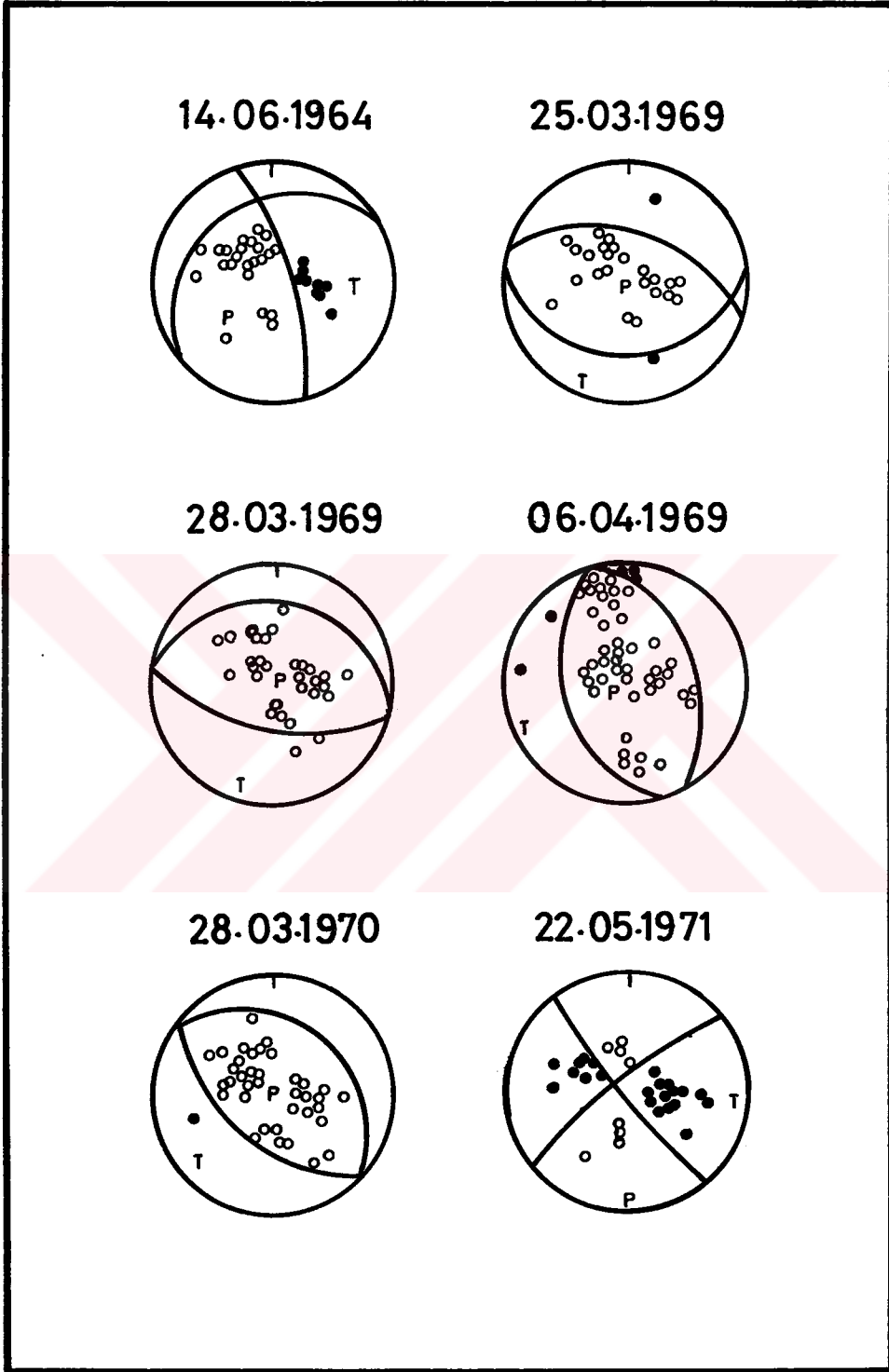
### YAPILAN MOMENT TANSÖR TERS ÇÖZÜMLERİ ve TANSÖR ANALİZLERİ

Bu bölümde, incelenmesine karar verilen 6 Türkiye depreminin moment tansörleri kestirildi. Tablo 5.1, kronolojik sıraya göre bu depremleri gösterir. Yalnız, doğrusal moment tansör ters çözümünden önce, SYN4 ile her depremin dalga-şekli ters çözümleri yapılmıştır. Buradan elde edilen kaynak parametreleri ile kaynak-zaman fonksiyonu moment tansör ters çözümünde kullanıldı.

Moment tansör kestirimlerinden sonra, elde edilen tansörlerin genel fay düzlemi çözümleri yapıldı. Bu, moment tansöre başka hiç bir işlem uygulanmadan yapılan fay düzlemi çözümüdür. İzleyen bölümlerde, bu çözümünden “genel fay düzlemi çözümü” diye söz edilir. Ele alınan depreme ait dalga-şekli ters çözümüyü elde edilen fay düzlemi çözümü, doğrusal moment tansör ters çözümüyü elde edilen genel fay düzlemi çözümü ve P dalgası ilk hareket yönlerinden elde edilen fay düzlemi çözümü birlikte değerlendirilir. Şekil 5.1, sözkonusu 6 depremin P dalgası ilk hareket yönlerinden saptanmış fay düzlemi çözümlerini gösterir.

**Tablo 5.1** Bu çalışmada kullanılan depremlerin kronolojik listesi

| Sayı | Tarih (Gün<br>Ay Yıl) | Oluş<br>Zamanı<br>(sa dk sn) | Yer            |                | $m_b$ | $M_0 (\times 10^{25})$<br>dyne-cm) | Coğrafik<br>Bölge |
|------|-----------------------|------------------------------|----------------|----------------|-------|------------------------------------|-------------------|
|      |                       |                              | (Enlem<br>K(°) | Boylam<br>D(°) |       |                                    |                   |
| 1    | 14.06.1964            | 1215 31.4                    | 38.13          | 38.51          | 5.5   | 2.64                               | Malatya           |
| 2    | 25.03.1969            | 132134.2                     | 39.25          | 28.44          | 5.5   | 2.49                               | Demirci           |
| 3    | 28.03.1969            | 014829.5                     | 38.55          | 28.46          | 5.9   | 27.09                              | Alaşehir          |
| 4    | 06.04.1969            | 034933.9                     | 38.47          | 26.41          | 5.6   | 0.57                               | Karaburun         |
| 5    | 28.03.1970            | 210223.5                     | 39.21          | 29.21          | 6.0   | 141.40                             | Gediz             |
| 6    | 22.05.1971            | 164359.3                     | 38.85          | 40.52          | 5.9   | 34.73                              | Bingöl            |



**Şekil 5.1** Bu çalışmada kullanılan depremlere ait P dalgası ilk hareket yönlerinden saptanan fay düzlemi çözümleri (Taymaz, 1990, Eyidoğan ve Jackson, 1985).



Kestirilmiş olan moment tansörlerin analizleri aşamasında, her tansöre genel bir ayrıştırma işlemi uygulanır. Bununla tansör, izotropik ve deviyatrik bileşenlerine ayrıştırılır. Böylece kaynaktaki hacim değişimi ve eşdeğer kuvvet bileşenlerinin varlığına bakılır. Bu bileşenlerin kaynak üzerindeki katkı oranları belirlenir. Deviyatrik bileşenin ayrıştırılmasıyla da sözkonusu kuvvet bileşenleri tanımlanır. Bunun için deviyatrik bileşene, (2-42,....,46) bağıntılarıyla verilen ayrıştırma işlemleri uygulanır. Elde edilen elementer moment tansörlerin (EMT), elementer fay düzlemi çözümleri yapılır ve ayrıştırma sonuçları değerlendirilir.

Yapılan ters çözüm işlemlerindeki çözüm duyarlılıkları Bölüm 6'da tartışılacaktır. Bu amaçla doğrusal moment tansör ters çözümleri için ayrırmalılık matrisinin esas köşegen elemanları ile çözüm vektörünün bağıl hatası ve bağıl hatanın “gerçekleşebilir” alt ve üst sınırları verilir (Bölüm 6.2., Tablo 6.17, EK-A).

### **5.1. DALGA-ŞEKLİ VERİSİNİN HAZIRLANMASI**

Bu çalışmada, yalnız, telesismik düşey bileşen P dalgaları kullanıldı. Çalışılan 6 deprem, episantr uzaklıkları yaklaşık  $30^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında kalan toplam 82 WWSSN istasyonu ile çözüldü. Mikrofilmler halindeki kayıtlar önce kağıt üzerine büyütülerek kopya edildi, sonra da 0.5 sn. ve 1.0 sn. örnekleme aralıklarıyla örneklendi. Elde edilen ayrıntılı sismogramlar S/N oranları için incelendi ve her sismogramdaki P dalga-şekilleri pencerelendi. Çözümler sırasında gereken, depremler ve kayıt istasyonlarıyla ilgili bilgiler için Uluslararası Sismoloji Merkezi (ISC) bültenleri kullanıldı.

### **5.2. KAYNAK BÖLGESİ HIZ YAPISI**

Bu güne kadar değişik yaklaşımlarla Türkiye'deki hız yapısı kestirilmeye çalışılmış ve çeşitli çalışmalarda bu hız yapıları kullanılmıştır (Ezen, 1988; Taymaz, 1990; Kuleli, 1992). Bu doktora tezinde ise sözkonusu çalışmalar da dikkate alınarak, Tablo 5.2'deki hız yapıları kullanılmıştır. Telesismik verilerle yapılan bu tür bir çalışmada, Türkiye'nin batısıyla doğusu arasında görülen güncel kabuk kalınlığındaki bölgesel farklılık çözümler üzerinde kaydadeğer bir önem taşımamaktadır (EK-L).

**Tablo 5.2** Bu çalışmada kullanılan hız yapıları

| Bilgisayar Yazılımı | Katman No | $\alpha$ (km/sn) | $\beta$ (km/sn) | $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | Kalınlık (km) |
|---------------------|-----------|------------------|-----------------|------------------------------|---------------|
| SYN4                | 1         | 6.0              | 3.45            | 2.78                         | 6             |
|                     | 2         | 6.8              | 3.92            | 2.91                         | yarı-sonsuz   |
| SMTIN               | 1         | 5.0              | 2.94            | 2.40                         | 1             |
|                     | 2         | 6.0              | 3.45            | 2.78                         | 5             |
|                     | 3         | 6.8              | 3.92            | 2.91                         | 22            |
|                     | 4         | 7.8              | 4.50            | 3.10                         | yarı-sonsuz   |

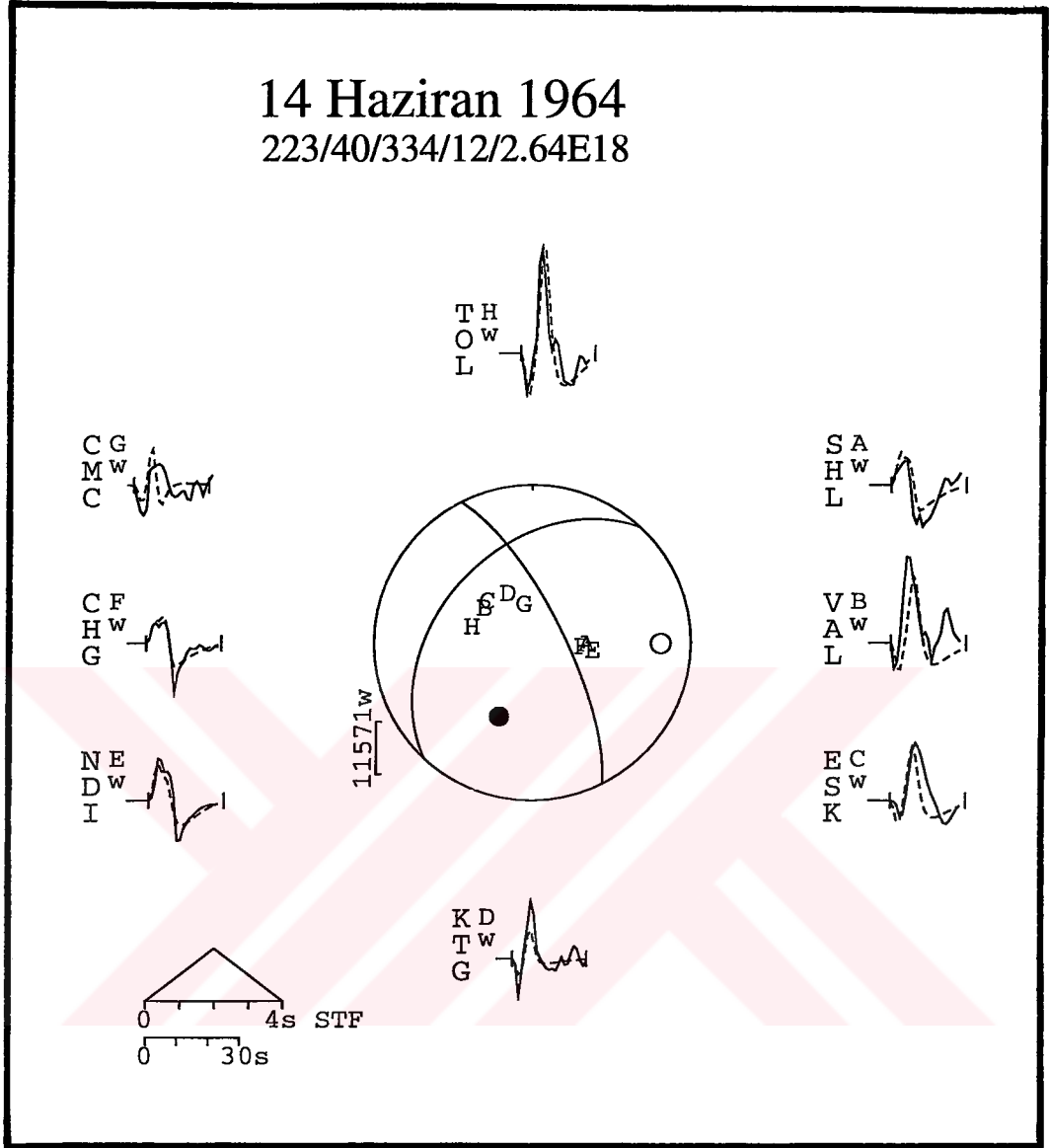
### 5.3. 14 HAZİRAN 1964 MALATYA DEPREMİ

Malatya'da yoğun hasara neden olan bu deprem, Malatya çevresinde de algılanmıştır. Depremden sonra çok sayıda art sarsıntı (aftershock) olmuştur. Gözlenen bazı yarılmalar, heyelan olarak yorumlanmıştır. Çelikhane bölgesinde 800 m. uzunlukta, olasılıkla tektonik kökenli olmayan bir kırık oluşmuştur. Malatya depremi, tektonik kökeni kesin olmayan zemin özellikleriyle ilintilidir (Taymaz, 1990; Taymaz ve diğ., 1991; Eyidoğan ve diğ., 1991). Bu deprem için Canitez ve Üçer (1967), McKenzie (1972), Jackson ve McKenzie (1984) tarafından yapılmış olan P dalgası ilk hareket yönü fay düzlemi (\*) çözümü, pek kısıtlama gerektirmemiştir (Şekil 5.1).

14 Haziran 1964 Malatya depremi için telesismik dalga-şekli modellemesiyle (SYN4) yapılan fay düzlemi çözümü(\*), Şekil 5.2'de verilmektedir. Bunun için 8 istasyona ait P dalga-şekilleri kullanılmıştır. Elde edilen fay düzlemi çözümü, 28°KB yada 77°KD'ya eğimli düğüm düzlemlerine (nodal plane) sahiptir. Bu çözüm, depremin, büyük bir doğrultu atım bileşenli, KD-GB doğrultulu ve düşük açılı bir normal faylanma biçiminde olduğunu gösterir. Ama önemli bir doğrultu atım bileşeni vardır. Bu da ilk hareket yönü çözümüyle uyumludur (Şekil 5.1, Şekil 5.2). Dalga-şekli yönünden ters çözüm sonuçlarına bakılırsa, gözlemsel dalga-şekilleriyle sentetikleri arasında iyi bir uyumun olduğu açıktır.

(\*) Bugüne kadar, sismolojideki kaynak çalışmalarında "Fay Düzlemi Çözümü" ile "Odak Mekanizması Çözümü" hep eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Aslında bu iki adlandırma, ortak noktaları olmasına rağmen, farklı tanımlamalardır. Çünkü, fay düzlemi çözümü yalnız fay yönelim parametrelerini içerirken, odak mekanizması çözümü ise fay düzlemi çözümüyle beraber odaktaki eşdeğer kuvvet sisteminin tanımlanmasını da içerir. Yani, odak mekanizması çözümü daha geniş kapsamlı bir tanımlamadır. Bundan dolayıdır ki artık bundan sonra, yalnız fay yönelim parametrelerinden ibaret olan çözümlere, odak mekanizması çözümü denmeyip **fay düzlemi çözümü** denmesi daha doğru olacaktır. Hatta, bu tür çözümler için "fay mekanizması" da denebilir, fakat "odak mekanizması" demek çok abartılı olmaktadır.





**Şekil 5.2** 14 Haziran 1964 Malatya depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü. Şeklin en üstündeki tarihin altında, fay düzlemi olarak alınan bir düğüm düzleminin, Doğrultu (°)/ Eğim (°)/Kayma (°)/Derinlik (km)/ $M_0$ (N-m) değerleri verilir. Mekanizma diyagramındaki içi dolu siyah daire basınç (P) ekseninin, içi boş daire de gerilme (T) ekseninin yerini gösterir. Sürekli çizgiyle verilen sismogramlar gözlemsel sismogramları, kesik çizgilerle verilenler ise sentetik sismogramları gösterir. Sismogramların baş tarafında bulunan altaltta 3 harf, o gözlemsel sismogramı kaydeden istasyonun uluslararası kodunu belirtir. İstasyon kodundan sonraki alfabetik sıralı büyük harf, istasyonun odak küre üzerindeki yerini gösterir. w harfi ise sismogramların telesismik WWSSN P dalgası düşey bileşen kaydı olduğunu belirtir. Mekanizma diyagramının sol alt köşesindeki ölçek, sismogramlardaki mikron olarak genlik ölçeğini verir. Şeklin en altındaki grafik, kaynak-zaman fonksiyonunu (STF) gösterir. Burada s, zaman birimi olan saniyedir.

O halde, 14 Haziran 1964 Malatya depremi için telesismik cisim dalgaları ters çözüm yöntemiyle kestirilen kaynak parametreleri şöyledir: Doğrultu= $223^\circ \pm 3$ , Eğim= $40^\circ \pm 2$ , Kayma= $334^\circ \pm 2$ , Derinlik= $12 \pm 0$ km,  $M_0=2.64 \times 10^{25}$  dyne-cm.

14 Haziran 1964 Malatya depremi için doğrusal moment tansör ters çözümü ve ayrıştırma (SMTIN) sonuçları ise Şekil 5.4,...10'da verilmektedir. Şekil 5.3, bu ters çözümde kullanılan P dalgası ilk hareket genliklerini gösterir. Söz konusu ters çözüm sonucu kestirilmiş olan ve matris biçiminde,

$$M = \begin{bmatrix} 1.054 & 0.2393 & -0.2287E-03 \\ 0.2393 & -1.573 & -0.3637E-04 \\ -0.2287E-03 & -0.3637E-04 & -0.1516E-03 \end{bmatrix} \quad (5-1)$$

şeklinde ifade edilen moment tansör (ölçek= $10^{27}$ ), ters çözüm sırasındaki ayrımlılığın ölçüsünde ve ilk hareket genliklerine göre deprem kaynağını tam olarak tanımlayan bir matematik büyüklüktür. Deprem odağındaki fizik olayı temsil etmektedir. Yani, oradaki mekanizmaya eşdeğer kuvvetlerin matematik ifadesidir. Şekil 5.4, kestirilen moment tansör bileşenlerini ve bu tansörün karakterize ettiği genel fay düzlemi çözümünü gösterir. Şekil 5.4'deki çözüm, telesismik dalga-şekli ters çözümündeki sonuçtan (Şekil 5.2) yalnız biçim olarak farklıdır. Fakat içerik olarak olaya bakıldığında, Şekil 5.2'deki mekanizmada, büyük bir doğrultu atım bileşeni katkısı izlenir. Öyleyse Şekil 5.4, bu gerekçeyle anlamlı bir çözüm sergilemektedir. Bu, sol yönlü doğrultu atımlı bir faydır.

Moment tansörün özdeğerleri ile bunlara karşılık gelen özvektörleri, Tablo 5.3'te bulunur. Tansörün genel (izotropik bileşen+deviyatrik bileşen) ayrışımı,

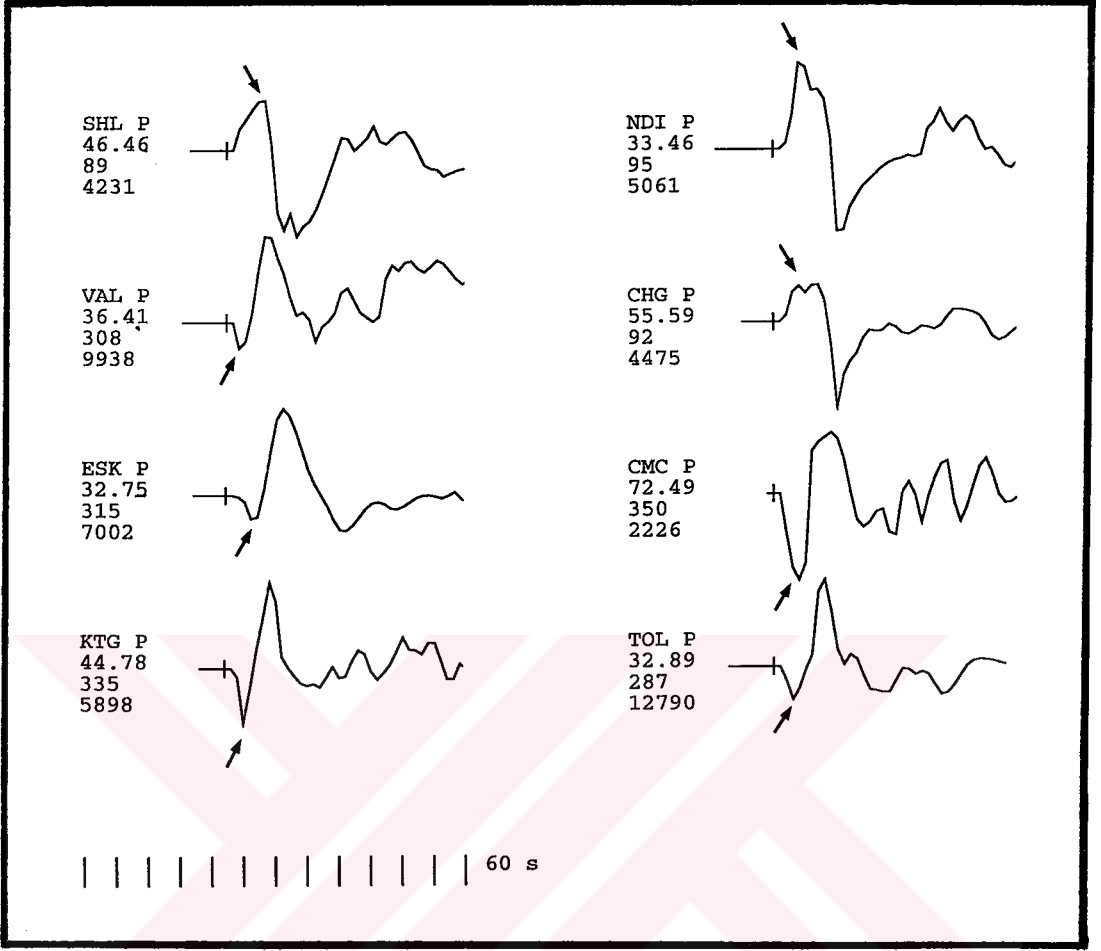
$$M = \begin{bmatrix} -0.1731 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1731 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1731 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1729 & 0 & 0 \\ 0 & 1.249 & 0 \\ 0 & 0 & -1.422 \end{bmatrix} \quad (5-2)$$

şeklinde ifade edilir. Buna göre, kaynağı oluşturan eşdeğer kuvvet bileşenlerinin katkı oranları,

MONOPOLE oranı = % 14.7

DC oranı = %64.5

CLVD oranı = % 20.8



**Şekil 5.3** 14 Haziran 1964 Malatya depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. Siyah oklar, doğrusal moment tansör ters çözümünde kullanılan ilk hareket genliklerini gösterir. Sismogramların baş tarafındaki üç harfli isim sismogramın kaybedildiği istasyonun kodunu, onun altındaki rakam episantr uzaklığını, daha alttaki rakam istasyon azimutunu, en alttaki rakam ise en büyük genlik değerini belirtir.

Deviyatrik bileşen için,

DC oranı = %76

CLVD oranı = % 24

Özdeğerler Toplamı = -0.5192

olarak bulunur. Görülmektedir ki ikili kuvvet-çifti (DC) bileşeni %65 ile kaynak üzerinde baskın bir rol oynamaktadır. Sıkıştırılmış lineer vektör dipol (CLVD) bileşeni

**MOMENT TANSÖR**

$M_{XX}=1.054$

$M_{YY}=-1.573$

$M_{ZZ}=-0.1516E-03$

$M_{XY}=0.2393$

$M_{XZ}=-0.2287E-03$

$M_{YZ}=-0.3637E-04$

**GENEL FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMÜ :**

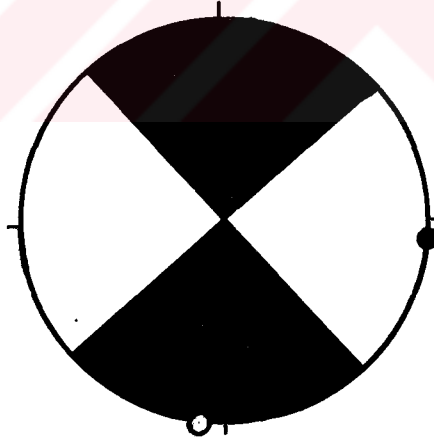
Asal Eksenler;

- |    |     |                     |           |             |
|----|-----|---------------------|-----------|-------------|
| 1. | (T) | Özdeğer=1.076       | Dalım=0°  | Azimet=185° |
| 2. | (B) | Özdeğer=-0.1517E-03 | Dalım=90° | Azimet=3°   |
| 3. | (P) | Özdeğer=-1.595      | Dalım=0°  | Azimet=95°  |

En iyi ikili kuvvet-çifti;  $M_0=1.335$  dyne-cm

NP1: Doğrultu=320° Eğim=90° Kayma=180°

NP2: Doğrultu=230° Eğim = 90° Kayma=0°



**Şekil 5.4** 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü.  $M_0$ , skaler sismik momenttir. NP1 ve NP2, düğüm düzlemlerini (nodal plane) simgeler. Mekanizma çözümündeki koyu renkli bölümler, kaynaktaki çekme bölgelerini; açık renkli bölümler ise kaynaktaki basınç bölgelerini gösterir. İçi dolu nokta, basınç (P) ekseninin yerini; içi boş nokta da gerilme (T) ekseninin yerini verir.

ise ikincil bir katkı sağlamaktadır. Bu katkı, izotropik bileşenle birlikte ele alındığında dahi, kaynakta, makaslama bileşeninin hakimiyeti gözlenir. Bununla birlikte kaynakta, sıkışma nitelikli bir bileşenin olduğu da bellidir (Şekil 5.6).

**Tablo 5.3** 14 Haziran 1964 Malatya depremi için moment tansöre ait Özdeğer ve Özvektörler

| ÖZDEĞERLER  | ÖZVEKTÖRLER                        |
|-------------|------------------------------------|
| 1.076       | (0.9959, 0.8997E-01, -0.2147E-03)  |
| -0.1517E-03 | (0.2147E-03, 0.9540E-05, 1.000 )   |
| -1.595      | (-0.8997E-01, 0.9959, 0.9816E-05 ) |

Şekil 5.5, moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 büyük kuvvet-çifti ve 1 küçük kuvvet-çiftine göre ayrıştırılmasını gösterir. Buradaki, ikinci elementer moment tansörün (EMT2) tanımlanmış olduğu büyük kuvvet çifti bileşeninin fay düzlemi çözümü, genel fay düzlemi çözümü (Şekil 5.4) ile aynıdır. Küçük kuvvet-çifti bileşeni ise bir bindirmeyi (thrust fault) tanımlar. Dolayısıyla Şekil 5.5'deki ayrıştırılmış moment tansör, (5-1) ifadesi ile verilen moment tansöre eşdeğerdir.

Şekil 5.6, moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti (best double-couple) çözümünü verir. Bu da hem genel fay düzlemi çözümü hem de büyük kuvvet-çifti çözümü ile aynıdır (Şekil 5.4, Şekil 5.5). Demek ki ilk hesaplanan genel çözüm, deprem için aynı zamanda en iyi ikili kuvvet-çifti çözümüdür.

Şekil 5.7, moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 ikili kuvvet-çifti (DC) ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipol (CLVD) ayrışımını gösterir. Buradaki ayrışım da (5-1) ifadesindeki moment tansöre eşdeğerdir. Şekildeki DC bileşeni, yine sol yönlü doğrultu atımlı bir faydır, ki bunun katkı payı %65 idi. CLVD bileşenini oluşturan DC sistemlerinden birisi bir bindirmeyi, diğeri sol yönlü doğrultu atımlı bir fayı tanımlar. Bunun katkısı da %21 idi.

Şekil 5.8, moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 ikili kuvvet-çiftine ayrışımıdır. (5-6) ifadesi, (5-1)'e eşdeğerdir. Görüldüğü gibi ayrışımındaki baskın terim olan üçüncü elementer moment tansörün (EMT3) fay düzlemi çözümü de buraya kadar sözü edilen genel çözüm, büyük kuvvet-çifti, en iyi ikili kuvvet-çifti ve ikili kuvvet-çifti çözümlerini desteklemektedir.

Şekil 5.9, moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipole ayrışımını gösterir. (5-7) 'deki ayrışım matrisi, (5-1)'deki moment tansöre eşdeğerdir. Ayrışımındaki baskın terim, dördüncü elementer moment tansör (EMT4) olup, çözümü, Şekil 5.7'deki CLVD bileşeninin tanımladığı kuvvet sistemini desteklemektedir.

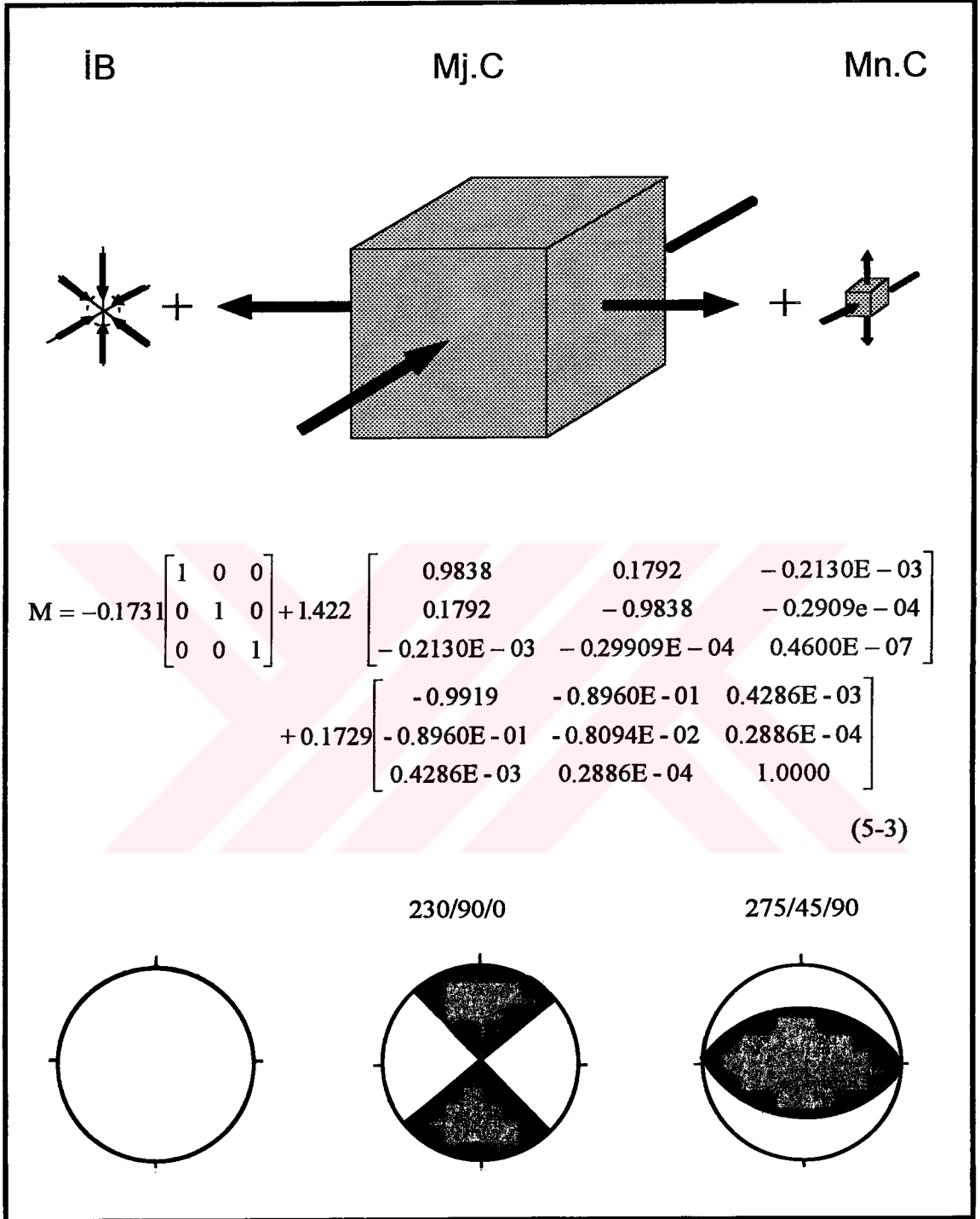
Şekil 5.10 ise moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 vektör dipole ayrışımını verir. (5-8)'deki ayrışım ifadesi, (5-1) ile verilen moment tansöre eşdeğerdir. (5-8)'deki elementer momentler, (5-2)'deki deviyatrik özdeğerlere eşdeğerdir. Dolayısıyla, (5-8)'deki EMT2, (0.2147E-03, 0.9540E-05, 1.000) özvektörüyle; EMT3, (0.9959, 0.8997E-01, -0.2147E-03) özvektörüyle; EMT4, (-0.8997E-01, 0.9959, 0.9816E-05) özvektörüyle karakterize edilmektedir. Bu da göstermektedir ki (5-1) ile verilen moment tansöre ait asal eksenler, (5-8)'deki elementer moment tansörlerle tanımlanmaktadır.

Buradan hareketle, gerek CLVD bileşenlerinin gerekse küçük kuvvet-çifti (minor couple) bileşeninin birbirlerini desteklercesine hep bindirme mekanizması tanımlamaları Şekil 5.11'deki görüntüye uyuyor. Nitekim, Taymaz (1990)'a ait olan bu şekilde ve Nabelek (1984)'te çevredeki diğer depremlerin (06.09.1975, 05.05.1986, 06.06.1986) de daha çok bindirme mekanizması tanımladıkları ifade ediliyor. Yani, Doğu Anadolu Fayı'nın bu kesimleri daha çok bindirme mekanizmalı faylarla biçimlenen bir tektonik rejim sürüyor.

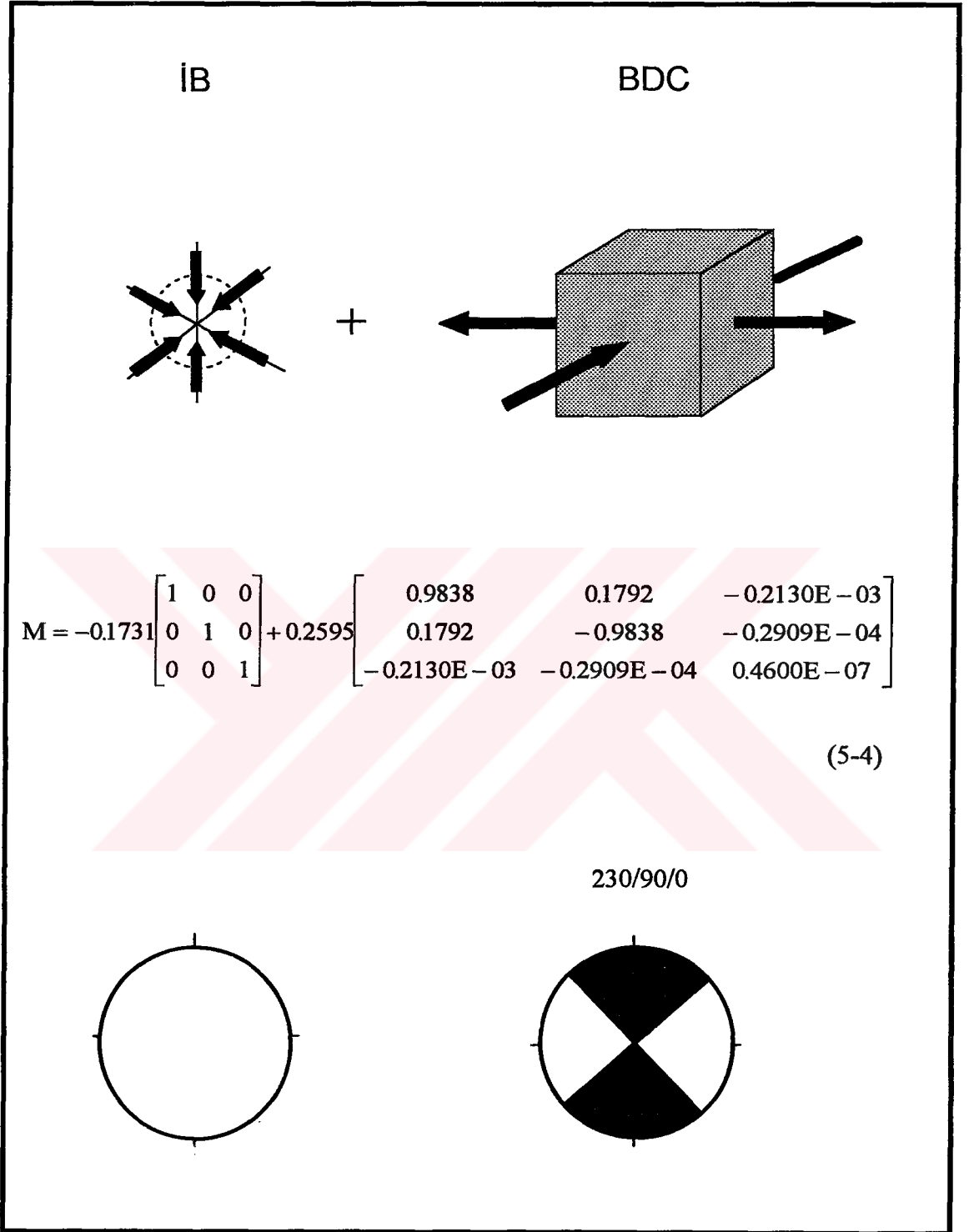
O halde; 14 Haziran 1964 Malatya depremi, doğrusal moment tansör ters çözümüne göre içinde tektonik yada makaslama hareketinin hâkim olduğu, sıkışma tarzında hacim değişikliği yaratan bir izotropik bileşenli, ayrıca bir bindirme bileşeni de barındıran kaynağı tanımlamaktadır.

#### 5.4. 25 MART 1969 DEMİRCİ DEPREMİ

Depremin, bir öncü (23.03.1969;  $M_s=5.9$ ) diğer ikisi artçı (30.04.1969, 23.04.1970;  $m_b>5.0$ ) olmak üzere en az üç şoku daha vardır. Ketin ve Abdüsselamoğlu (1969)'na göre Demirci ilçe merkezinde ve Simav çayı vadisinin iki tarafında da deprem şiddetle hissedilmiş, büyük hasar yapmıştır. Simav vadisi,

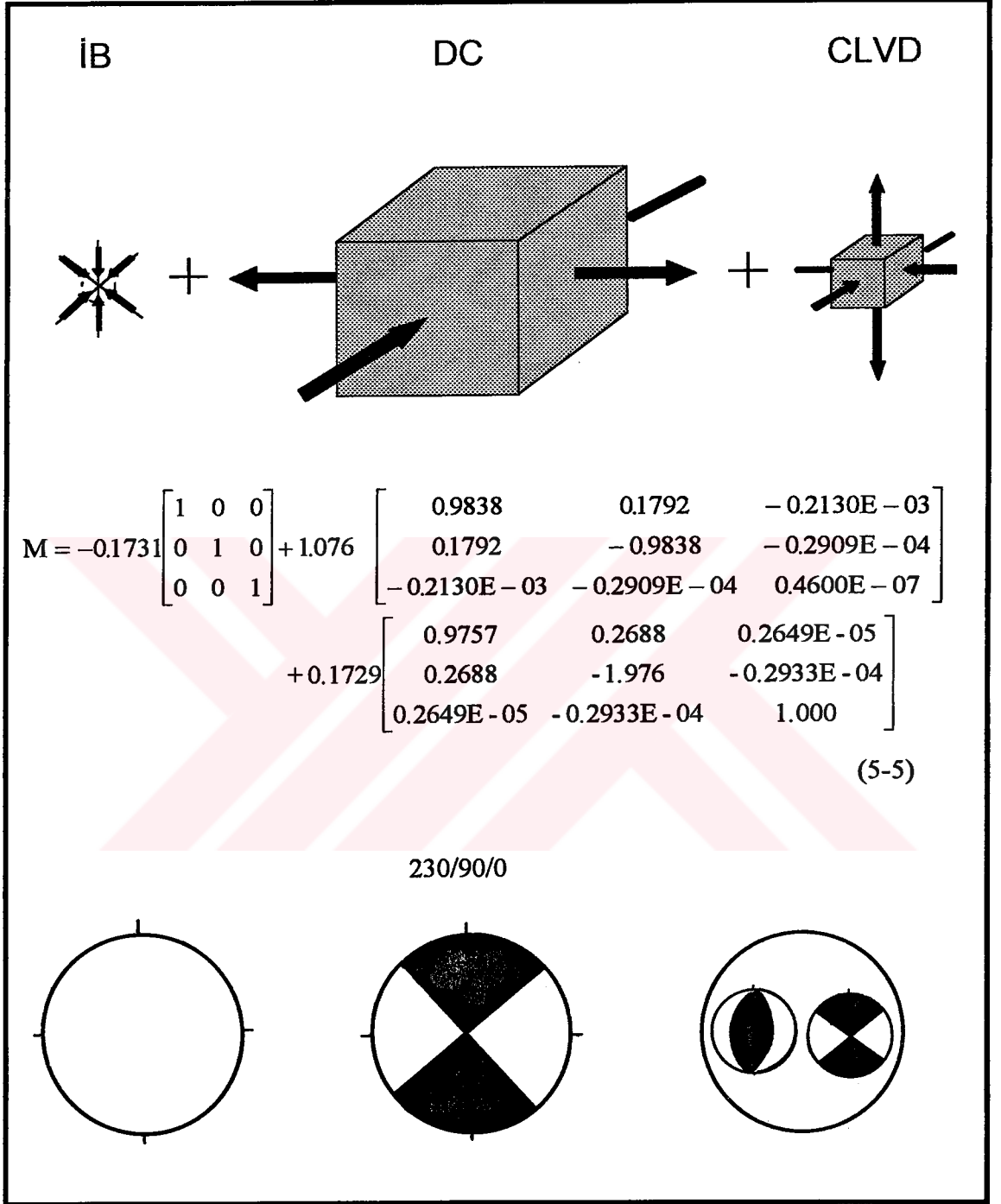


**Şekil 5.5** 14 Haziran 1964 Malatya depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 büyük kuvvet çifti (Mj.C) ve 1 küçük kuvvet-çiftine (Mn.C) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Eşdeğer kuvvet bileşenleri, kaynaktaki katkı oranlarına göre verilmiştir. Mekanizma diyagramlarındaki koyu renkli bölümler kaynaktaki çekme gerilmesi bölgelerini, açık renkli bölümler ise kaynaktaki basınç bölgelerini gösterir. Mekanizma diyagramlarının tepesinde, düğüm düzlemlerinden birinin derece olarak “Doğrultu/ Eğim/Kayma” değerleri verilir.



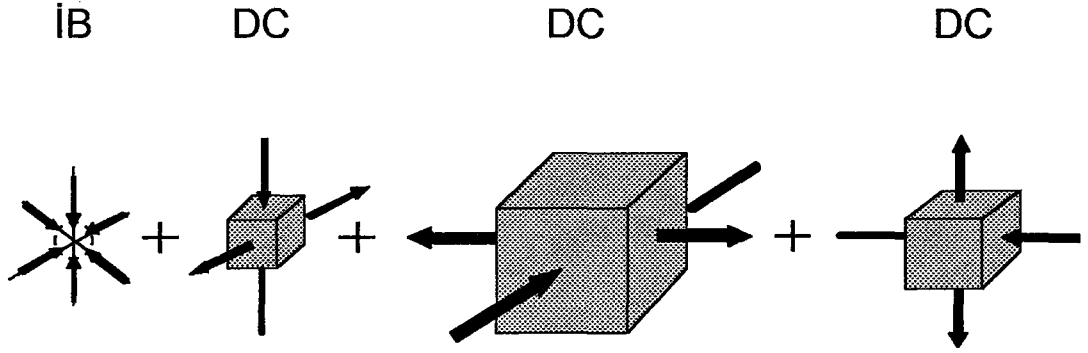
**Şekil 5.6** 14 Haziran 1964 Malatya depremine ait moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti (best double-couple:BDC) çözümünü karakterize eden eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.





**Şekil 5.7** 14 Haziran 1964 Malatya depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 ikili kuvvet-çifti (DC) ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. CLVD, 2 adet DC'nin toplamı olarak gösterilmiştir (EK-K)\*\*). Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

(\*\*) Bundan sonraki şekillerde yer alan CLVD'ler için de aynı gösterim kullanılmaktadır.



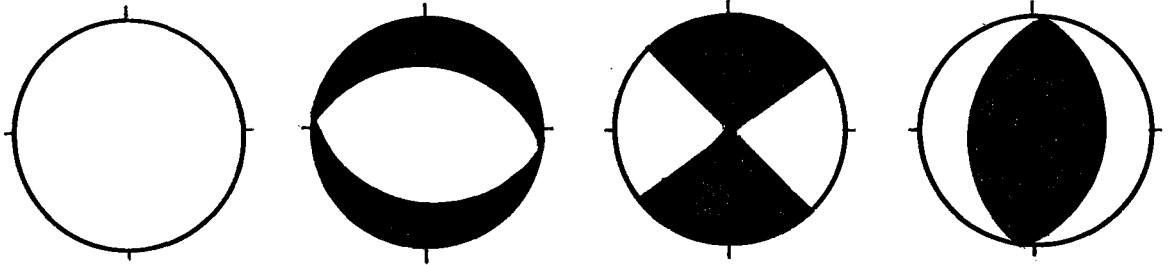
$$M = -0.1731 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0.3586 \begin{bmatrix} 0.9919 & 0.8960E-01 & -0.4286E-03 \\ 0.8960E-01 & 0.8094E-02 & -0.2886E-04 \\ -0.4286E-03 & -0.2886E-04 & -1.000 \end{bmatrix} \\ + 0.8902 \begin{bmatrix} 0.9838 & 0.1792 & -0.2130E-03 \\ 0.1792 & -0.9838 & -0.2909E-04 \\ -0.2130E-03 & -0.2909E-04 & -0.4600E-07 \end{bmatrix} \\ + 0.5316 \begin{bmatrix} -0.8094E-02 & 0.8960E-01 & 0.2156E-03 \\ 0.8960E-01 & -0.9919 & -0.2370E-06 \\ 0.2156E-03 & -0.2370E-06 & 1.000 \end{bmatrix}$$

(5-6)

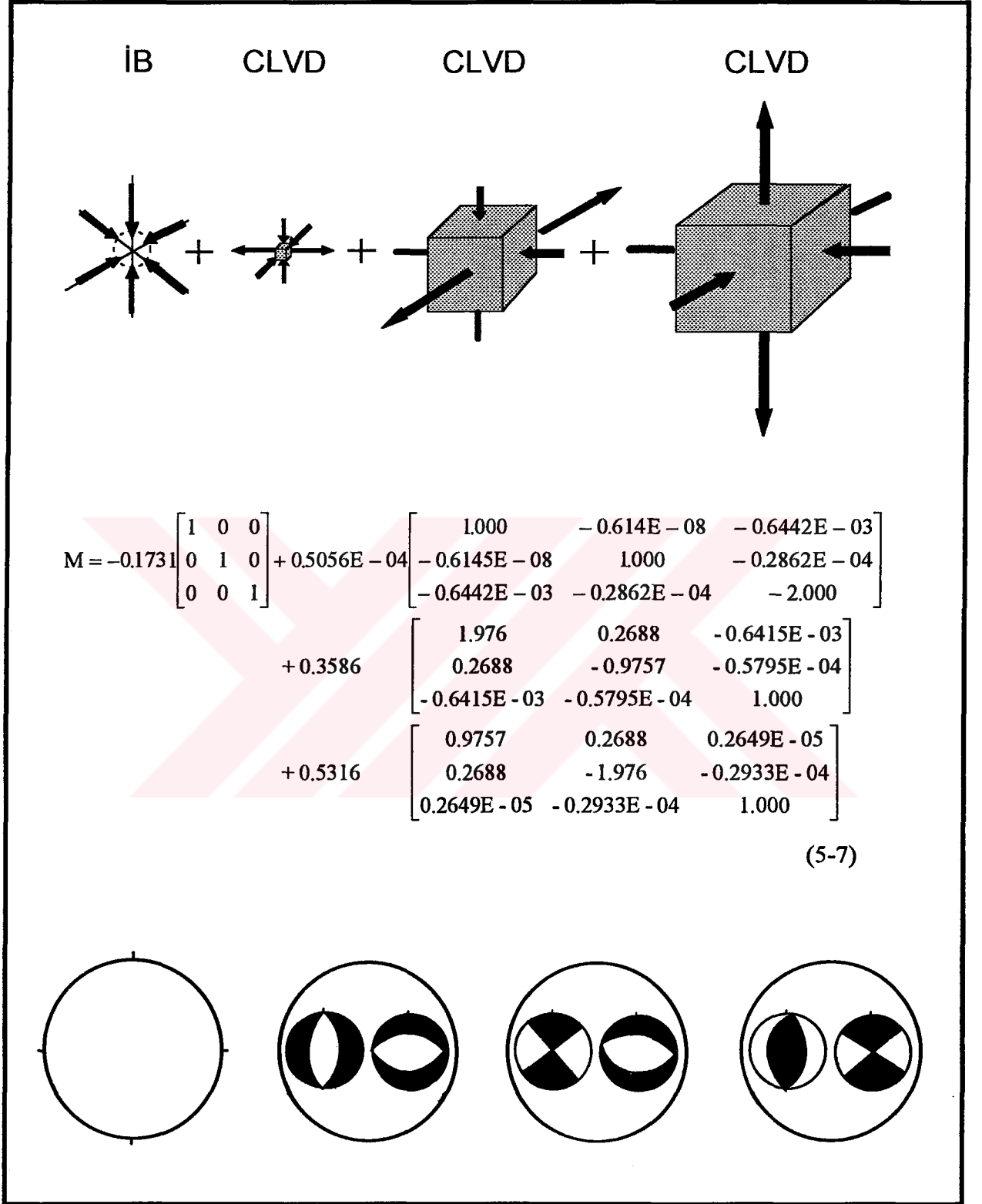
275/45/-90

230/90/0

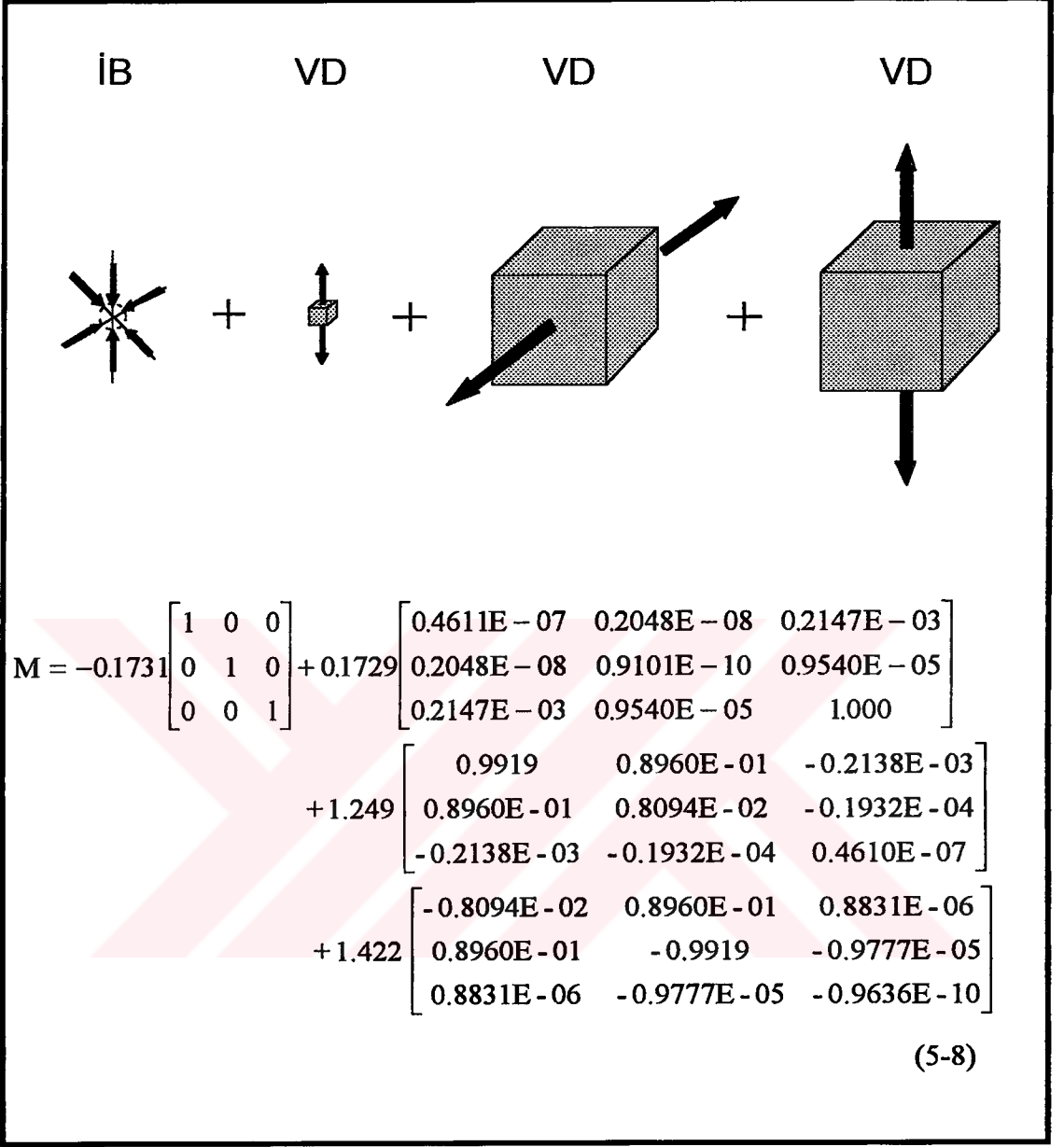
5/45/90



**Şekil 5.8** 14 Haziran 1964 Malatya depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 ikili kuvvet-çiftine (DC) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.9** 14 Haziran 1964 Malatya depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.10** 14 Haziran 1964 Malatya depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 vektör dipole (VD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri ve elementer moment tansörler. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

kuzey ve güney yakasını sınırlayan net fayları ile Batı Anadolu'nun doğu-batı yönlü aktif graben sisteminin bir parçasıdır. Demirci ilçesi, Neojen formasyonlarından oluşmuş bir horst üzerinde kurulmuştur. Episanır bölgesinin kenarlarında, Simav çayı vadisinin kuzey ve güney yamaçlarında Neojen tabakalarını kesen genç faylar vardır. Bunlardan, özellikle Simav ilçe merkezi ve daha ileriye uzanan güney fayı daha genç

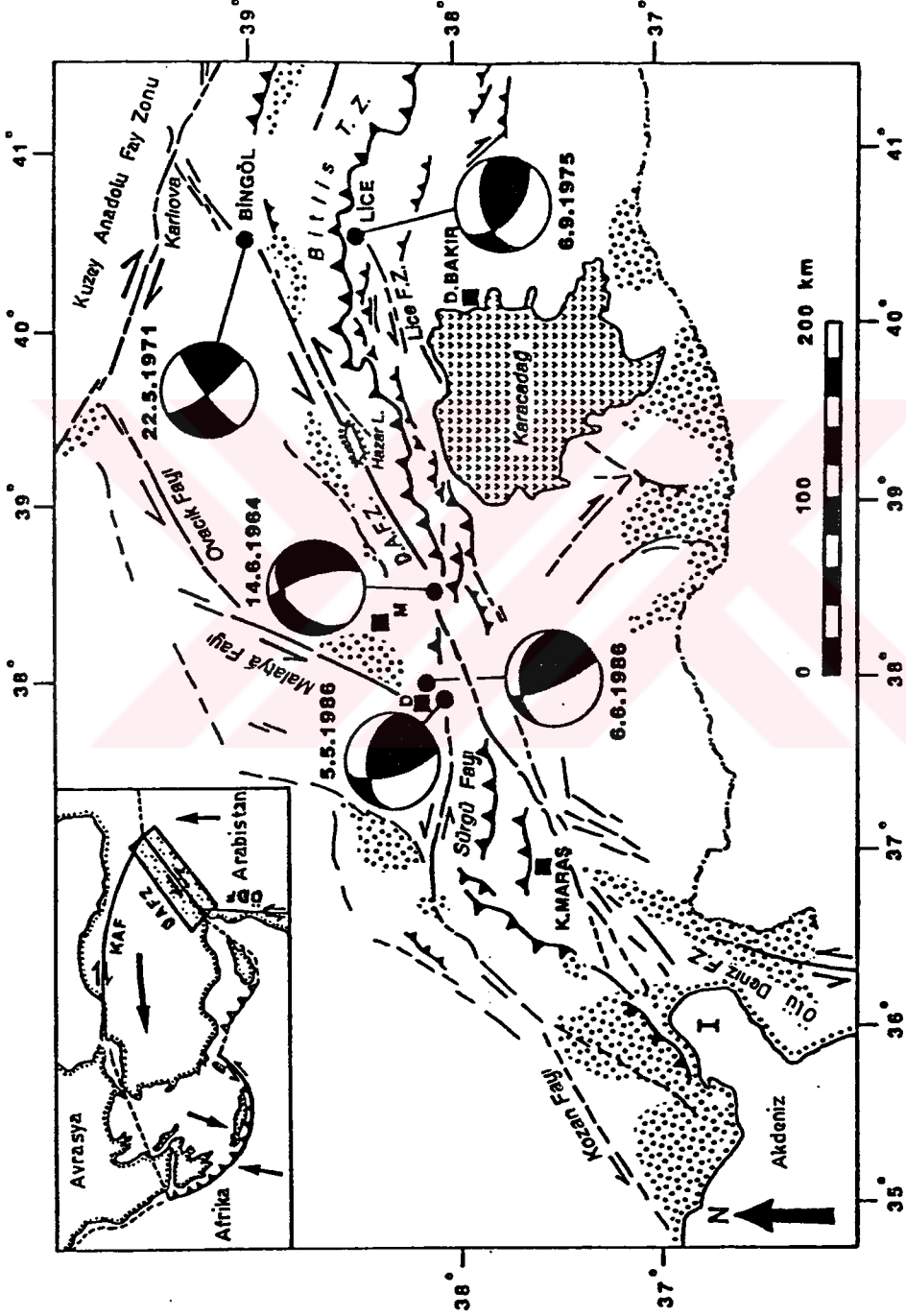
ve daha etkin görüntü sergiler. Batı bölümü ise Yemen deresine doğru basamaklı normal faylarla sınırlanmıştır. Episanır bölgesindeki bazı yerlerde yer kaymaları olmuş, ancak fay ve tansiyon çatlağı oluşmamıştır (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Eyidoğan ve diğ., 1991). Depremin, P dalgası ilk hareket yönleriyle yapılan fay düzlemi çözümü Şekil 5.1’de. Ayrıca Şekil 5.12’de depremin Eyidoğan ve Jackson (1985) tarafından yapılan uzak alan dalga şekli modellemelerinden elde edilen fay düzlemi çözümü görülür.

25 Mart 1969 Demirci depremi için telesismik dalga-şekli ters çözüm sonuçları Şekil 5.13’de verilmektedir. Bunun için 11 telesismik istasyonda kaydedilmiş P dalga-şekilleri kullanılmıştır. Elde edilen fay düzlemi çözümü,  $50^\circ\text{GGD}$  yada  $40^\circ\text{KKD}$ ’ya eğimli düğüm düzlemlerine sahiptir. Elbetteki bu fay düzlemleri, deprem anında meydana gelen yüzey faylanmasının açıklaması konusunda yeterli değildir. Bu fay düzlemi çözümü, depremin normal faylanma ile ilintili olduğunu ve faylanmanın da yaklaşık D-B doğrultusunda oluştuğunu göstermektedir. Dalga-şekillerine bakıldığında ise gözlemsel dalga-şekilleri ile sentetikleri arasında iyi bir uyumun bulunduğu açıktır. Kaldı ki dalga şekilleri, sıkı normal faylanma olaylarının tipik “W” şekilli uzun peryot cisim dalgalarından oluştuğunu sergilemektedir. 25 Mart 1969 Demirci depremi için telesismik cisim dalgaları ters çözüm yöntemiyle kestirilen kaynak parametreleri şöyledir: Doğrultu=  $278^\circ \pm 39$ , Eğim=  $39^\circ \pm 5$ , Kayma=  $279^\circ \pm 13$ , Derinlik=  $11 \pm 2$  km,  $M_0 = 2.49 \times 10^{25}$  dyne-cm.

25 Mart 1969 Demirci depremi için doğrusal moment tansör ters çözüm sonuçları ise Şekil 5.15,.....,21 ile verilmektedir. Şekil 5.14, kullanılan P dalgası ilk hareket genliklerini gösterir. Kestirilmiş olan moment tansör (ölçek= $10^{26}$ ), matris biçimiyle,

$$M = \begin{bmatrix} 1.330 & -0.7756 & -0.8364E-06 \\ -0.7756 & 2.343 & 0.1126E-03 \\ -0.8364E-06 & 0.1126E-03 & 0.1090E-03 \end{bmatrix} \quad (5-9)$$

ifadesidir. (5-9), ters çözüm sırasındaki ayrırlılığın ölçüsünde ve ilk hareket genliklerine göre sözkonusu depremi tam olarak tanımlayan bir matematik büyüklüktür. Şekil 5.15, moment tansör bileşenleri ile genel fay düzlemi çözümünü verir. Bu çözüm, Şekil 5.13 ile doğrultu dışında uyum içindedir. Moment tansörün özdeğerleri ile özvektörleri, Tablo 5.4’tedir.



**Şekil 5.11** Doğu Anadolu Fay zonunun tektonik görünümü ve bazı depremlerin fay düzlemi çözümleri (Taymaz ve diğ., 1991'den). Mekanizma diyagramlarındaki koyu renkli bölümler basınç bölgelerini, açık renkli bölümler gerilme bölgelerini gösterir.

Moment tansörün genel ayrışımından,

$$M = \begin{bmatrix} 1.226 & 0 & 0 \\ 0 & 1.226 & 0 \\ 0 & 0 & 1.226 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.3148 & 0 & 0 \\ 0 & -1.226 & 0 \\ 0 & 0 & 1.540 \end{bmatrix} \quad (5-10)$$

ifadesi elde edilir. İlk terim izotropik bileşeni, ikincisi de deviyatrik bileşeni karakterize eder. Buradan, kaynağa katkı sağlayan eşdeğer kuvvet bileşenlerinin katkı miktarları,

MONOPOLE oranı = %55

DC oranı = %26.5

CLVD oranı = %18.5

Deviyatrik bileşen için,

DC oranı = %59

CLVD oranı = %41

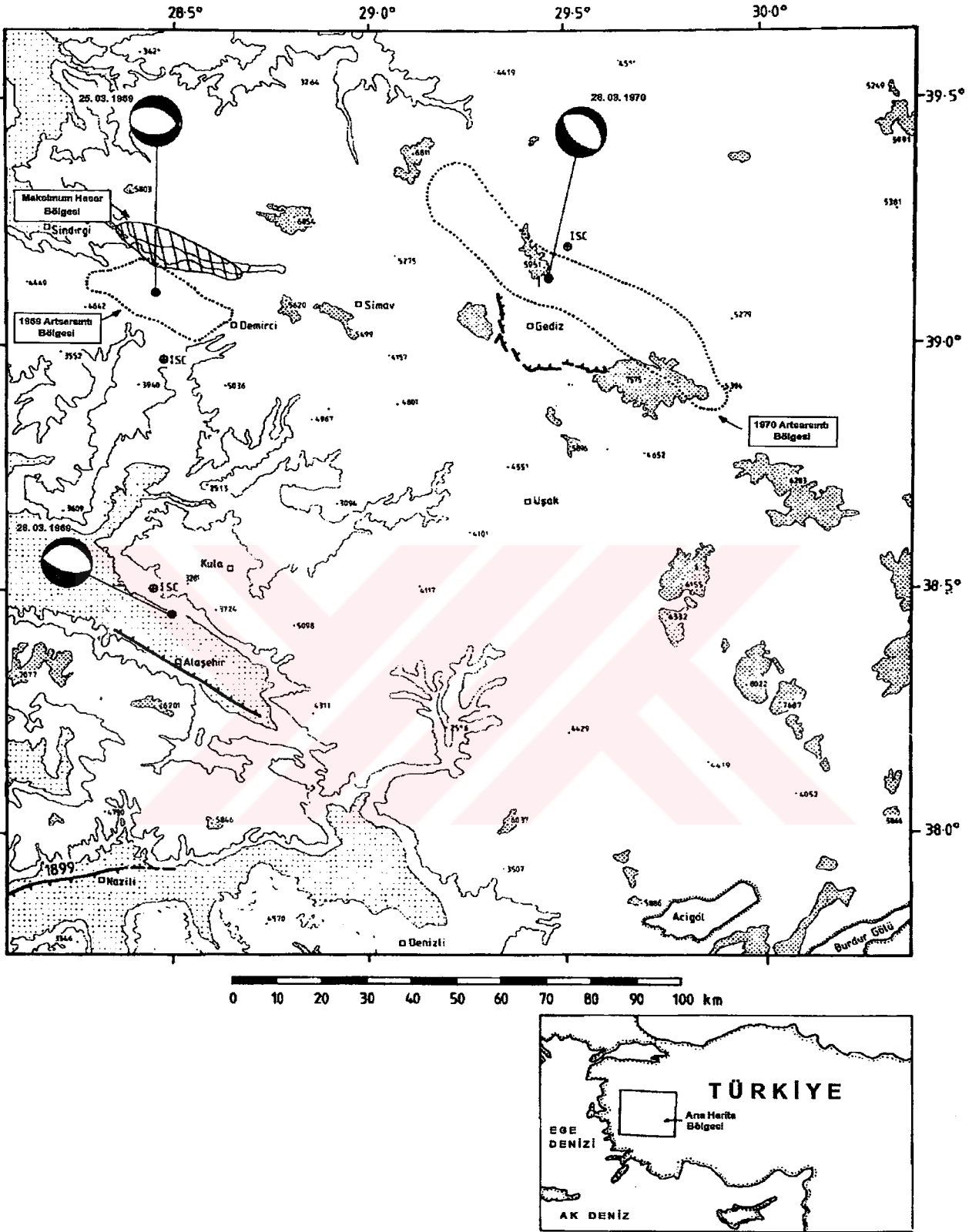
Özdeğerler Toplamı = 3.677

şeklinde bulunur. Görüldüğü gibi kaynaktaki baskın bileşen izotropik bileşendir. Yani, kaynakta makaslama mekanizması da etkili olmakla birlikte, bu kaynak, daha çok gerilme kökenli bir kaynaktır (Şekil 5.18).

Şekil 5.16, kestirilen moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 büyük kuvvet çifti ve bir küçük kuvvet çiftine göre ayrışımını gösterir. Hemen belirtmeli ki (5-11,...,16) matris ayrışimleri, (5-9) ile verilen moment tansöre eşdeğerdir. (5-11) eşitliğindeki büyük kuvvet-çiftinin (EMT2) fay düzlemi çözümünün en iyi ikili kuvvet-çifti ve genel çözümle aynı olduğu görülür (Şekil 5.17, Şekil 5.15). Küçük kuvvet-çifti (EMT3) ise bir bindirmeyi karakterize etmektedir. Moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti çözümü Şekil 5.17 ile verilmektedir. Demek ki genel çözüm, bu deprem için aynı zamanda en iyi ikili kuvvet-çifti çözümüdür.

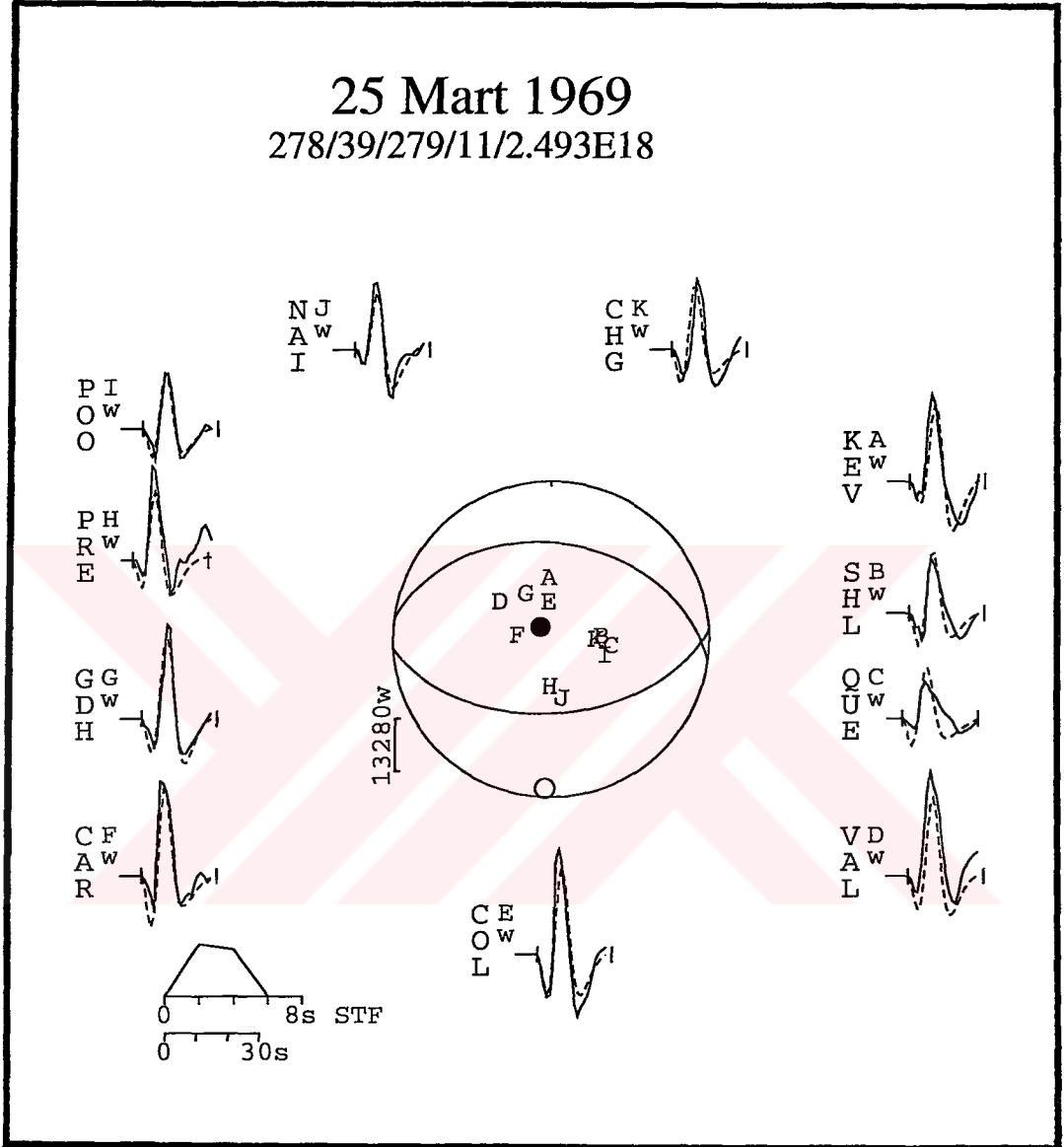
**Tablo 5.4** 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansöre ait özdeğer ve özvektörler

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                       |
|------------|-----------------------------------|
| 2.766      | (-0.4751, 0.8799, 0.3595E-04)     |
| 0.9109     | (0.8799, 0.4751, 0.5792E-04)      |
| 0.1090E-03 | (-0.3388E-04, -0.5915E-04, 1.000) |



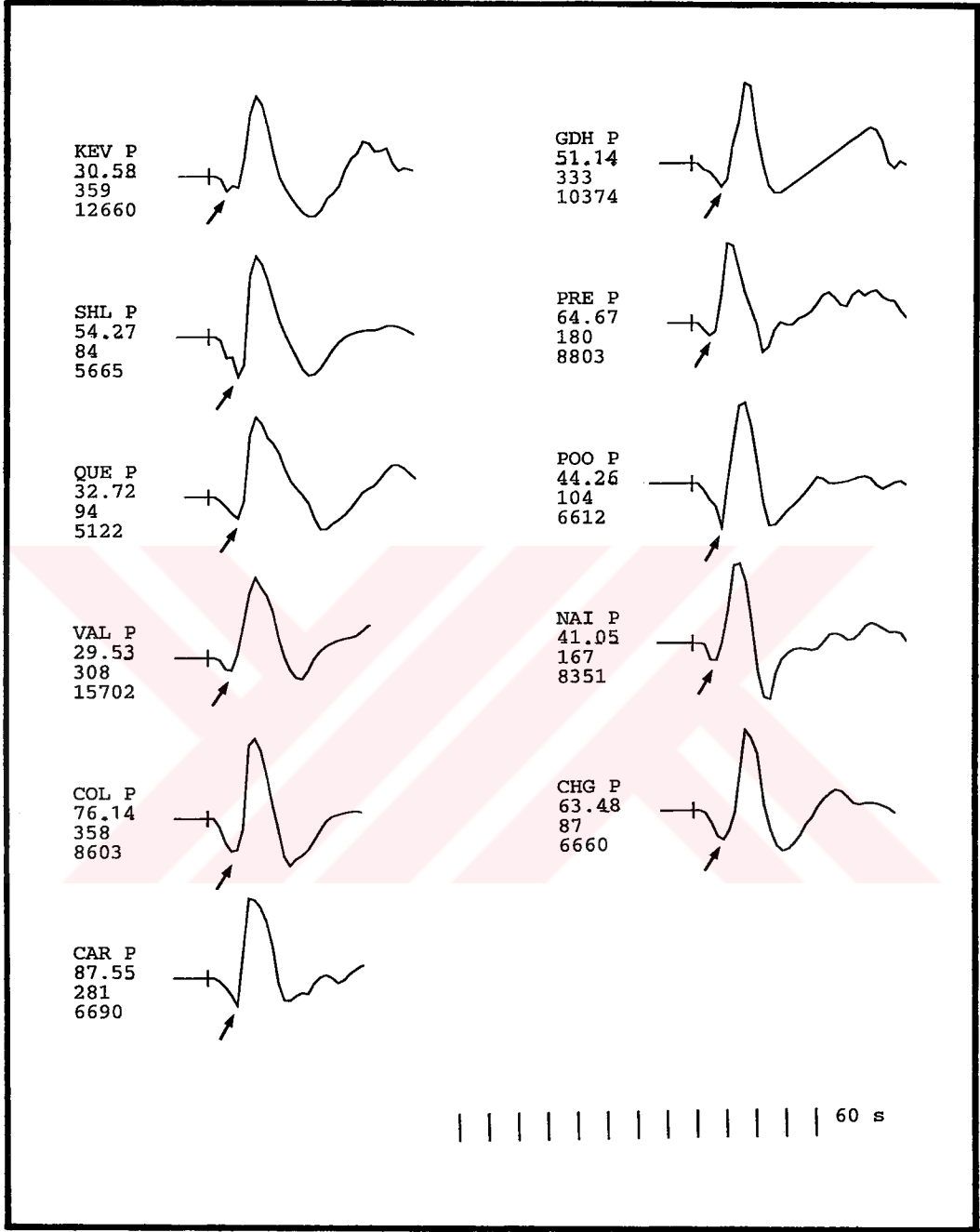
**Şekil 5.12** 25.03.1969 Demirci, 28.03.1969 Alaşehir ve 28.03.1970 Gediz depremleri için telesismik dalga-şekli ters çözümü'nden elde edilen fay düzlemi çözümleri (Eyidoğan ve Jackson, 1985'den düzenlenmiştir). Mekanizma diyagramlarındaki koyu renkli bölümler basınç, açık renkli bölümler gerilme bölgelerini gösterir.





**Şekil 5.13** 25 Mart 1969 Demirci depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.2'deki gibidir.

Şekil 5.18, moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 ikili kuvvet-çifti ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole ayrışımını verir. Buradaki DC bileşenine ait elementer moment tansörün (EMT2) fay düzlemi çözümü de genel çözüm, büyük kuvvet-çifti ve en iyi ikili kuvvet-çifti ile aynıdır (Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17). CLVD



**Şekil 5.14** 25 Mart 1969 Demirci depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. Semboller ve işaretlemeler şekil 5.3'deki gibidir.

bileşenini oluşturan DC sistemlerinden biri, bir doğrultu atımı karakterize ederken, diğeri de bir normal faylanmayı karakterize eder.

Şekil 5.19, moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 ikili kuvvet-çiftine ayrışımını gösterir. Bu ayrışımındaki baskın terim EMT4 olup elementer fay düzlemi çözümü de genel çözüm, büyük kuvvet-çifti, en iyi kuvvet-çifti ve Şekil 5.18'deki ikili kuvvet-çifti bileşenlerinin fay düzlemi çözümleriyle aynıdır (Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17).

Şekil 5.20, moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipole göre ayrışımını verir. Buradaki EMT3 ile baskın olan EMT4, buraya kadarki ayrıştırmalarda geçen CLVD ve DC bileşenlerini desteklemektedir.

Şekil 5.21 ise moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 vektör dipole ayrışımını gösterir (5-16)'daki elementer momentler (5-10)'daki deviyatrik özdeğerlere eşdeğerdir. Dolayısıyla, (5-16)'daki EMT2, (0.8799, 0.4751, 0.5792E-04) özvektörüyle; EMT3, (-0.3388E-04, -0.5915E-04, 1.000) özvektörüyle; EMT4 (-0.4751, 0.8799, 0.3595E-04) özvektörüyle karakterize edilmektedir. Dolayısıyla (5-9) ile verilen moment tansöre ait asal eksenler, (5-16)'daki elementer moment tansörlerle tanımlanmaktadır.

O halde; 25 Mart 1969 Demirci depremi, daha çok gerilme kökenli bir kaynağa sahiptir. Az da olsa ikili kuvvet-çifti ve sıkıştırılmış lineer vektör dipol bileşenleri yadsınamaz katkılar sağlamaktadır.

### 5.5. 28 MART 1969 ALAŞEHİR DEPREMİ

Deprem; Alaşehir ve Sarıgöl ilçe merkezleri dahil olmak üzere yukarı Gediz vadisini şiddetle sarsmış ve yerleşim merkezlerinde büyük hasarlar yapmıştır. Hatta Demirci'nin yaklaşık 80 km. güneyindeki kesimi de aynı hasarla karşılaşmıştır. 25.03.1969 depremi sonrası Demirci bölgesinde süren şiddetli art sarsıntı aktivitesine rağmen Alaşehir depremi (28.03.1969) sonrası telesismik istasyonlar tarafından sadece bir art sarsıntı ( $m_b=4.6$ ) kaydedilmiştir. Deprem nedeniyle yer-yer heyelanlar olmuş, yüzeyde izlenen kırıklar oluşmuştur. Sıcak su kaynaklarının verimi değişmiştir.

**MOMENT TANSÖR :**

$M_{xx}=1.330$

$M_{yy}=2.347$

$M_{zz}= 0.1090E-03$

$M_{xy}=-0.7756$

$M_{xz}=-0.8364E-06$

$M_{yz}=0.1126E-03$

**GENEL FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMÜ :****Asal Eksenler;**

- |    |     |                    |            |             |
|----|-----|--------------------|------------|-------------|
| 1. | (T) | Özdeğer=2.766      | Dalım = 0° | Azimet=118° |
| 2. | (B) | Özdeğer=0.9109     | Dalım=0°   | Azimet=28°  |
| 3. | (P) | Özdeğer=0.1090E-03 | Dalım=90°  | Azimet=240° |

En iyi ikili kuvvet-çifti;  $M_0=1.838$  dyne-cm

NP1 : Doğrultu=208° Eğim=45° Kayma=-90°

NP2 : Doğrultu=28° Eğim=45° Kayma=-90°



**Şekil 5.15** 25 Mart 1969 Demirci depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.4'deki gibidir.

Nitekim, bir normal faylanmayı karakterize eden kırığın yüzeydeki izi yaklaşık 36 km. uzunluğundadır. Bu kırığın, Dereköy-Alaşehir arasındaki 20 km'lik bölümü izlenebilmekte olup, ovadaki 16 km'lik bölümü ise yer-yer kaybolmaktadır. Kırık ortalama bir doğrultu tutturmakla birlikte açıda yer-yer değişiklikler olmaktadır. Kırık boyunca kuzey blok olan ova tarafı, güney blok olan dağ tarafına göre aşağı çökmüştür. İşte bu görünüm, normal bir fayı simgeler niteliktedir ve Gediz grabeninin

basamaklar halindeki güney faylanmasına paraleldir (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Eyidoğan ve diğ., 1991). Ayrıca, Eyidoğan ve Jackson (1985) tarafından yapılan dalga-şekli modellemelerinden, depremin bir fay düzlemi çözümü de Şekil 5.12'dedir.

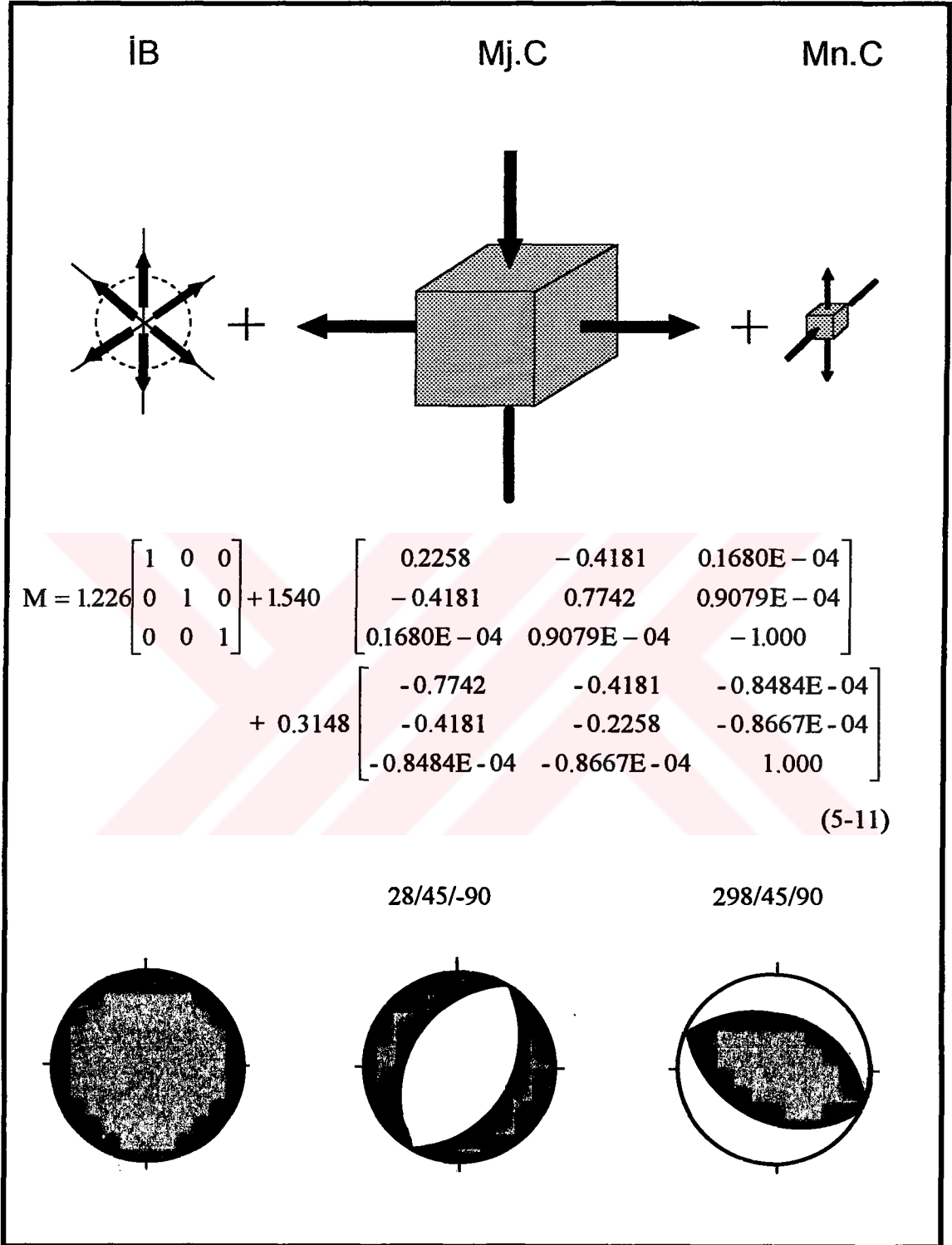
28 Mart 1969 Alaşehir depremi için telesismik dalga-şekli ters çözüm sonuçları, Şekil 5.22'de görülmektedir. Bunun için 23 telesismik istasyonda kaydedilmiş P dalga-şekilleri kullanılmıştır. Şekil 5.22'deki fay düzlemi çözümü  $53^\circ\text{GB}$  yada  $37^\circ\text{KD}$ 'ya eğimli düğüm düzlemlerine sahiptir ve Şekil 5.1'deki P dalgası ilk hareket yönü çözümü ile uyumludur. Bu fay düzlemi çözümü (Şekil 5.22), depremin bir normal faylanma ile ilgili olduğunu ve faylanmanın da KB-GD doğrultusunda geliştiğini gösterir. Gözlemsel dalga-şekilleri ile sentetikleri arasında iyiye yakın bir uyum vardır. Keza, aynı bölgede normal faylanmalarla sonuçlanan diğer iki deprem, bu depremdeki gibi karmaşık sismogramlara sahip değildir (Şekil 5.13, Şekil 5.31). Alaşehir depremindeki bu özellik, Eyidoğan ve Jackson (1985) tarafından çok kaynakla açıklanmıştır (bkz: Eyidoğan ve Jackson, 1985).

O halde, 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle kestirilen kaynak parametreleri şöyledir: Doğrultu= $127^\circ \pm 8$ , Eğim= $53^\circ \pm 2$ , Kayma= $274^\circ \pm 6$ , Derinlik= $4 \pm 1\text{km}$ ,  $M_0=2.71 \times 10^{26}$  dyne-cm.

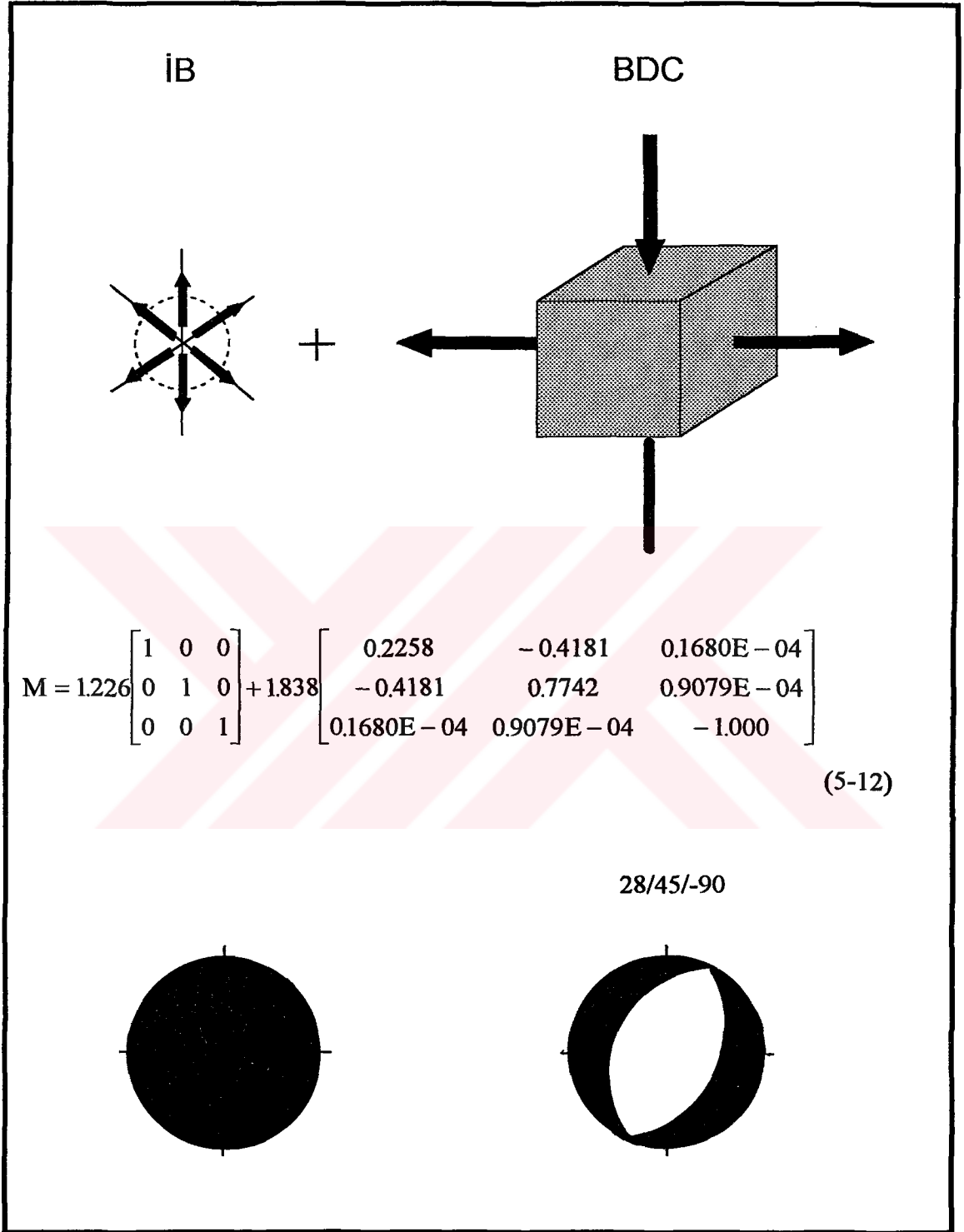
28 Mart 1969 Alaşehir depreminin doğrusal moment tansör ters çözümüyle kestirilen moment tansörü (ölçek= $10^{27}$ ),

$$M = \begin{bmatrix} 1.845 & 0.3048E-01 & -0.2592E-06 \\ 0.3048E-01 & 1.828 & -0.1372E-05 \\ -0.2592E-06 & -0.1372E-05 & 0.1441E-03 \end{bmatrix} \quad (5-17)$$

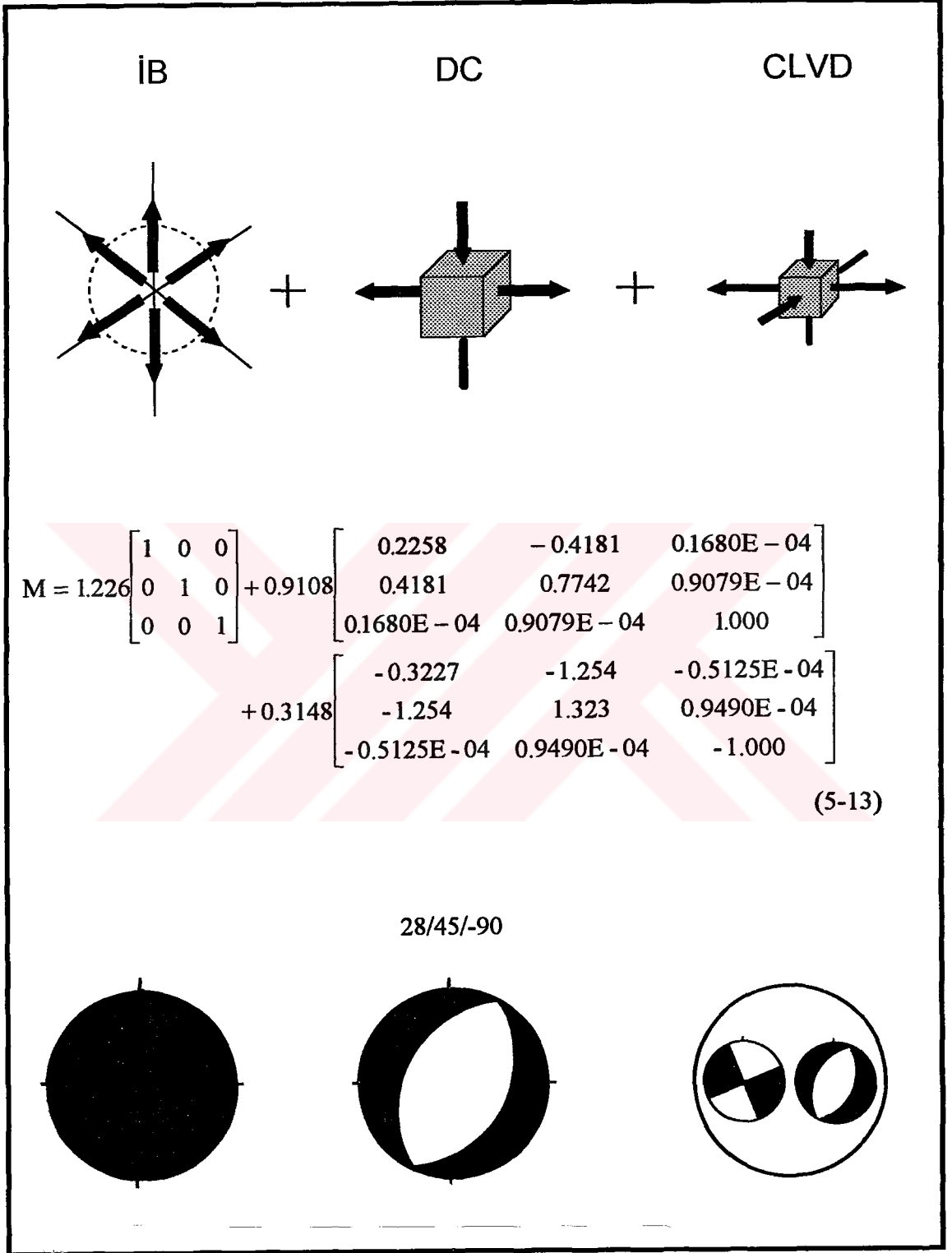
şeklindedir. Şekil 5.23, kullanılan P dalgası ilk hareket genliklerini, Şekil 5.24 ise moment tansör bileşenlerini ve genel fay düzlemi çözümünü gösterir. Bu çözüm, Şekil 5.1'deki ilk hareket yönlerinden saptanan çözüm ve Şekil 5.22'deki dalga-şekli ters çözümüyle uyum içindedir. Moment tansörün özdeğerleri ile özvektörleri Tablo 5.5'te verilir.



**Şekil 5.16** 25 Mart 1969 Demirci depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 büyük kuvvet çifti (Mj.C) ve 1 küçük kuvvet çiftine (Mn.C) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

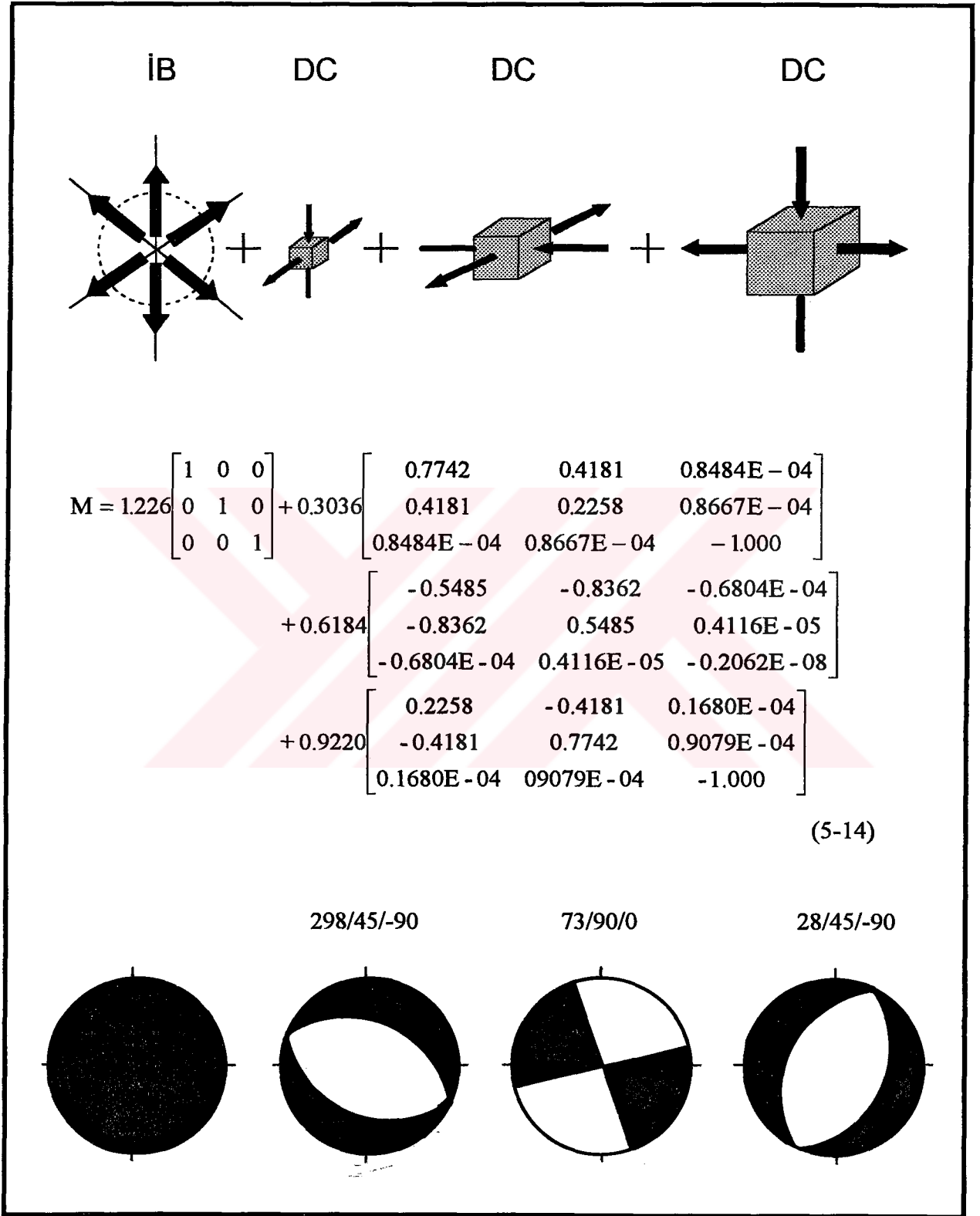


**Şekil 5.17** 25 Mart 1969 Demirci depremine ait moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti (best double couple: BDC) çözümünü karakterize eden eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

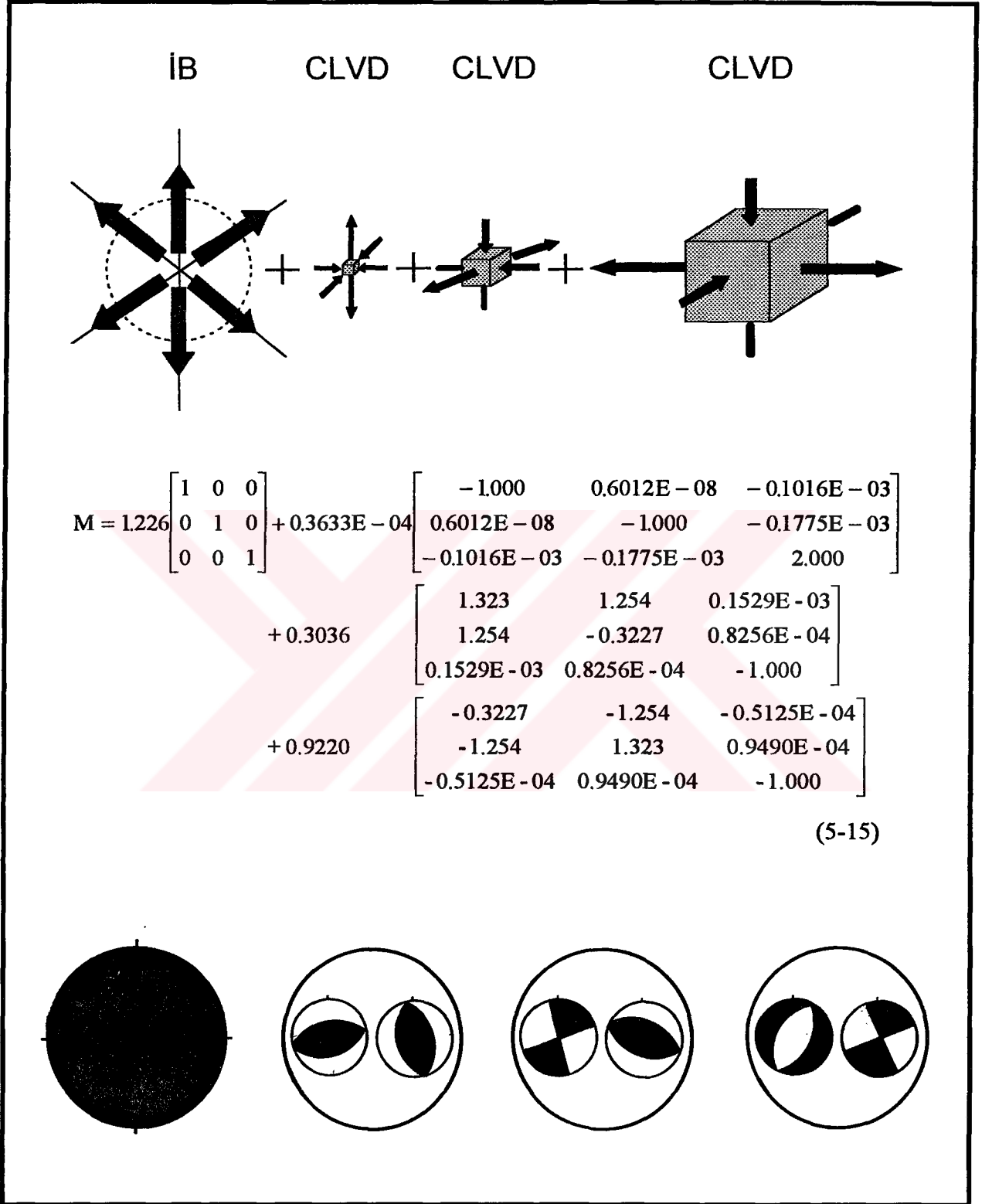


**Şekil 5.18** 25 Mart 1969 Demirci depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 çift kuvvet-çifti (DC) ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLDV) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.





**Şekil 5.19** 25 Mart 1969 Demirci depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 ikili kuvvet-çiftine (DC) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.20** 25 Mart 1969 Demirci depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 sıkıştırılmış Lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler Şekil 5.5'deki gibidir.

İB      VD      VD      VD

$$\begin{aligned}
 M = 1.226 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} &+ 0.3148 \begin{bmatrix} -0.7742 & -0.4181 & -0.5096E-04 \\ -0.4181 & -0.2258 & -0.2752E-04 \\ -0.5096E-04 & -0.2752E-04 & -0.3354E-08 \end{bmatrix} \\
 &+ 1.226 \begin{bmatrix} -0.1148E-08 & -0.2004E-08 & 0.3388E-04 \\ -0.2004E-08 & -0.3499E-08 & 0.5915E-04 \\ 0.3388E-04 & 0.5915E-04 & -1.000 \end{bmatrix} \\
 &+ 1.540 \begin{bmatrix} 0.2258 & -0.4181 & -0.1708E-04 \\ -0.4181 & 0.7742 & 0.3163E-04 \\ -0.1708E-04 & 0.3163E-04 & 0.1293E-08 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(5-16)

**Şekil 5.21** 25 Mart 1969 Demirci depremine ait moment tansörün 1 izotroik bileşen (İB) ve 3 vektör dipole (VD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri ve elementer moment tansörler. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

**Tablo 5.5** 28 Mart 1969 Alaşehir Depremi için moment tansöre ait özdeğer ve özvektörler

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                     |
|------------|---------------------------------|
| 1.868      | (0.7982, 0.6023, -0.5532E-06)   |
| 1.805      | (-0.6023, 0.7982, -0.5205E-06)  |
| 0.1441E-03 | (0.1281E-06, 0.7487E-06, 1.000) |

Dolayısıyla, moment tansörün genel ayrışımı,

$$M = \begin{bmatrix} 1.224 & 0 & 0 \\ 0 & 1.224 & 0 \\ 0 & 0 & 1.224 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.5805 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6438 & 0 \\ 0 & 0 & -1.224 \end{bmatrix} \quad (5-18)$$

olur. (5-18)'deki ilk terim izotropik bileşeni, ikinci terim ise deviyatrik bileşeni tanımlar. (5-19,...,24) ifadeleriyle verilen moment tansör ayrışimleri, (5-17)'deki moment tansöre eşdeğerdir. Bu ayrıştırma işlemlerine göre eşdeğer kuvvet bileşenlerinin kaynak üzerindeki katkı oranları,

MONOPOLE oranı = %55

DC oranı = %2.3

CLVD oranı = %42.7

Deviyatrik bileşen için,

DC oranı = %5

CLVD oranı = %95

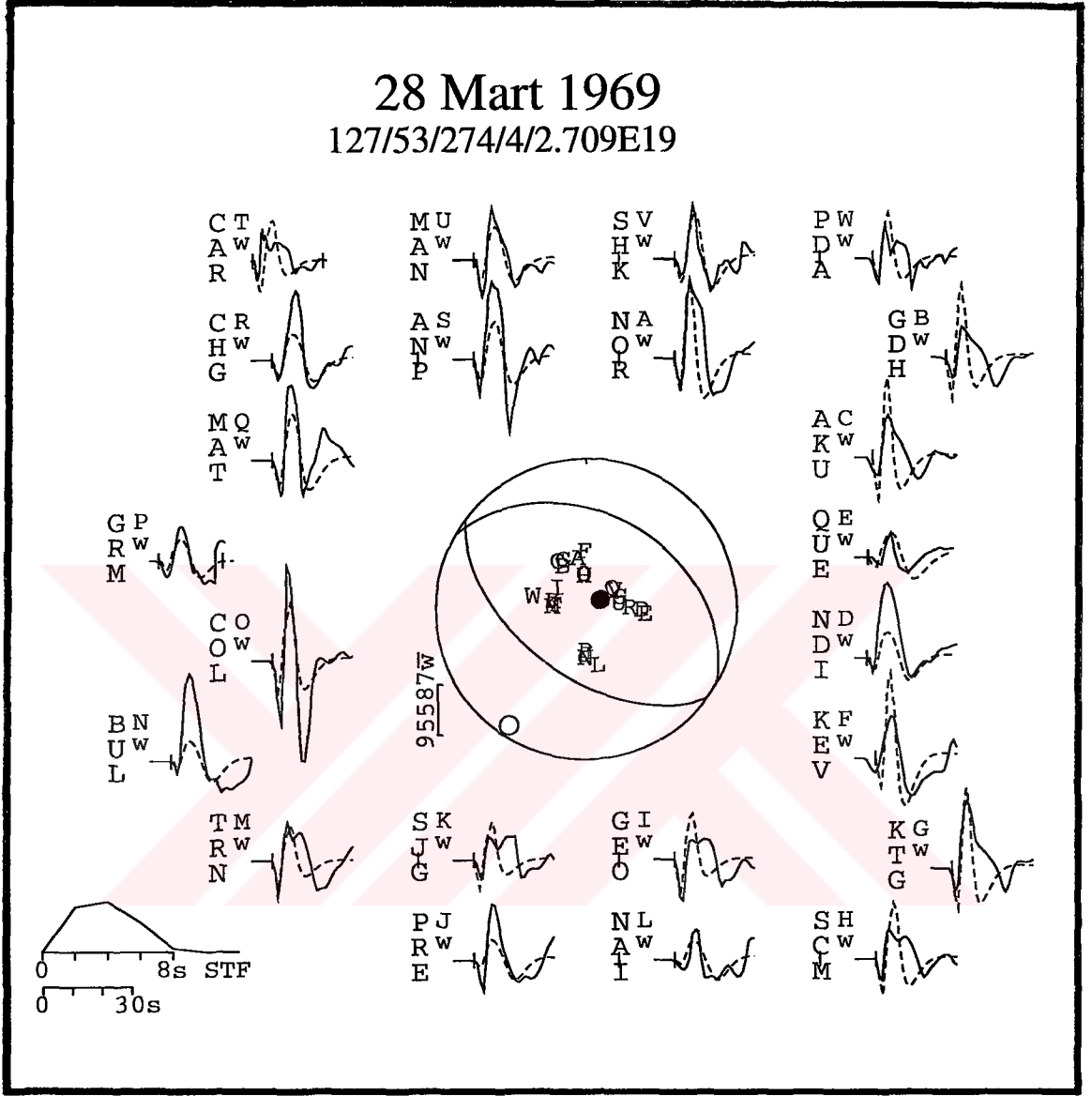
Özdeğerler Toplam = 3.673

olarak bulunur. Buradan da kaynağın daha çok gerilme kökenli olduğu anlaşılır. CLVD bileşeninin, DC bileşeninden daha yüksek katkıya sahip görünmesi dikkati çekicidir (Şekil 5.27).

Şekil 5.25, kestirilen moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 büyük kuvvet-çifti ve 1 küçük kuvvet-çiftine göre ayrışımını gösterir. EMT2 ile tanımlanan büyük kuvvet-çiftine ait elementer fay düzlemi çözümü, dalga-şekli ters çözümü ve genel çözüm ile uyum içindedir (Şekil 5.22, Şekil 5.24). Küçük kuvvet-çifti ise sol yönlü bir doğrultu atım simgeleri.

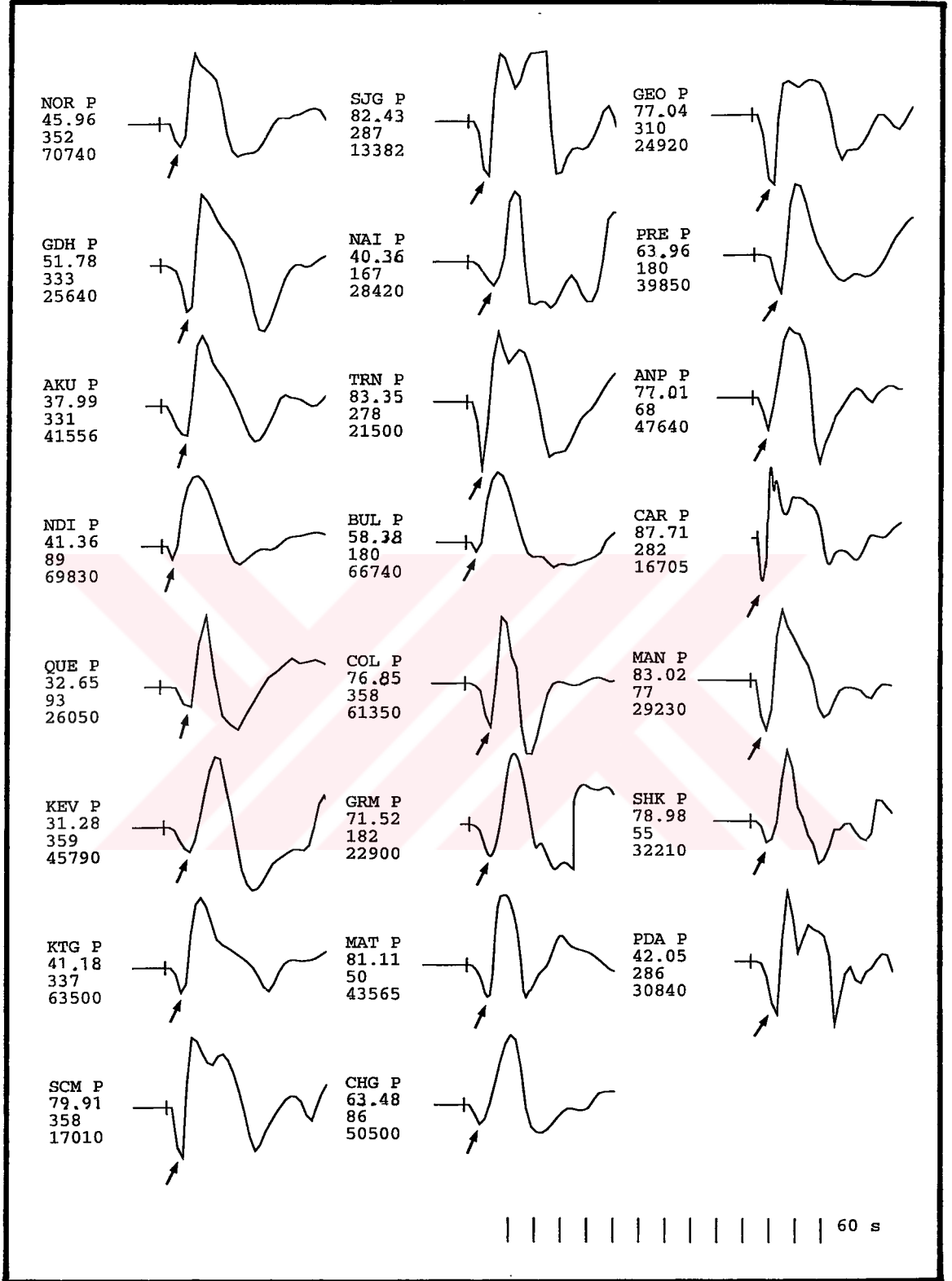
Şekil 5.26'daki en iyi ikili kuvvet-çifti çözümü ise bir bindirme göstermektedir. Bu farklılık, karmaşık sismogram içeriğinin bir sonucu olsa gerektir.

Şekil 5.27, moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 ikili kuvvet-çifti ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole ayrışımını verir. Buradaki ikili kuvvet-çifti bileşeni ile Şekil 5.28'deki baskın bileşen (EMT4) de dalga-şekli ters çözümünü (Şekil 5.22), genel çözümü (Şekil 5.24) ve büyük kuvvet-çifti çözümünü (Şekil 5.25) desteklemektedir. Şekil 5.27'deki CLVD bileşeni de normal faylanmaların bir süperpozisyonudur. Şekil 5.29'daki, moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3



**Şekil 5.22** 28 Mart 1969 Alaşehir depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.2'deki gibidir.

sıkıştırılmış lineer vektör dipola ayrışımıyla elde edilen çözümlerden baskın terim olan EMT4'e ait olanı, Şekil 5.27'deki CLVD bileşenini bire-bir desteklememektedir. Bu da sismogramların karmaşıklığından kaynaklanıyor olabilir. Şekil 5.30, moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 vektör dipole ayrıştırılmasının gösterimidir. (5-24) eşitliğindeki elementer momentler (5-18)'deki deviyatrik özdeğerlere eşdeğerdir.



**Şekil 5.23** 28 Mart 1969 Alaşehir depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. Semboller ve işaretlemeler Şekil 5.3'deki gibidir.

**MOMENT TANSÖR :**

$M_{xx}=1.845$

$M_{yy}=1.828$

$M_{zz}=0.1441E-03$

$M_{xy}=0.3048E-01$

$M_{xz}=-0.2592E-06$

$M_{yz}=-0.1372E-05$

**GENEL FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMÜ :**

Asal Eksenler;

1. (T) Özdeğer=1.868

Dalım = 0°

Azimut=217°

2. (B) Özdeğer=1.805

Dalım = 0°

Azimut=307°

3. (P) Özdeğer=0.1441E-03

Dalım=90°

Azimut=80°

En iyi ikili kuvvet-çifti;  $M_0 = 1.837$  dyne-cm.

NP1: Doğrultu=127°

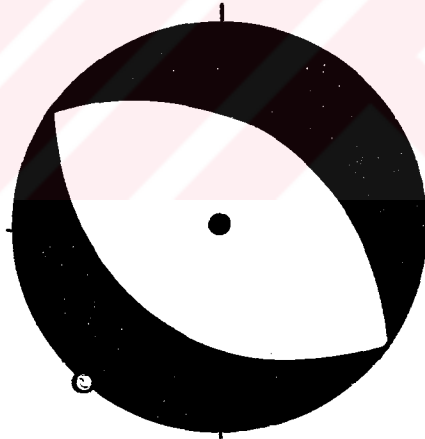
Eğim=45°

Kayma=-90°

NP2: Doğrultu=307°

Eğim=45°

Kayma=-90°



**Şekil 5.24** 28 Mart 1969 Alaçehir depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.4'deki gibidir.

(5-24)'deki EMT2, (-0.6023, 0.7982, -0.5205E-06) özvektörüyle; EMT3, (0.7982, 0.6023, -0.5532E-06) özvektörüyle; EMT4, (0.1281E-06, 0.7487E-06, 1.000) özvektörüyle karakterize edilmektedir. Bu ise (5-17)'deki moment tansöre ait asal eksenlerin, (5-24)'deki elementer moment tansörler ile tanımlanıyor olması demektir.

O halde; 28 Mart 1969 Alaşehir depremi de doğrusal moment tansör ters çözümüne göre gerilme kökenli bir kaynağı temsil eder.

### 5.6. 06 NİSAN 1969 KARABURUN DEPREMİ

Episantrı Karaburun kıyıları açıklarında yer alan bu deprem, Sakız adası ve Çeşme'de birçok yapıyı yıkmıştır (Eyidoğan ve diğ., 1991). P dalgası ilk hareket yönlerinden elde edilmiş olan fay düzlemi çözümü, Şekil 5.1'de bulunmaktadır. Bu çözüme göre deprem, normal faylanma gösteren bir odak mekanizmasına sahiptir.

06 Nisan 1969 Karaburun depremi için telesismik dalga-şekli ters çözüm sonuçları, Şekil 5.31'de bulunmaktadır. Bunun için 7 telesismik istasyonda kaydedilmiş P dalga-şekilleri kullanılmıştır. Buradaki fay düzlemi çözümü,  $53^\circ\text{GB}$  yada  $35^\circ\text{KD}$ 'ya eğimli düğüm düzlemlerine sahiptir. Bu çözüme göre deprem, bir normal faylanma göstermektedir. Şekil 5.1'deki P dalgası ilk hareket yönü çözümüyle de uyum içindedir. Şekil 5.31'deki gözlemsel dalga-şekilleri ile sentetikleri arasında iyi bir uyum vardır.

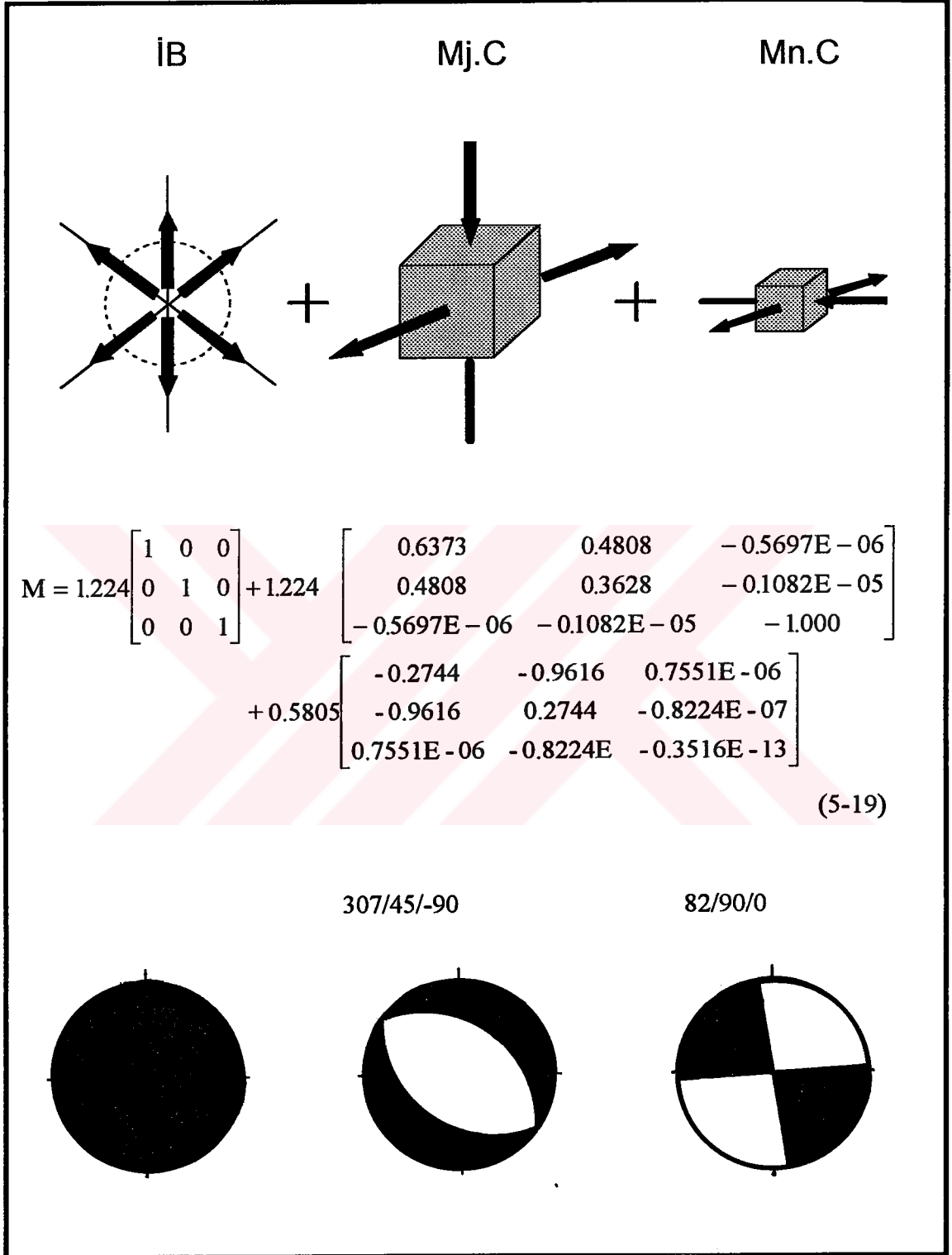
O halde, 06 Nisan 1969 Karaburun depreminin telesismik dalga-şekli ters çözümüyle kestirilen kaynak parametreleri şöyledir: Doğrultu= $104^\circ\pm 31$ , Eğim= $53^\circ\pm 7$ , Kayma= $266^\circ\pm 23$ , Derinlik= $13\pm 3$  km.,  $M_0=5.67\times 10^{24}$  dyne-cm.

06 Nisan 1969 Karaburun depremi için doğrusal moment tansör ters çözümüne,

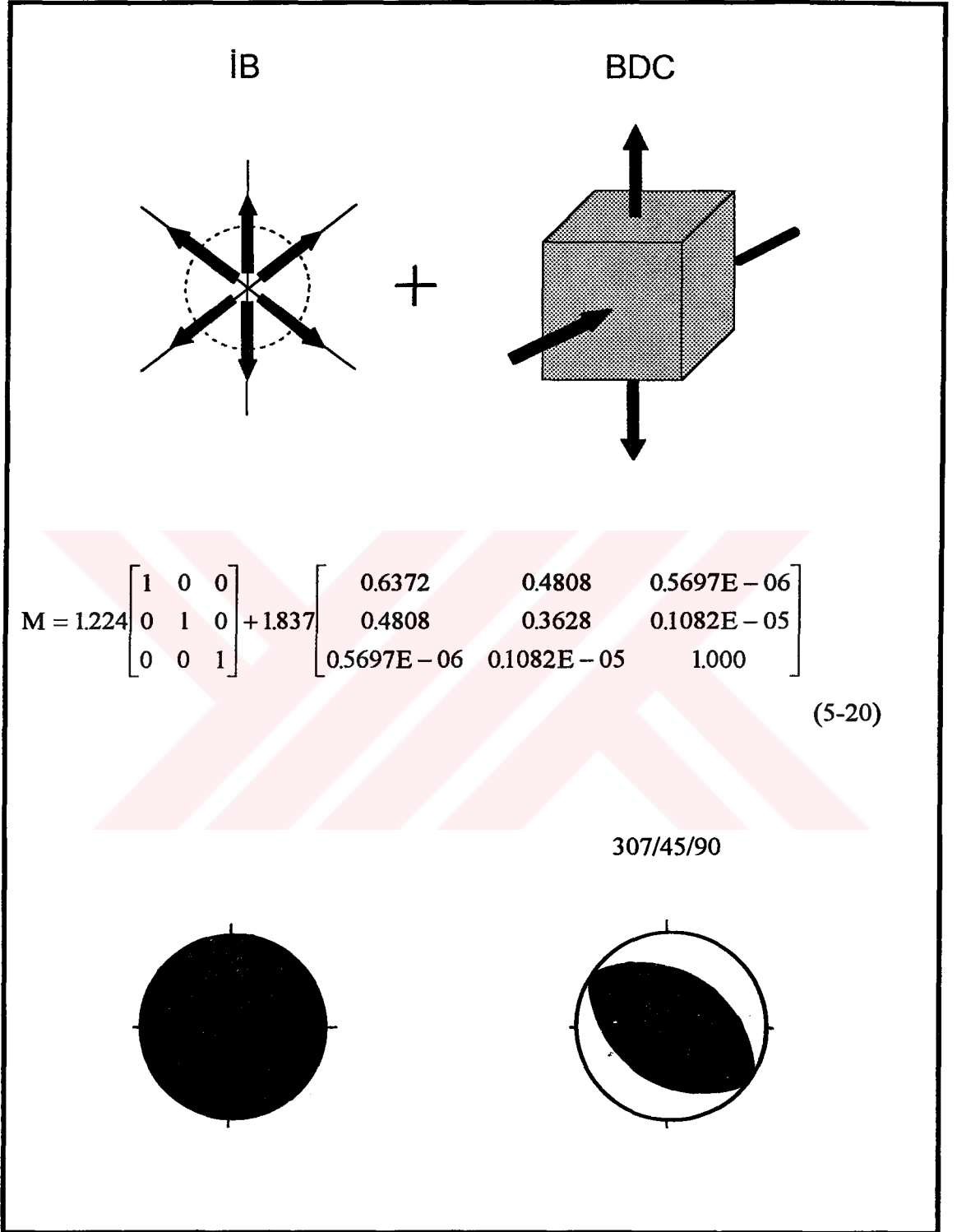
$$M = \begin{bmatrix} 1.720 & 0.4172 & -0.9762E-04 \\ 0.4172 & 5.152 & -0.2407E-03 \\ -0.9762E-04 & -0.2407E-03 & 0.1669E-03 \end{bmatrix} \quad (5-25)$$

moment tansörü (ölçek= $10^{25}$ ) kestirilmiştir. Şekil 5.32, gözlemsel simogramların dalga şekillerini ve kullanılan ilk hareket genliklerini gösterir. Ayırıştırma işlemleriyle elde edilen (5-27,...,32) ifadeleri, (5-25)'deki moment tansöre eşdeğerdir. (5-25) ile verilen moment tansör, ters çözüm sırasındaki ayırmalılığın ölçüsünde ve ilk hareket genliklerine göre kaynağı tam olarak tanımlayan bir matematik büyüklüktür. Şekil 5.33, moment tansör bileşenlerini ve genel fay düzlemi çözümünü göstermektedir. Bu çözüm, Şekil 5.1'deki ilk hareket yönü çözümü ve Şekil 5.31'deki dalga-şekli ters

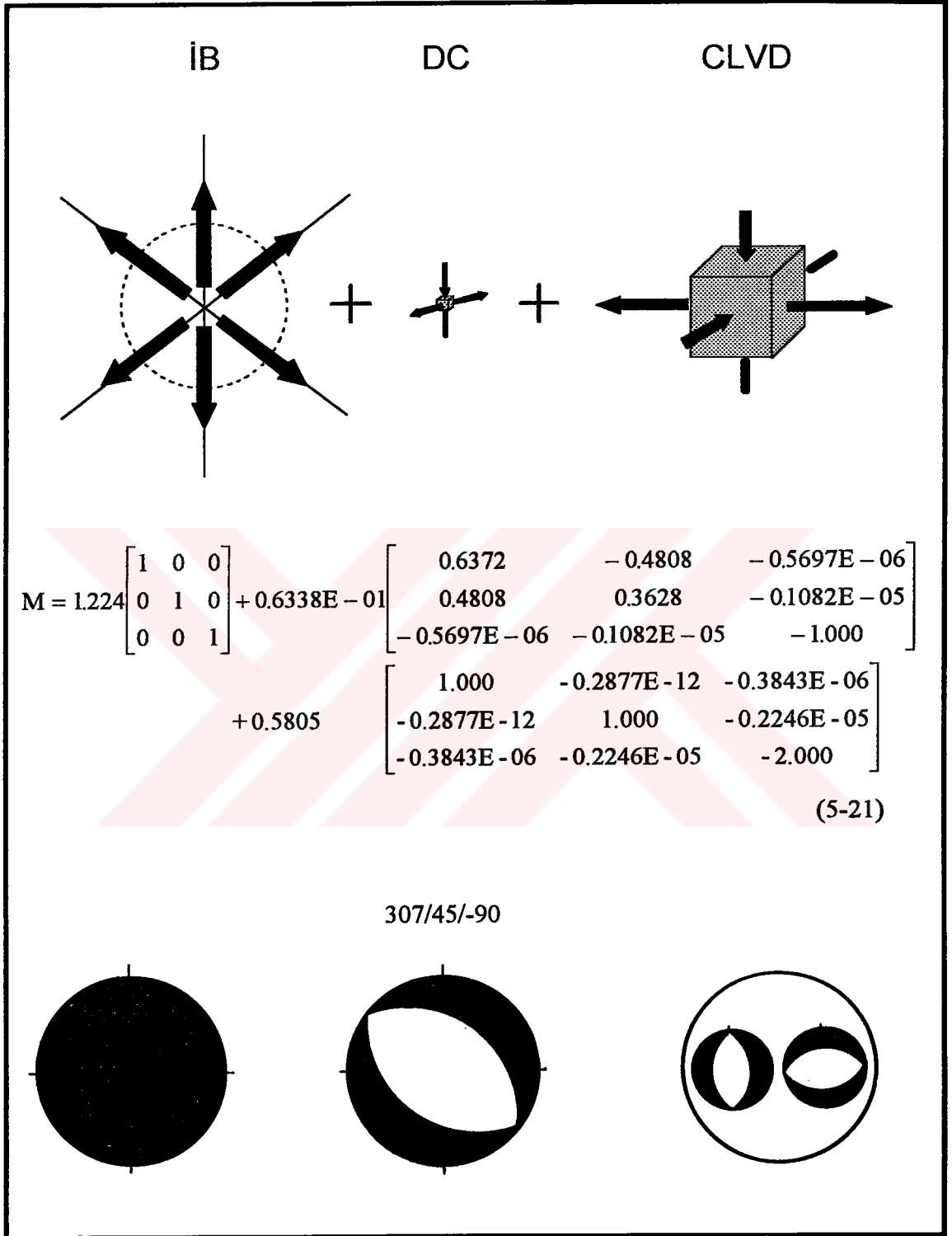




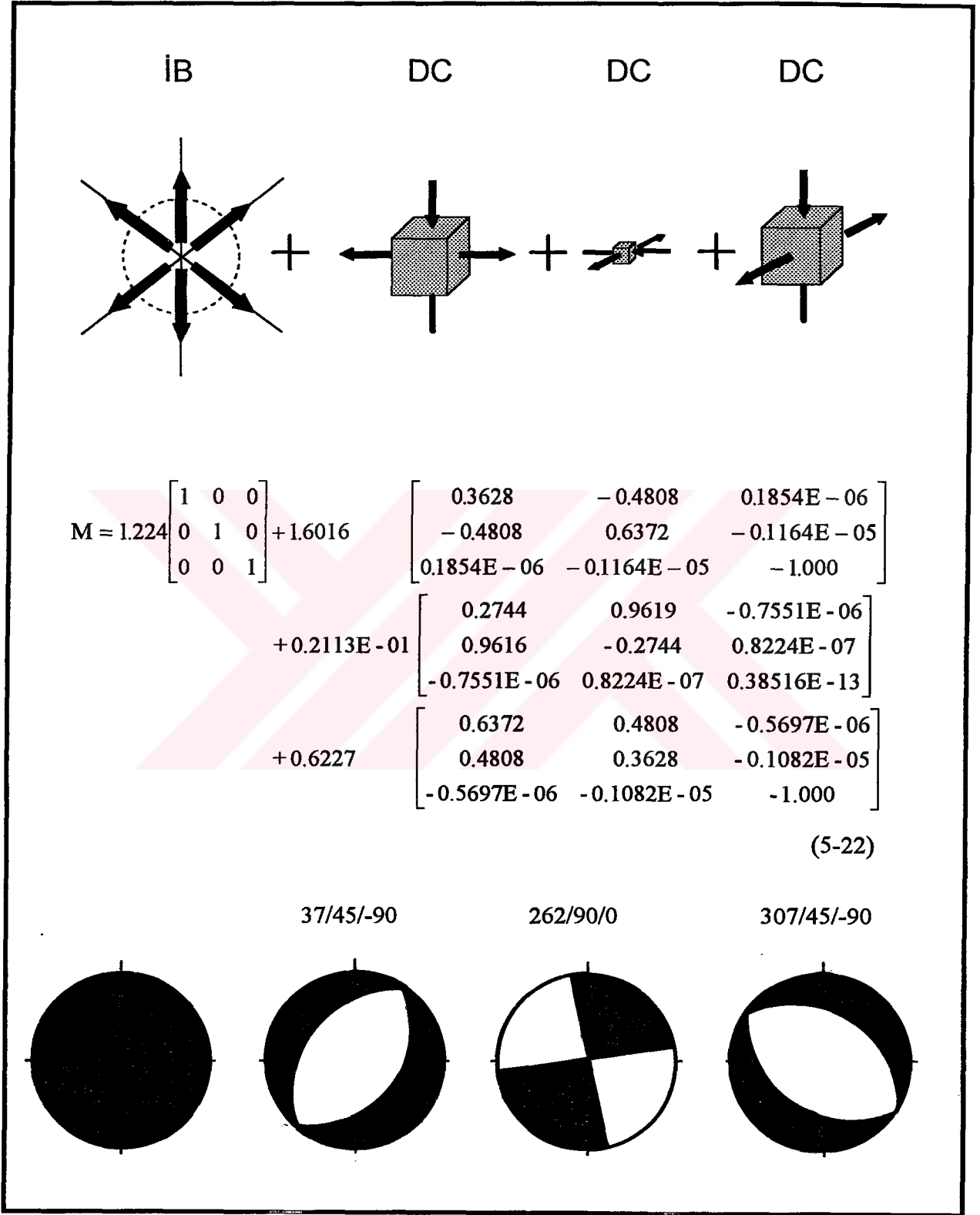
**Şekil 5.25** 28 Mart 1969 Alaşehir depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 Büyük kuvvet çifti (Mj.C) ve 1 küçük kuvvet çiftine (Mn.C) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



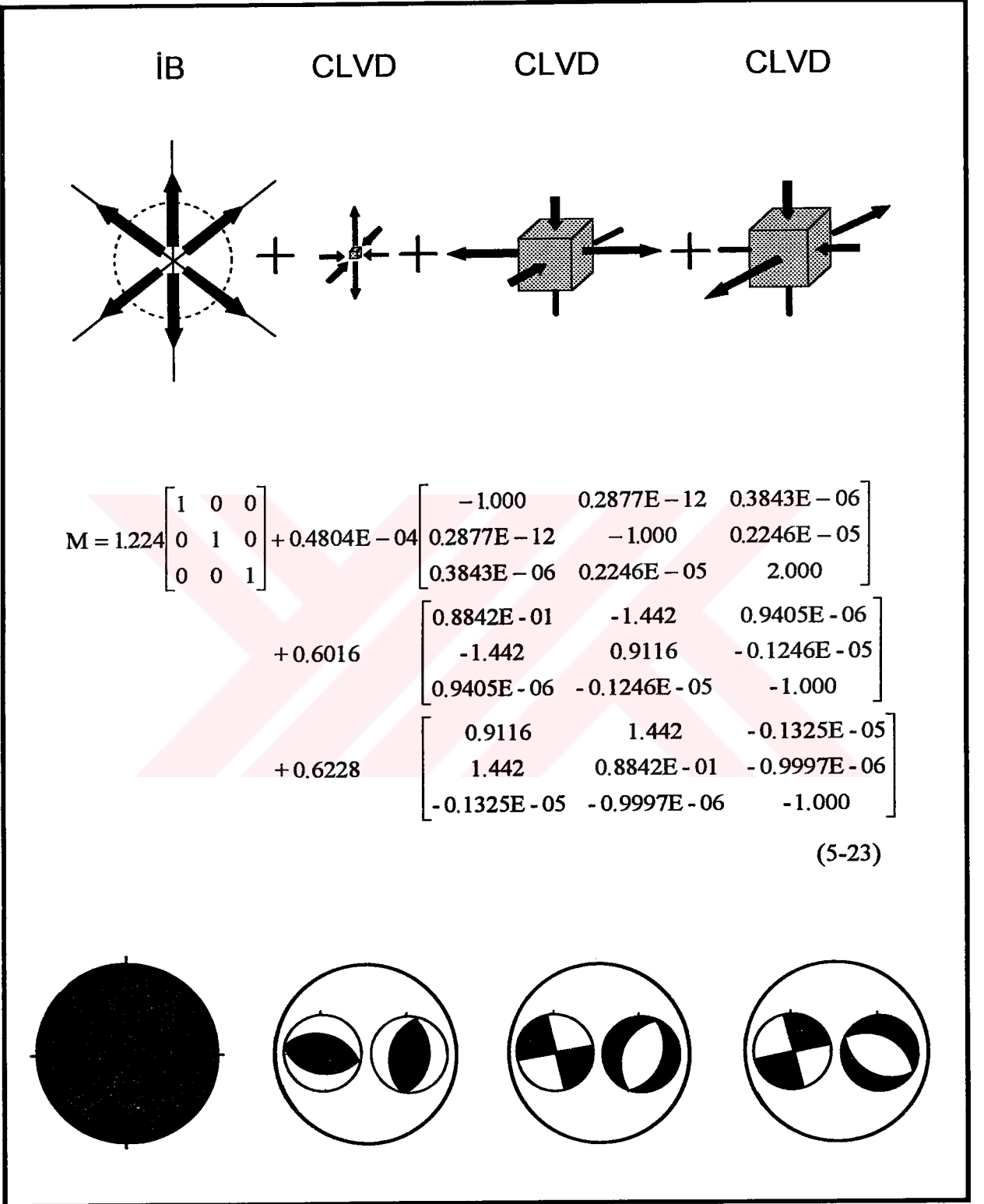
**Şekil 5.26** 28 Mart 1969 Alaşehir depremine ait moment tansörün en iyi çift kuvvet-çifti (best double-couple: BDC) çözümünü karakterize eden eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.27** 28 Mart 1969 Alaşehir depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 ikili kuvvet-çifti (DC) ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.28** 28 Mart 1969 Alaşehir depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 ikili kuvvet-çiftine (DC) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.29** 28 Mart 1969 Alaşehir depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

İB
VD
VD
VD

$$\begin{aligned}
 M = 1.224 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0.5805 \begin{bmatrix} 0.3628 & -0.4808 & 0.3135E-06 \\ -0.4808 & 0.6372 & -0.4155E-06 \\ 0.3135E-06 & -0.4155E-06 & 0.2709E-12 \end{bmatrix} \\
 & + 0.6438 \begin{bmatrix} 0.6372 & 0.4808 & -0.4416E-06 \\ 0.4808 & 0.3628 & -0.3332E-06 \\ -0.4416E-06 & -0.3332E-06 & 0.3061E-12 \end{bmatrix} \\
 & + 1.224 \begin{bmatrix} 0.1641E-13 & 0.9591E-13 & 0.1281E-06 \\ 0.9591E-13 & 0.5605E-12 & 0.7487E-06 \\ 0.1281E-06 & 0.7487E-06 & 1.000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(5-24)

**Şekil 5.30** 28 Mart 1969 Alaşehir depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 vektör dipole (VD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri ve elementer moment tansörler. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

çözümü ile uyum içindedir. Moment tansörün özdeğerleri ile özvektörleri Tablo 5.6'da verilmektedir. Böylece moment tansörün genel ayrışımı,

$$M = \begin{bmatrix} 2.291 & 0 & 0 \\ 0 & 2.291 & 0 \\ 0 & 0 & 2.291 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.6207 & 0 & 0 \\ 0 & -2.291 & 0 \\ 0 & 0 & 2.911 \end{bmatrix} \quad (5.26)$$

şeklinde yazılabilir. (5-26)'daki ilk terim, izotropik bileşen; ikinci terim ise deviyatrik bileşendir. Eşdeğer kuvvet bileşenlerinin kaynağa katkı oranları,

MONOPOLE oranı = %69.6

DC oranı = %17.4

CLVD oranı = %13.0

Deviyatrik bileşen için,

DC oranı = %57

CLVD oranı = %43

Özdeğerler Toplamı = 6.872

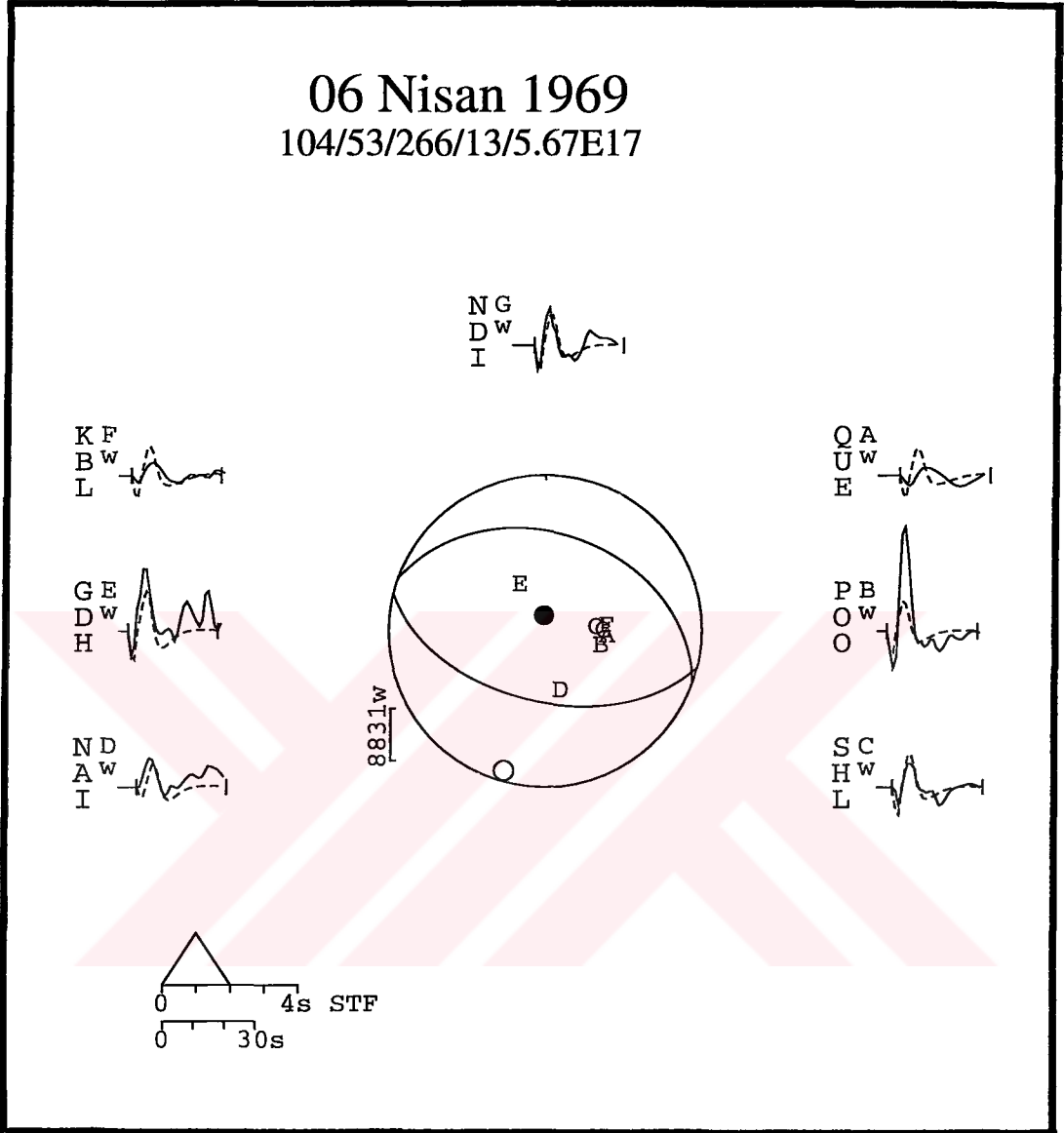
olarak bulunur. Görülmektedir ki izotropik bileşen %70 ile baskın bir katkı sağlamaktadır. İkili kuvvet-çifti (DC) katkısına bakıldığında, kaynağı ikincil olarak etkilediği görülür. Fakat, sıkıştırılmış lineer vektör dipol (CLVD) bileşeninin oranının da gözönüne alınmasıyla, depremin, gerilme kökenli bir kaynak tarafından tanımlandığı söylenebilir (Şekil 5.36).

Şekil 5.34, kestirilen moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 büyük kuvvet-çifti ve 1 küçük kuvvet-çiftine göre ayrıştırılmış halini gösterir. Buradaki büyük kuvvet-çifti (EMT2); genel çözümü, dolayısıyla ilk hareket yönü çözümünü ve dalga-şekli ters çözümünü desteklemektedir (Şekil 5.33, Şekil 5.1, Şekil 5.31). Küçük kuvvet-çifti ise bir bindirme tanımlamaktadır.

Şekil 5.35 ile verilen en iyi ikili kuvvet-çifti çözümü, genel çözümün (Şekil 5.33) aynı zamanda en iyi ikili kuvvet-çifti çözümü olduğunu söylemektedir.

Şekil 5.36'da moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 ikili kuvvet-çifti ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole ayrışımı görülür. Buradaki ikili kuvvet-çifti bileşeni; hem genel çözüm, hem büyük kuvvet-çifti, hem de en iyi ikili kuvvet-çifti çözümü ile aynıdır (Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35). Şekil 5.37'de görülen, yani tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 ikili kuvvet-çiftine ayrıştırılmasıyla ortaya çıkan baskın elementer tansör (EMT4) de sözkonusu bileşenleri aynen desteklemektedir.

Şekil 5.36'daki CLVD bileşenini oluşturan DC sistemlerinden biri doğrultu atımlı bir fayı, diğeri ise bir normal faylanmayı simgeler. Bu da Şekil 5.38 ile verilen, moment tansörün 1 izotropik bileşen ve 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipol bileşene ayrışımındaki baskın terim EMT4 ile desteklenmektedir. Şekil 5.39, moment tansörün 1 izotropik bileşen ve 3 vektör dipole ayrışımının gösterimidir. (5-32) eşitliğindeki

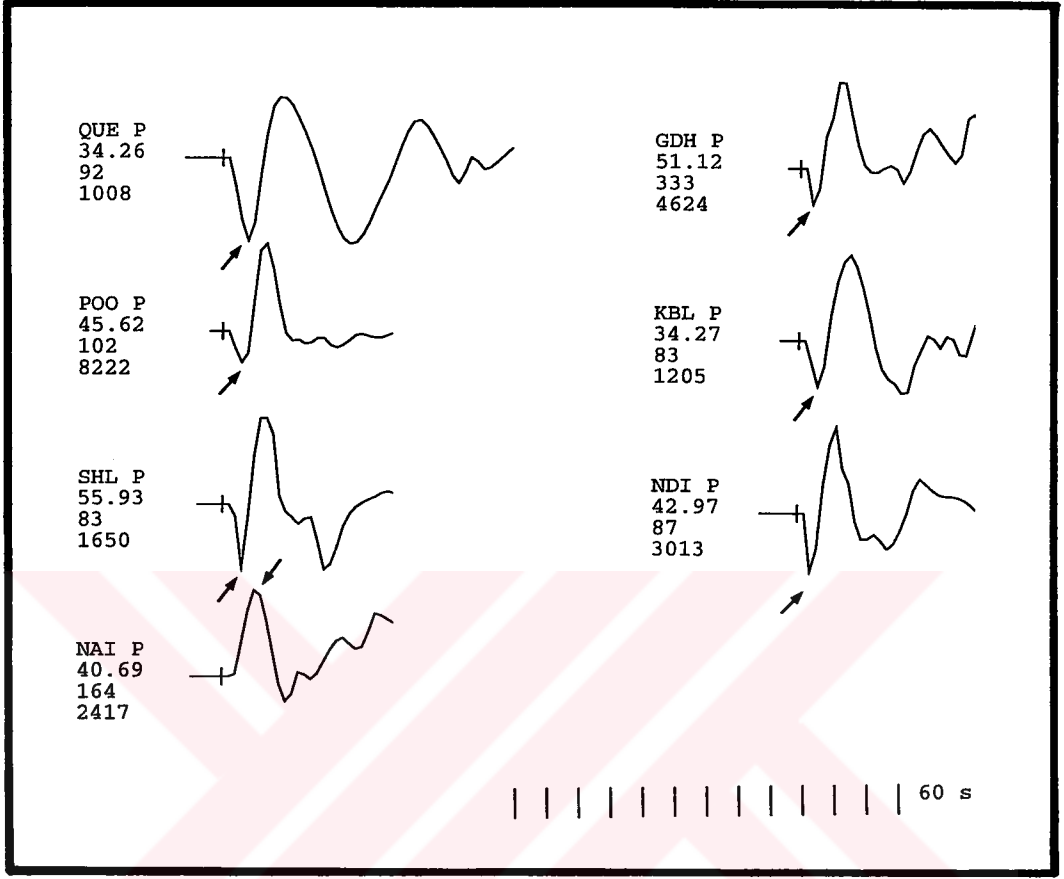


**Şekil 5.31** 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümünü elde edilen fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.2'deki gibidir.

**Tablo 5.6** 06 Nisan 1969 Karaburun Depremi için moment tansöre ait özdeğer ve özvektörler

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER  |             |              |
|------------|--------------|-------------|--------------|
| 5.202      | (0.1190,     | 0.9929,     | -0.4818E-04) |
| 1.670      | (0.9929,     | -0.1190,    | -0.4089E-04) |
| 0.1669E-03 | (0.4633E-04, | 0.4298E-04, | 1.000)       |





**Şekil 5.32** 06 Nisan 1969 Karaburun depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. Semboller ve işaretlemeler şekil 5.3'deki gibidir.

elementer momentler, (5-26)'daki deviyatrik özdeğerlere eşdeğerdir. (5-32)'deki EMT2, (0.9929, -0.1190, -0.4089E-04) özvektörüyle, EMT3, (0.4633E-04, 0.4298E-04, 1.000) özvektörüyle; EMT4, (0.1190, 0.9929, -0.4818E-04) özvektörüyle karakterize edilmektedir. Dolayısıyla bu eşitlikteki elementer moment tansörler, (5-25) ile verilen moment tansörün asal eksenlerini tanımlamaktadır.

O halde; 06 Nisan 1969 Karaburun depremi, doğrusal moment tansör ters çözümüne göre daha çok gerilme kökenli bir kaynak tarafından tanımlanmaktadır. İkili kuvvet-çifti bileşeni ise ikincil bir katkı sağlamaktadır.

**MOMENT TANSÖR :**

$M_{xx}=1.720$

$M_{yy}= 5.152$

$M_{zz}= 0.1669E-03$

$M_{xy}=0.4172$

$M_{xz}=-0.9762E-04$

$M_{yz}=-0.2407E-03$

**GENEL FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMÜ :**

Asal Eksenler;

1. (T) Özdeğer=5.202

Dalım= 0°

Azimut=263°

2. (B) Özdeğer=1.670

Dalım=0°

Azimut=173°

3 (P) Özdeğer=0.1669E-03

Dalım=90°

Azimut=43°

En iyi çift kuvvet-çifti;  $M_0=3.436$  dyne-cm.

NP1 :Doğrultu=173°

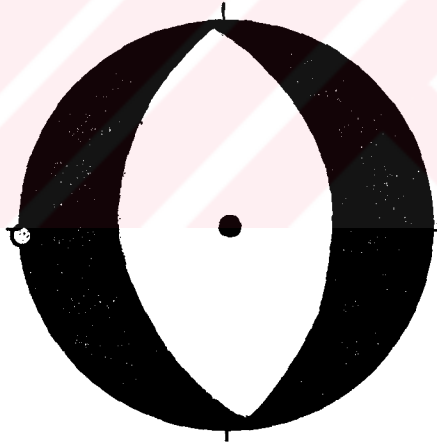
Eğim=45°

Kayma=-90°

NP2: Doğrultu=353°

Eğim=45°

Kayma=-90°



**Şekil 5.33** 06 Nisan 1969 Karaburun depremi için moment depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.4'deki gibidir.

### 5.7. 28 MART 1970 GEDİZ DEPREMİ

Batı Anadolu'da episantırı Gediz'in 15 km kuzeyinde bulunan bu deprem, çok sayıda yapının yıkılmasına ve insanın ölümüne neden olmuştur. Deprem sırasında, yaklaşık 45 km uzunluğunda bir fay oluşmuştur. Gediz depremi, bir yıldan fazla süren

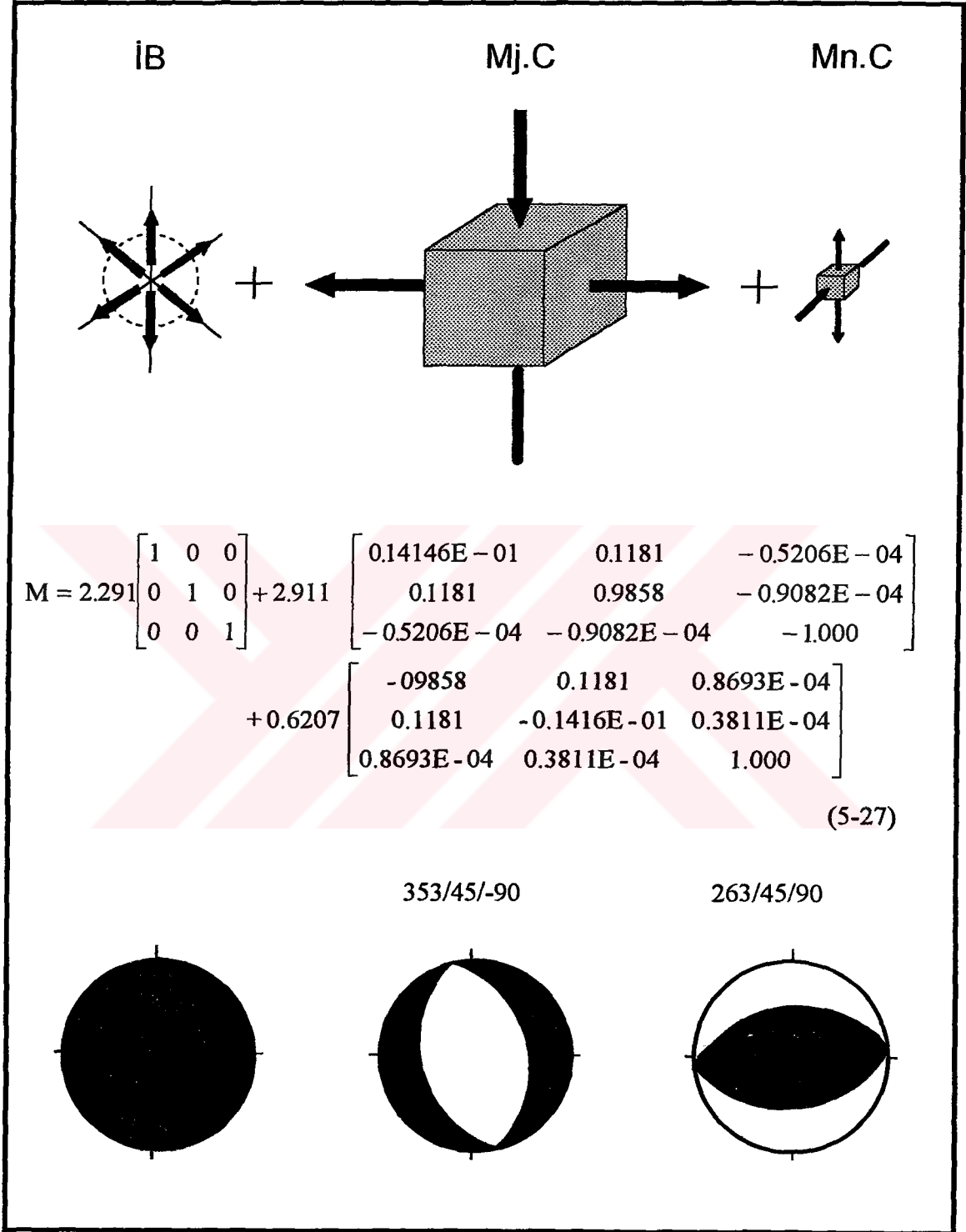
art sarsıntılara sahiptir ve bunların bir bölümünün magnitudü de 5.0'dan büyüktür. Fay üzerindeki maksimum yerdeğiştirme, depremden kısa bir süre sonra gerek art sarsıntıların gerekse fay kripinin etkisiyle 225cm ölçülmüştür.

Erinç ve diğ. (1970), bölgenin tektoniğiyle ilgili olarak, batı kesimde Simav depresyonunun kademeli faylarla çöktüğünü, depresyonun kuzey kesiminde Hamzabey boğazı yörelerinde KKD-GGB doğrultulu faylar bulunduğunu belirtmişlerdir. Demirci-Simav dağları üzerinden KD-GB doğrultulu faylar geçmektedir. Emet depresyonunun iki yanı da faylıdır. Depremden etkilenen bütün alanda, akarsu şebekesi, genç faylanmaların işaretini taşımaktadır. Bu tür faylar, KB-GD yada KD-GB doğrultusunda olup depremde oluşmuş gerilme kırıklarının doğrultuları ile uyum içindedir.

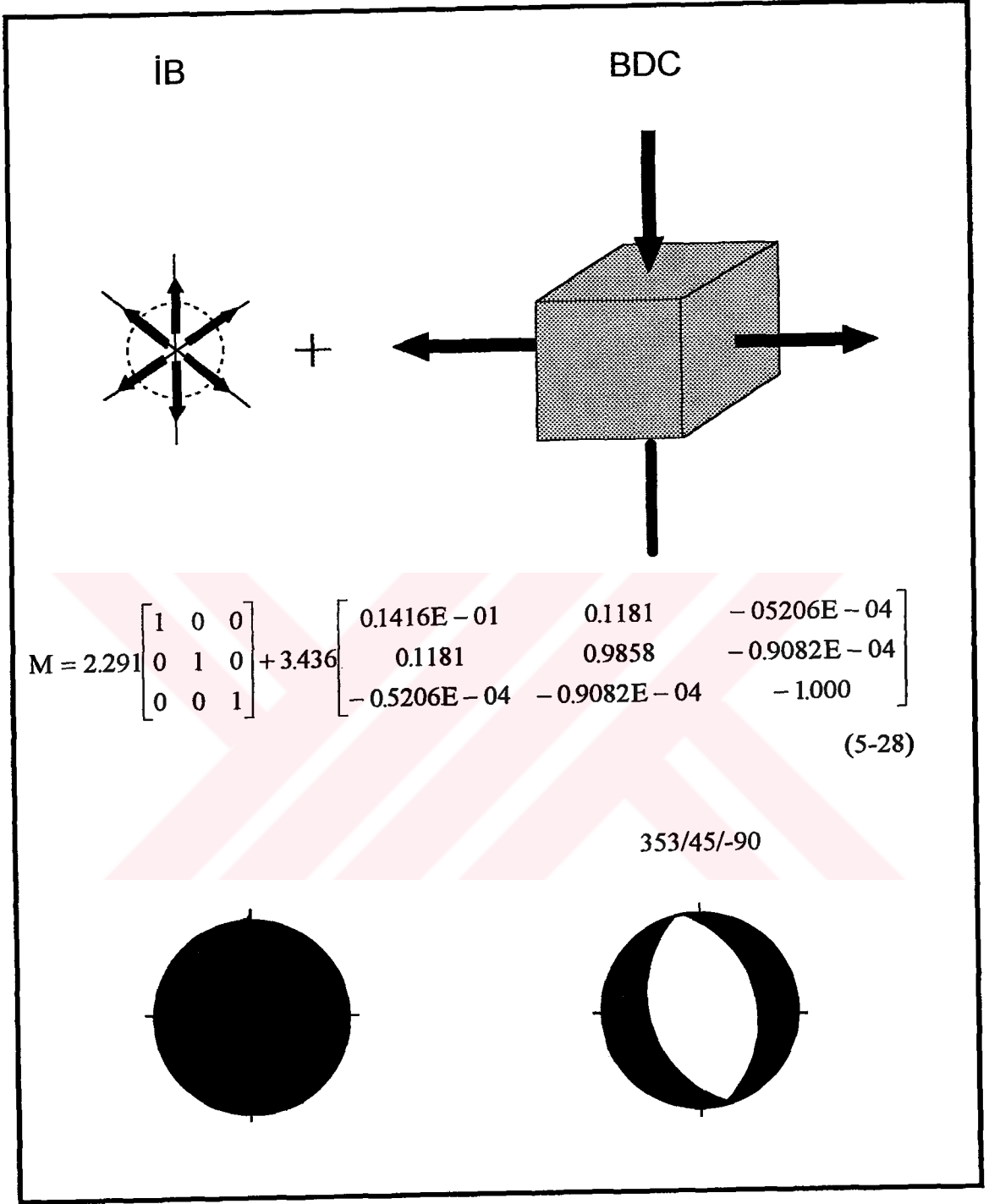
Yarar ve diğ. (1970), büyük hasarın olduğu bölgelerde, özellikle Kütahya-Gediz-Abide ve Gediz-Emet güzergâhının iki yanında oldukça yumuşak kumlu ve siltli kil, marn, tuf, konglomera, kumtaşı ve travertenler olduğunu belirtmiştir. Gediz çayının iki yanı ve Örencik ovası ise geniş alüvyon alanlardır.

Ayrıca deprem; kaya yuvarlanmaları, kaya çığları, toprak akmaları, göçmeler ve heyelanlara da neden olmuştur (Eyidoğan ve diğ., 1991). Depremin, P dalgası ilk hareket yönü fay düzlemi çözümü, Şekil 5.1'de verilmektedir. Bunun yanı sıra, Eyidoğan ve Jackson (1985) tarafından yapılan uzak-alan dalga-şekli modellemesine göre, depremin bir fay düzlemi çözümü daha Şekil 5.12'de görülür. Bu çözümler, sahada gözlenen fayın karakteriyle de uyumludur. Hatta, aynı araştırmacılar sözkonusu çalışmalarında, bu depremin, kuzeye dalımlı listrik bir normal fay üzerinde olduğunu bulmuşlardır.

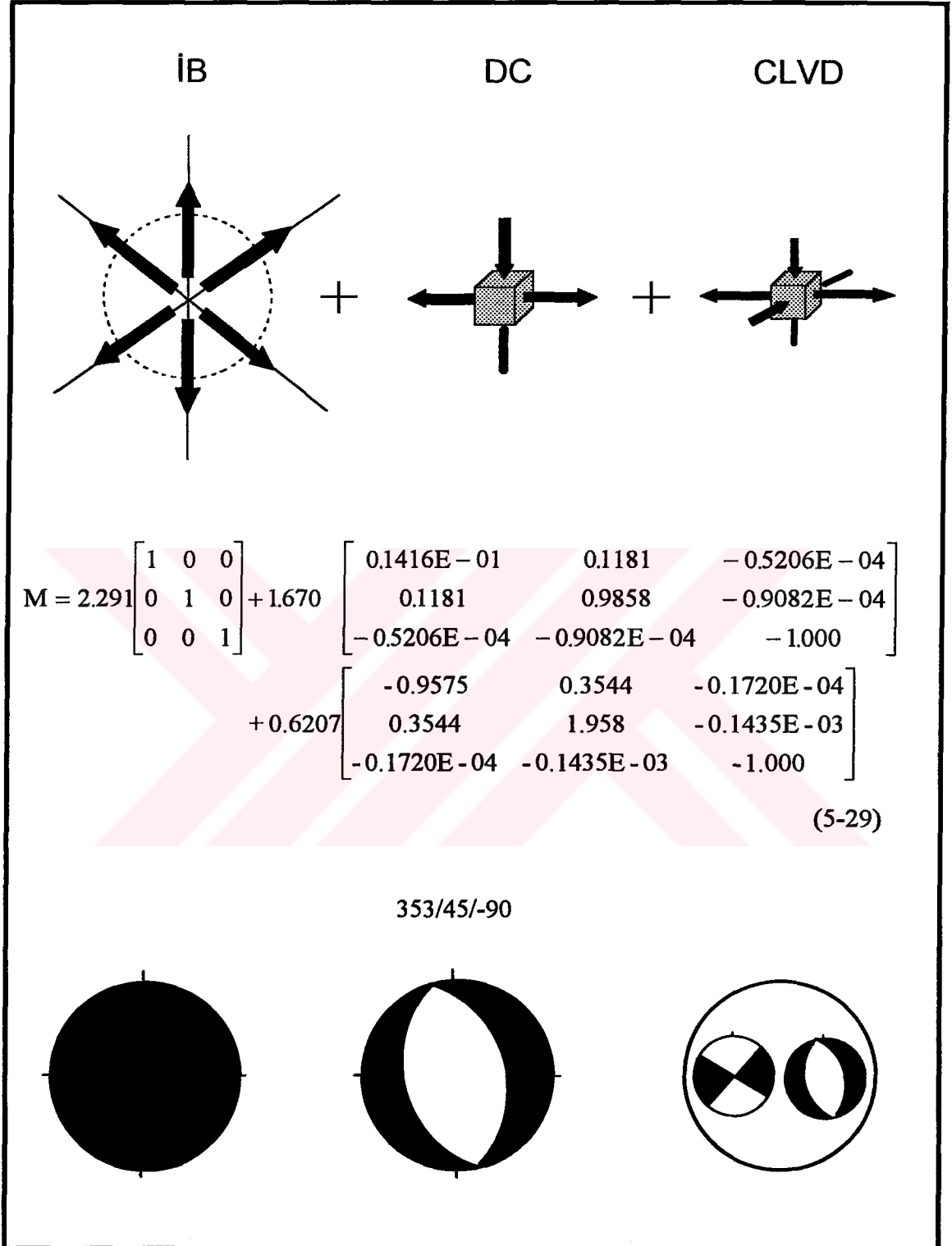
28 Mart 1970 Gediz depremi için SYN4 ile yapılan dalga-şekli ters çözüm sonuçları Şekil 5.40 ile verilmektedir. Bunun için 15 telesismik istasyonda kaydedilmiş P dalga-şekilleri kullanılmıştır. Elde edilen fay düzlemi çözümü, 70°GB yada 40°KD'ya eğimli düğüm düzlemlerine sahiptir. Bu odak mekanizması çözümü, depremin, içinde biraz doğrultu akım bileşeni de bulunan bir normal faylanma ile ilgili olduğunu ve faylanmanın da KB-GD doğrultusunda konumlandığını gösterir. Bu çözüm, Şekil 5.1 ve Şekil 5.12'deki çözümlerle uyumludur. Şekil 5.40'daki gözlemsel dalga-şekilleri ile sentetikleri arasında iyiye yakın bir uyum vardır. Ayrıca, bu



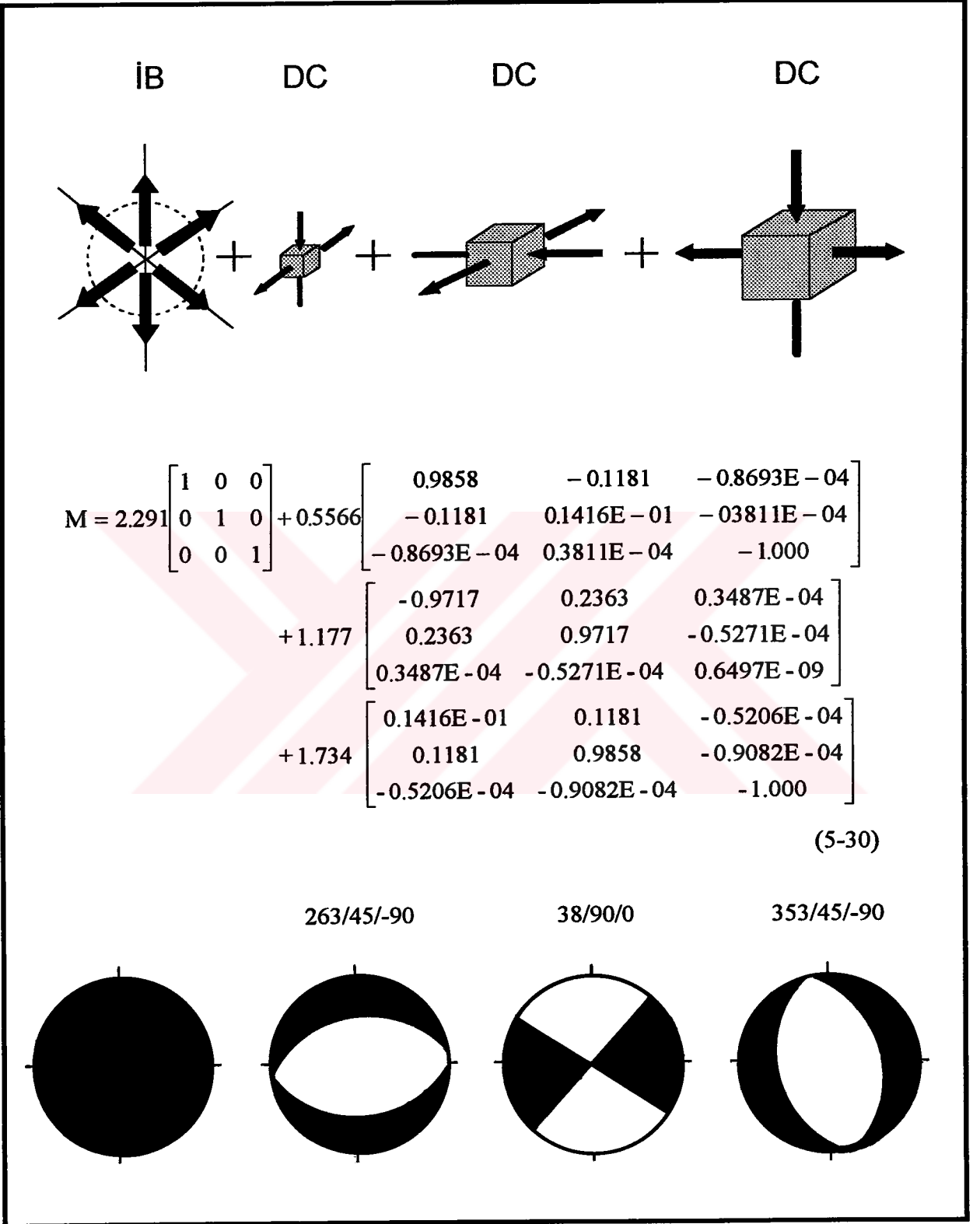
**Şekil 5.34** 06 Nisan 1969 Karaburun depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 büyük kuvvet çifti (Mj.C) ve 1 küçük kuvvet çiftine (Mn.C) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



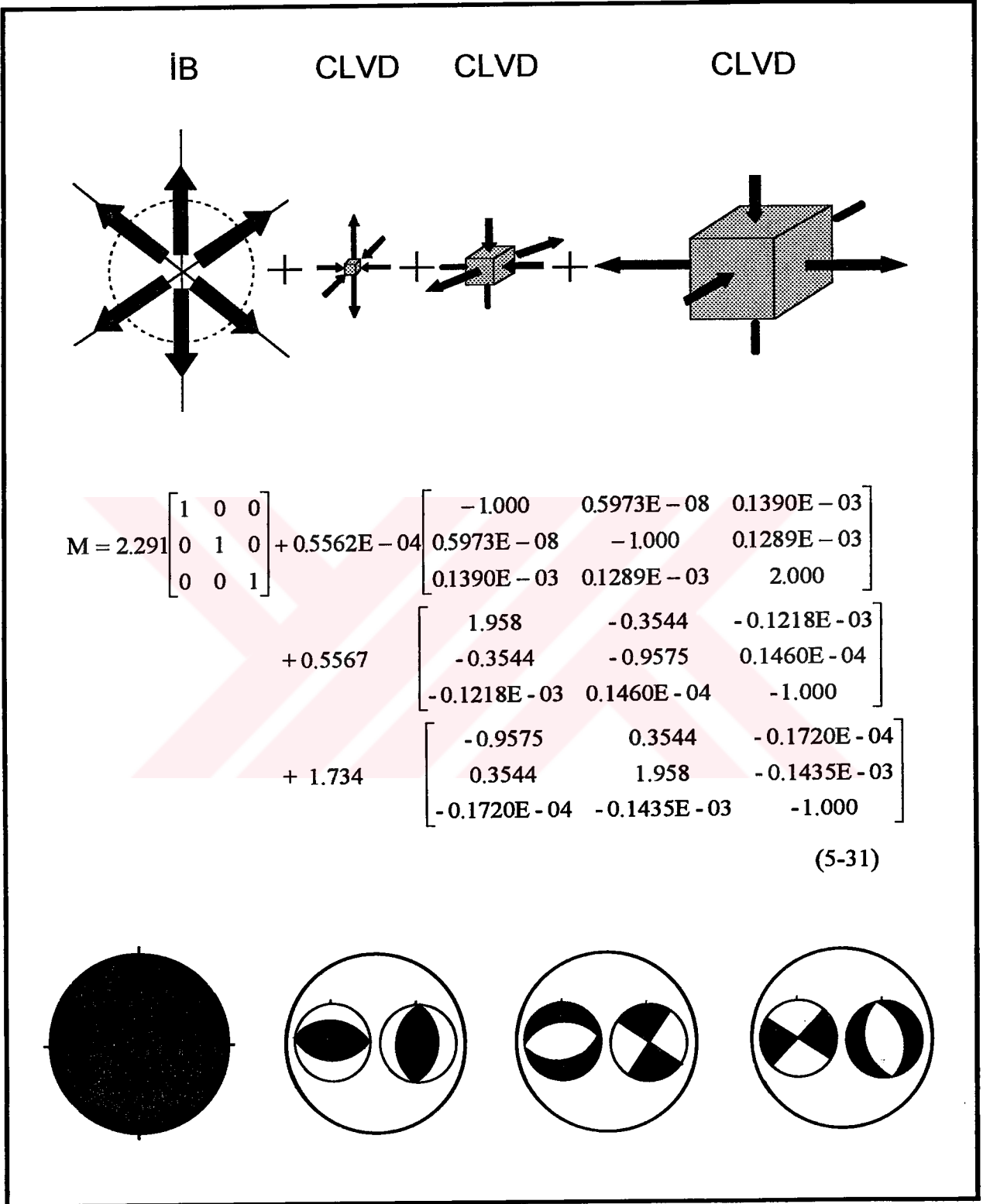
**Şekil 5.35** 06 Nisan 1969 Karaburun depremine ait moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti (best double-couple:BDC) çözümünü karakterize eden eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.36** 06 Nisan 1969 Karaburun depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 ikili kuvvet-çifti (DC) ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.37** 06 Nisan 1969 Karaburun depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 ikili kuvvet çiftine (DC) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.38** 06 Nisan 1969 Karaburun depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



İB      VD      VD      VD

$$\begin{aligned}
 M = 2.291 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0.6207 \begin{bmatrix} -0.9858 & 0.1181 & 0.4060E-04 \\ 0.1181 & -0.1416E-01 & -0.4865E-05 \\ 0.4060E-04 & -0.4865E-05 & -0.1672E-08 \end{bmatrix} \\
 & + 2.291 \begin{bmatrix} -0.2147E-08 & -0.1991E-08 & -0.4633E-04 \\ -0.1991E-08 & -0.1847E-08 & -0.4298E-04 \\ -0.4633E-04 & -0.4298E-04 & -1.000 \end{bmatrix} \\
 & + 2.911 \begin{bmatrix} 0.1416E-01 & 0.1181 & -0.5733E-05 \\ 0.1181 & 0.9858 & -0.4784E-04 \\ -0.5733E-05 & -0.4784E-04 & 0.2322E-08 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(5-32)

**Şekil 5.39** 06 Nisan 1969 Karaburun depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 vektör dipole (VD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri ve elementer moment tansörler. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

gözlemsel sismogramlarda, Alaşehir (28.03.1969) depremindeki gibi, dalga yayını yada hız yapısından ziyade kaynak faktöründen kaynaklanan karmaşıklık sözkonusudur.

O halde, 28 Mart 1970 Gediz depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle kestirilen kaynak parametreleri şöyledir: Doğrultu= $99^\circ \pm 9$ , Eğim= $70^\circ \pm 7$ , Kayma= $235^\circ \pm 15$ , Derinlik= $4 \pm 3$ km,  $M_0 = 1.41 \times 10^{27}$  dyne-cm.

28 Mart 1970 Gediz depreminin doğrusal moment tansör ters çözümünden,

$$M = \begin{bmatrix} 1.629 & 1.510 & -0.1790E-04 \\ 1.510 & 2.050 & -0.1189E-03 \\ -0.1790E-04 & -0.1189E-03 & 0.8722E-04 \end{bmatrix} \quad (5-33)$$

moment tansörü (ölçek= $10^{29}$ ) kestirildi. Şekil 5.41 gözlemsel dalga şekilleri ile kullanılan ilk hareket genliklerini gösterir. Ayırıştırma işlemleriyle elde edilen (5-35,....,40) ifadeleri, (5-33)'deki moment tansöre eşdeğerdir. Ters çözüm sırasındaki ayırmalılığın ölçüsünde ve ilk hareket genliklerine göre kaynağı tam olarak tanımlar. Şekil 5.42, moment tansör bileşenlerini ve genel fay düzlemi çözümünü gösterir. Buradaki çözüm, Şekil 5.1 ve Şekil 5.40'daki çözümlerle uyum içindedir. Moment tansörün özdeğerleri ve özvektörleri, Tablo 5.7 ile verilmektedir.

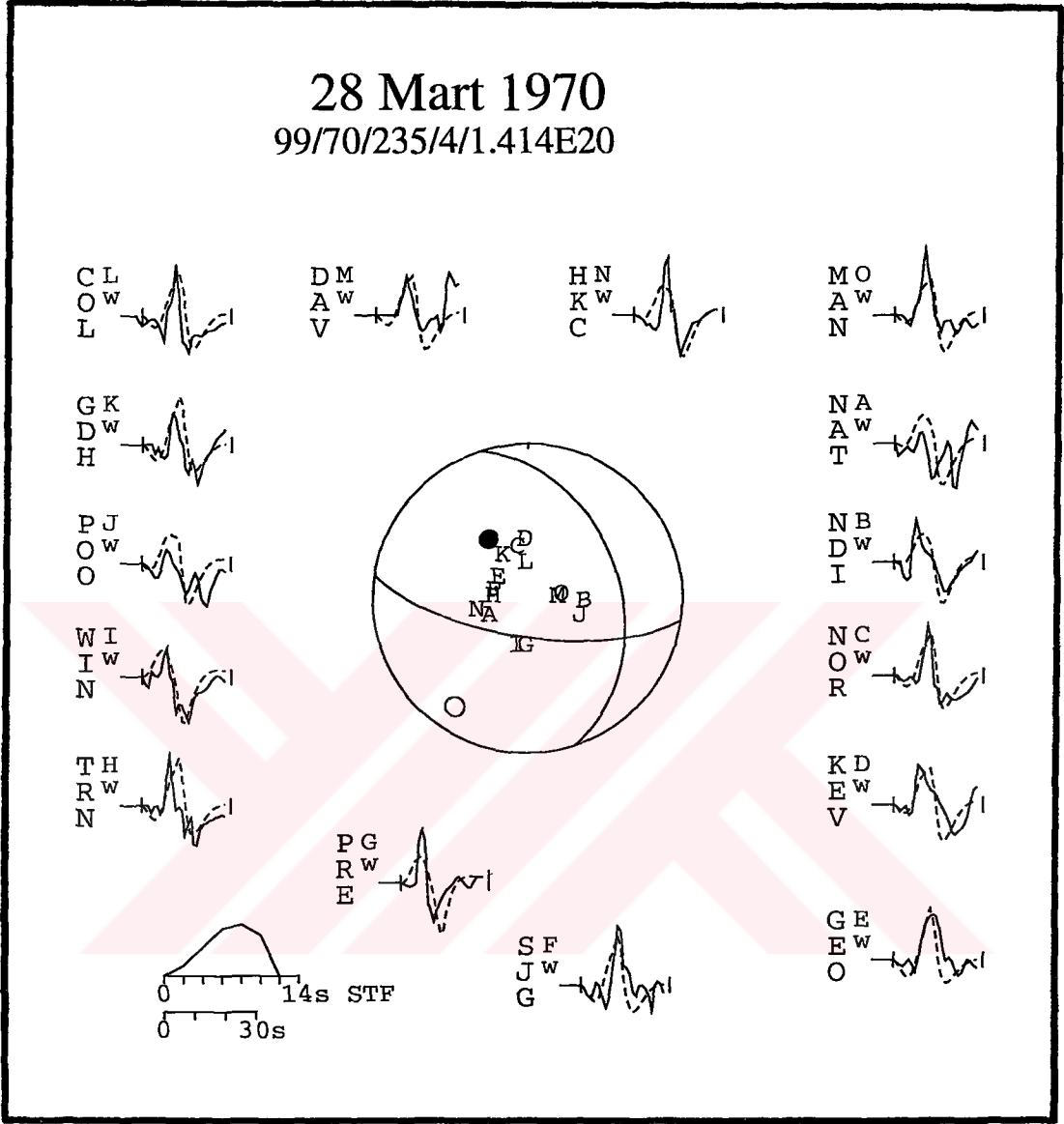
Buna göre moment tansörün genel ayrışımı,

$$M = \begin{bmatrix} 1.226 & 0 & 0 \\ 0 & 1.226 & 0 \\ 0 & 0 & 1.226 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.9111 & 0 & 0 \\ 0 & -1.226 & 0 \\ 0 & 0 & 2.137 \end{bmatrix} \quad (5-34)$$

olur. İlk terim izotropik bileşen, ikincisi deviyatrik bileşendir. Buradan eşdeğer kuvvet bileşenlerinin katkı oranları da,

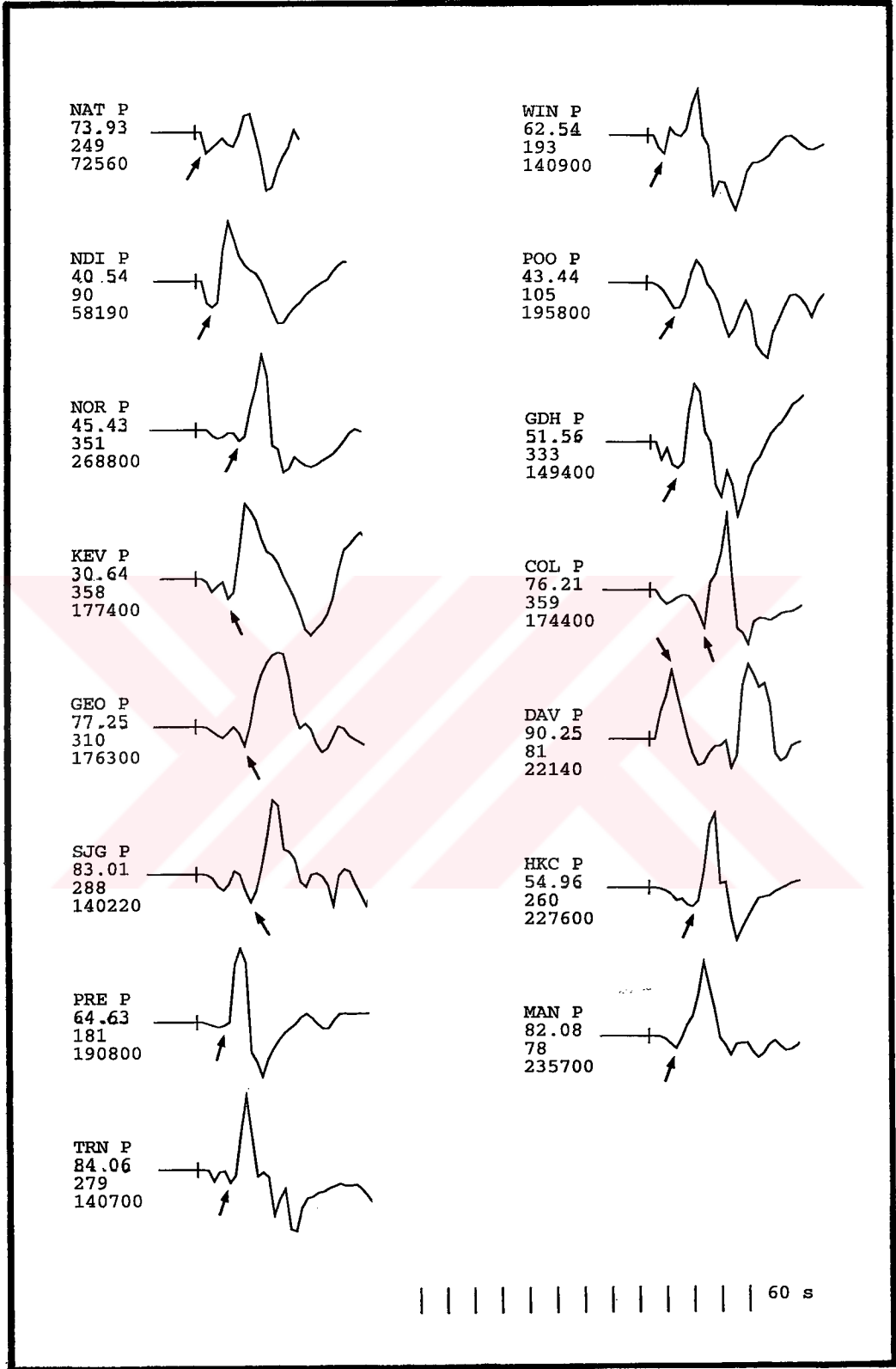
|                          |         |
|--------------------------|---------|
| MONOPOLE oranı           | = %55   |
| DC oranı                 | = %6,6  |
| CLVD oranı               | = %38,4 |
| Deviyatrik bileşen için, |         |
| DC oranı                 | = %15   |
| CLVD oranı               | = %85   |
| Özdeğerler toplamı       | = 3.678 |

olarak bulunur. Görüldüğü gibi deprem, gerilme kökenli bir kaynak tarafından karakterize edilmektedir. CLVD katkısı, DC katkısından fazla olmasına rağmen, baskın bileşen %55 ile izotropik bileşendir (Şekil 5.45).



**Şekil 5.40** 28 Mart 1970 Gediz depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretler, Şekil 5.2'deki gibidir.

Moment tansöre uygulanan ayrıştırma işlemleri, Şekil 5.43,...,48 ile verilir. Şekil 5.43'deki büyük kuvvet-çifti bileşeni (EMT2), Şekil 5.44'deki en iyi ikili kuvvet-çifti çözümü (EMT2), Şekil 5.45'deki ikili kuvvet -çifti bileşeni (EMT2) ve Şekil 5.46'daki baskın terim EMT4 ile tanımlanan ikili kuvvet-çifti bileşeni birbirleriyle aynı elementer fay düzlemi çözümü gösterirler. Şekil 5.43'deki küçük kuvvet-çifti ise bir bindirme mekanizması tanımlar. Şekil 5.45'deki sıkıştırılmış lineer vektör dipol bileşenini oluşturan DC sistemlerinden biri, yukarıdaki ikili kuvvet-çifti bileşenlerine yakın bir



Şekil 5.41 28 Mart 1970 Gediz depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve hareket genlikleri. Semboller ve işaretlemeler şekil 5.3'deki gibidir.

**Tablo 5.7** 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansöre ait özdeğer ve özvektörler

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                      |
|------------|----------------------------------|
| 3.363      | (0.6565, 0.7543, -0.3017E-04)    |
| 0.3150     | (0.7543, -0.6565, 0.2051E-03)    |
| 0.8720E-04 | (-0.1349E-03, 0.1574E-03, 1.000) |

normal fay mekanizması tanımlar ve Şekil 5.47'deki baskın terim olan EMT4 tarafından aynı mekanizma ile desteklenmektedir. Şekil 5.48'deki ayrışım ise (5-33)'deki moment tansöre ait asal eksenlerin, (5-40) eşitliğindeki elementer moment tansörlerle tanımlanabileceğini göstermektedir. Keza, (5-40)'daki EMT2, (0.7543, -0.6565, 0.2151E-03) özvektörüyle; EMT3, (-0.1349E-3, 0.1574E-03, 1.000) özvektörüyle; EMT4, (0.6565, 0.7543, -0.3017E-0.4) özvektörüyle karakterize edilmektedir. (5-40)'daki elementer momentler de (5-34)'deki deviyatrik özdeğerlere eşdeğerdir. O halde; 28 Mart 1970 Gediz depremi, doğrusal moment tansör ters çözümüne göre gerilme kökenli bir kaynak tanımlamaktadır.

### 5.8. 22 MAYIS 1971 BİNGÖL DEPREMİ

Bingöl depremi, WWSSN'in kuruluşundan beri Doğu Anadolu Fayı üzerindeki en hasar yapıcı depremdir (Taymaz, 1990). Kuvvetli algılanan bir kaç öncü şokla başlayan bu deprem, Bingöl ve çevresinde önemli hasarlara neden olmuştur. Depremle meydana gelen asıl yırtılma, Bingöl'ün güneybatı kesimindedir ve en büyük hasar da burada meydana gelmiştir.

Deprem sonrası yapılan gözlemlerde, farklı uzunluklardaki kırık sistemine, kum ve çamur fışkırmalarına rastlanmıştır. Bunlardan olası fay olarak değerlendirilmiş olanı, K45D doğrultusunda uzanan ve ortalama 38 km uzunlukta, doğrultu atımlı ve sol yönlü bir hareketi göstermektedir. Bu kırıklarda ölçülen en büyük yanal yerdeğiştirme 25-30 cm dolayındadır, kayda değer bir düşey yerdeğiştirme ise tespit edilememiştir. O halde, Bingöl depremiyle gözlenen fay, güneyde Murat vadisinden başlayıp kuzeyde Karlıova'nın doğusunda Kuzey Anadolu Fay zonuna bağlanan etkin Doğu Anadolu Fayı'nın varlığını ortaya koymaktadır (Taymaz, 1990; Eyidoğan ve diğ., 1991). P dalgası ilk hareket yönlerinden saptanan fay düzlemi çözümü, Şekil 5.1'de bulunmaktadır.

**MOMENT TANSÖR :**

$M_{xx}=1.629$

$M_{yy}=2.050$

$M_{zz}=0.8722E-04$

$M_{xy}=1.510$

$M_{xz}=-0.179E-04$

$M_{yz}=-0.1189E-03$

**GENEL FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMÜ :**

Asal Eksenler;

1. (T) Özdeğer = 3.363

Dalım=0°

Azimut=229°

2. (B) Özdeğer=0.3150

Dalım=0°

Azimut=319°

3. (P) Özdeğer=0.8720E-04

Dalım=90°

Azimut=131°

En iyi ikili kuvvet-çifti;  $M_0 = 1.839$  dyne-cm

NP1 : Doğrultu=139°

Eğim=45°

Kayma=-90°

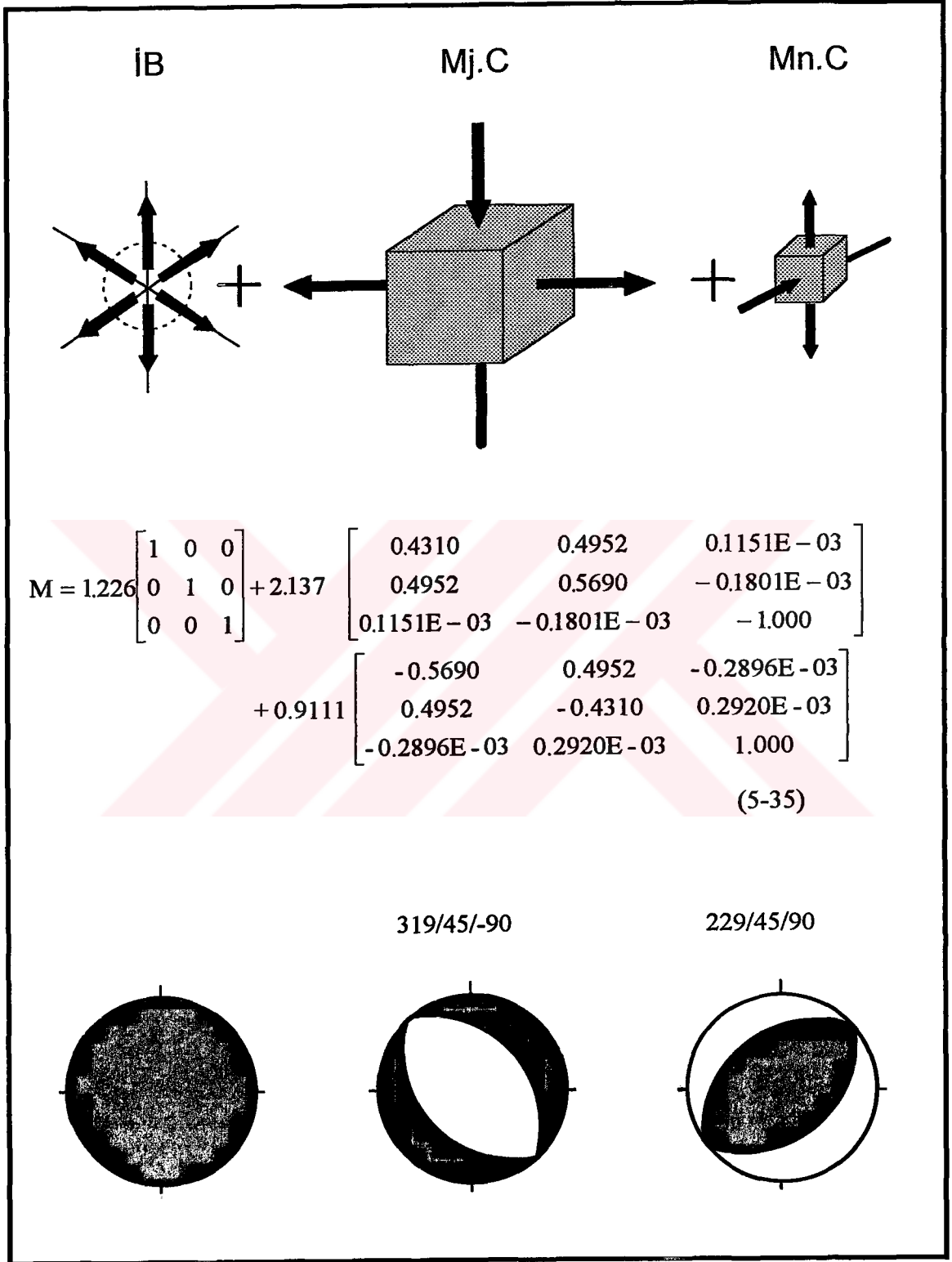
NP2 : Doğrultu=319°

Eğim=45°

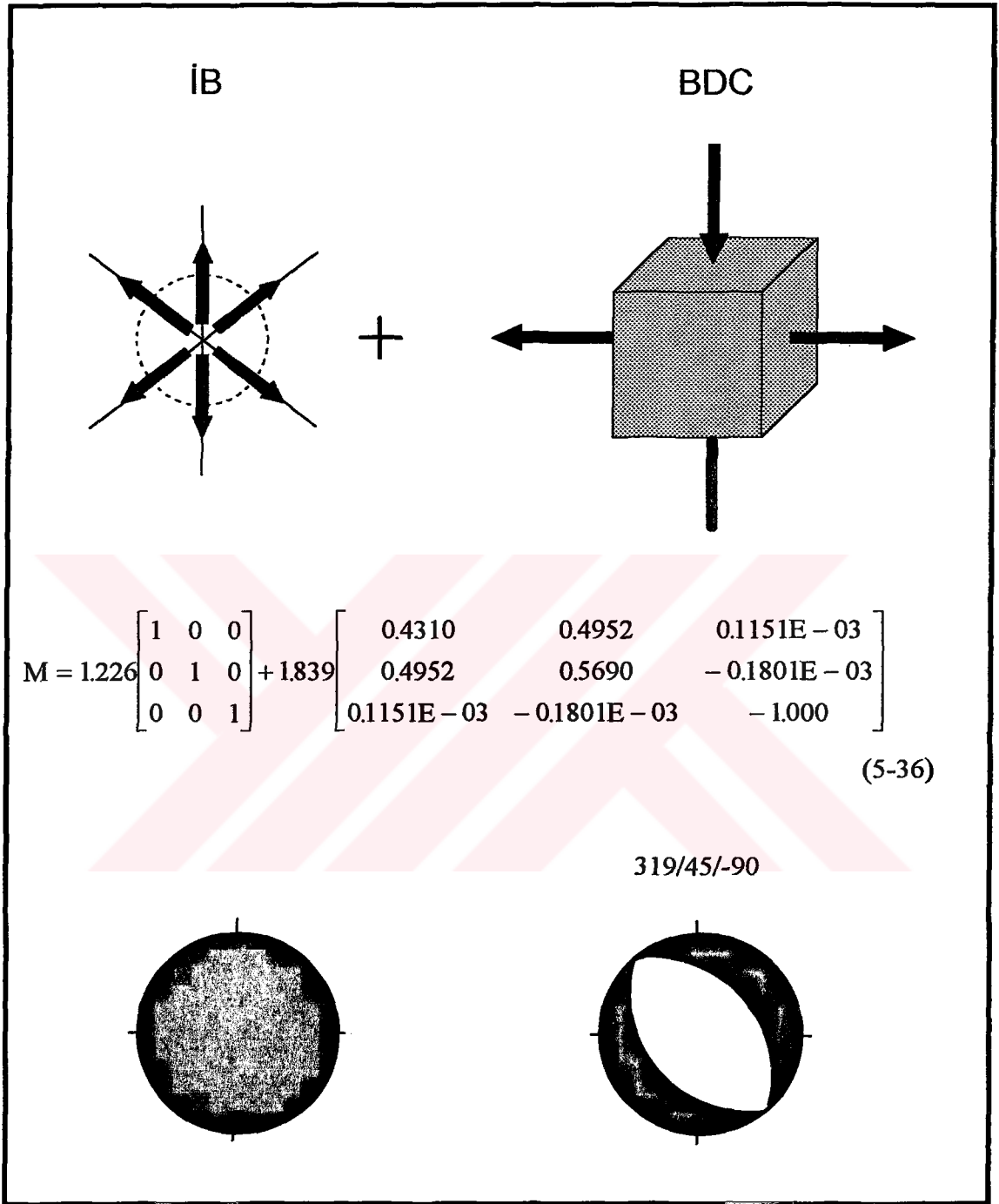
Kayma=-90°



**Şekil 5.42** 28 Mart 1970 Gediz depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.4'deki gibidir.

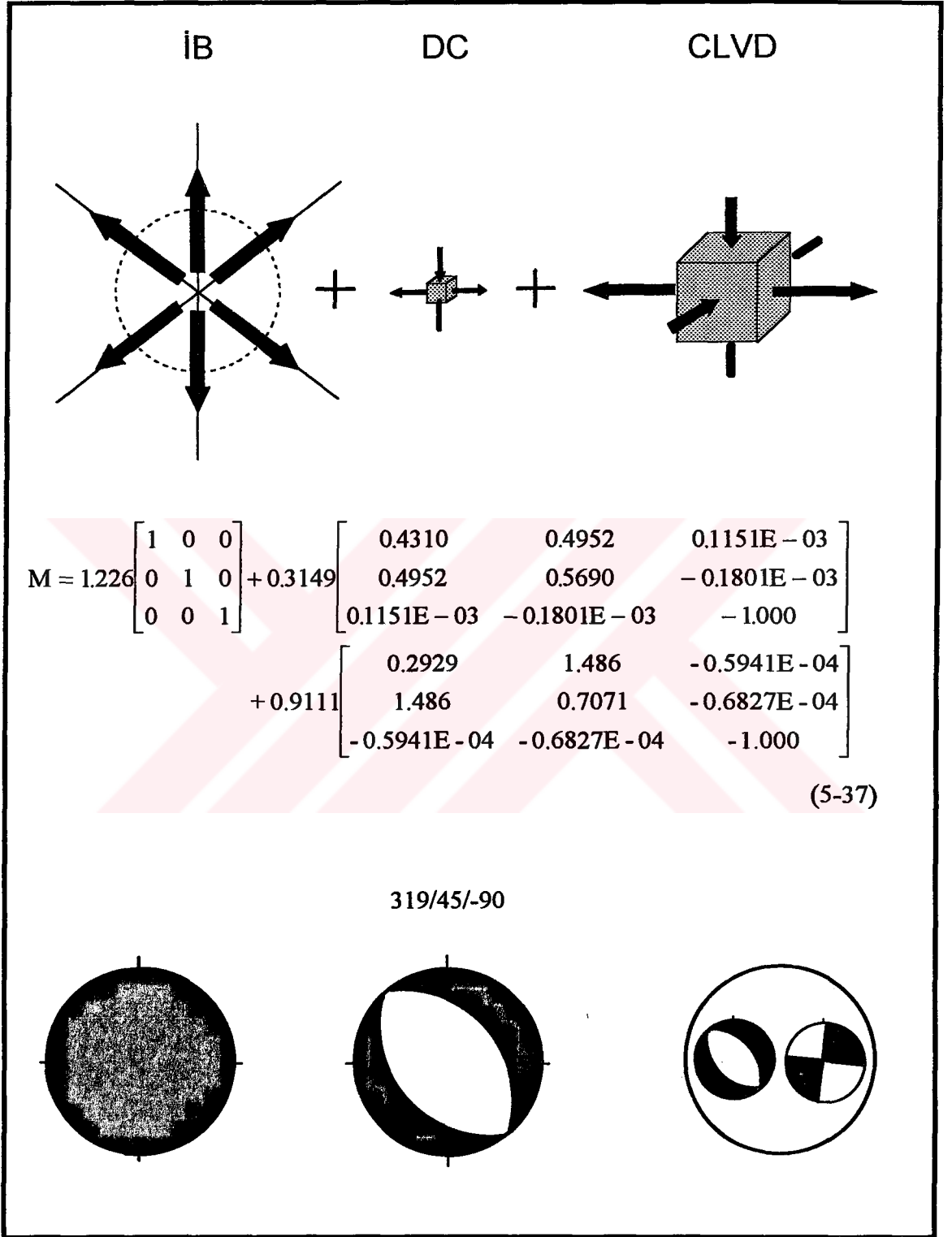


**Şekil 5.43** 28 Mart 1970 Gediz depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen ( $\dot{I}B$ ), 1 Büyük kuvvet çifti ( $Mj.C$ ) ve 1 küçük kuvvet çiftine göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

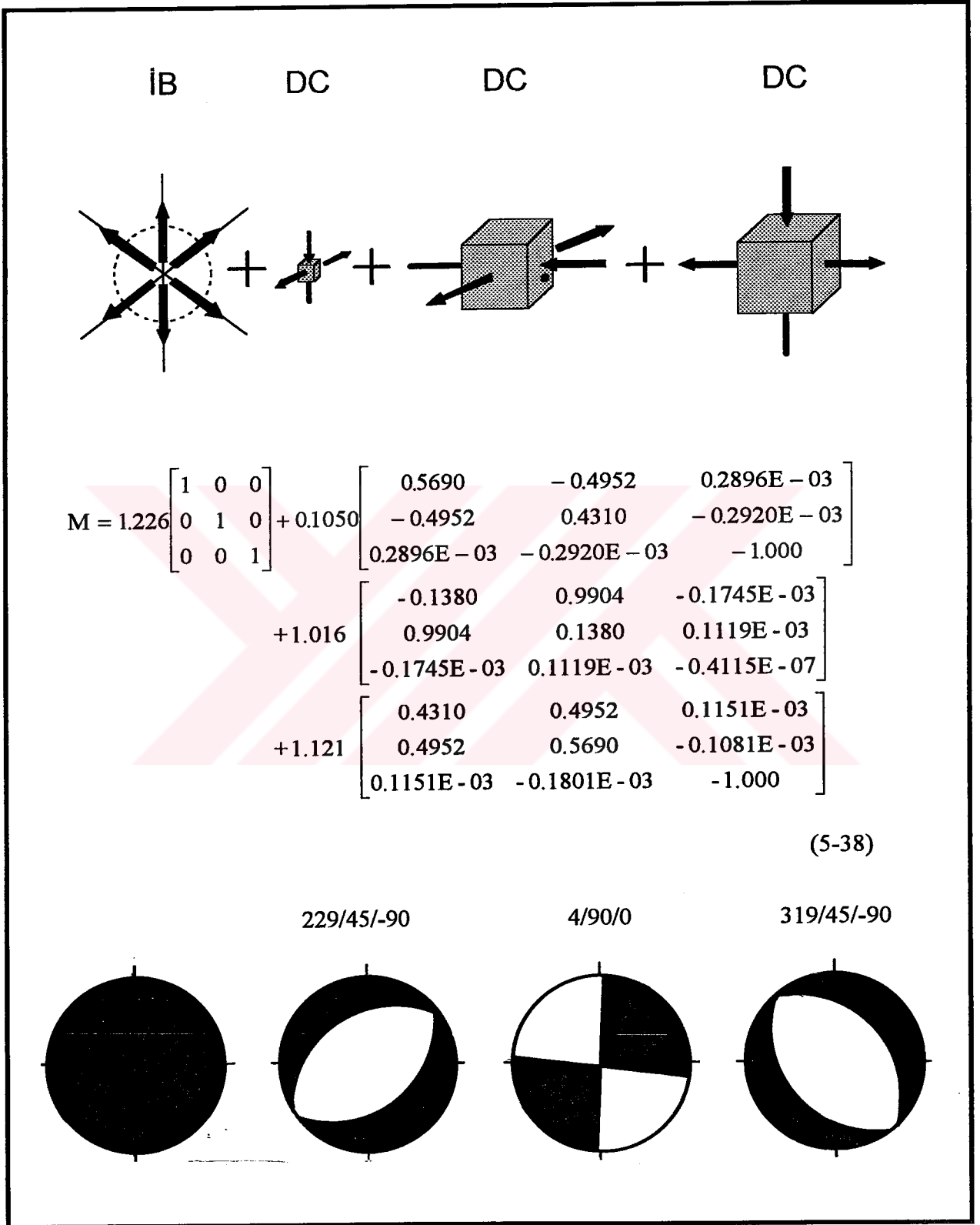


**Şekil 5.44** 28 Mart 1970 Gediz depremine ait moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti (best double-couple: BDC) çözümünü karakterize eden eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

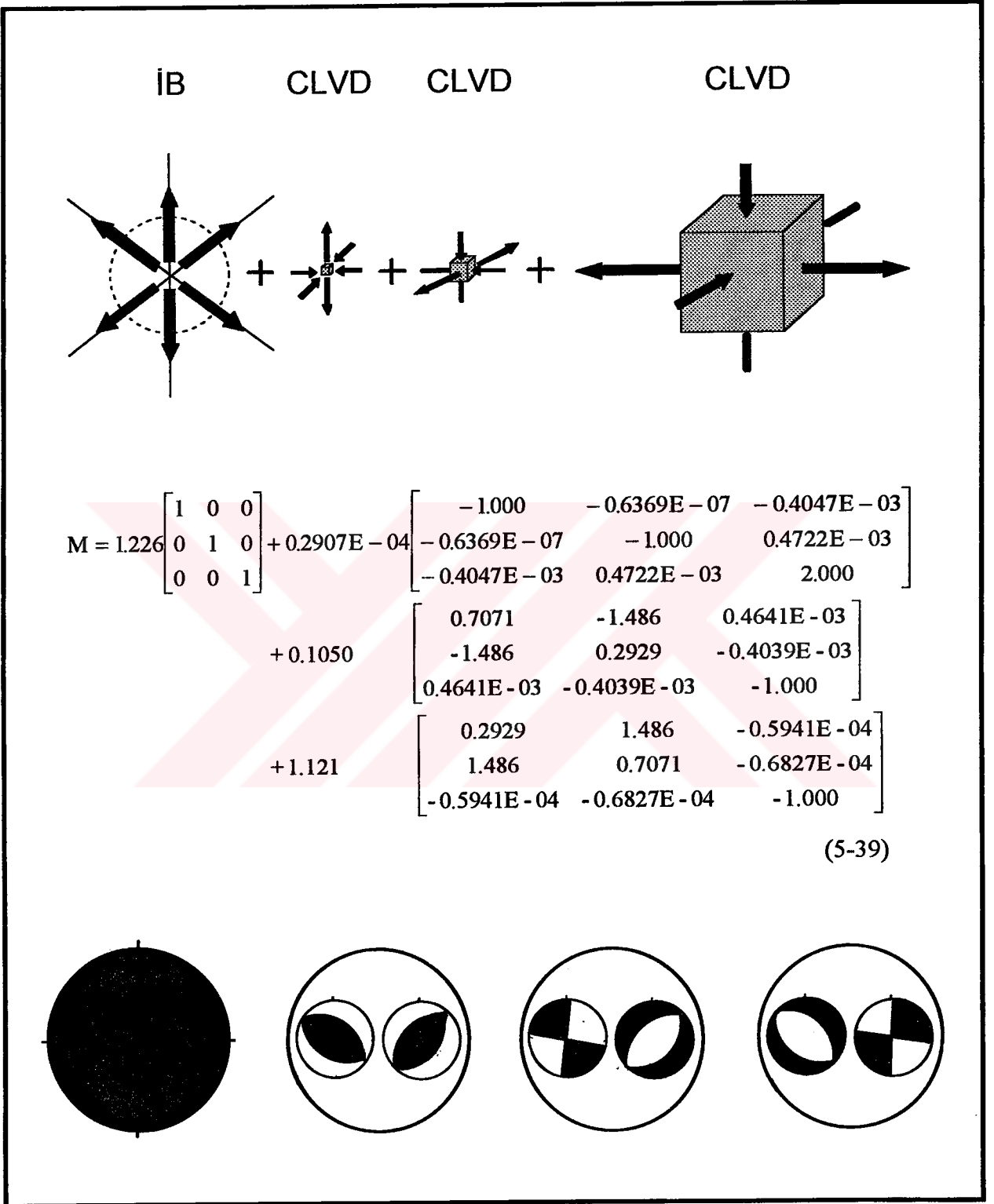




**Şekil 5.45** 28 Mart 1970 Gediz depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 ikili kuvvet-çifti (DC) ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.46** 28 Mart 1970 Gediz depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 ikili kuvvet-çiftine (DC) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemleri çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.47** 28 Mart 1970 Gediz depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 sıkıştırılmış Lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

İB      VD      VD      VD

$$\begin{aligned}
 M = & 1.226 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0.9111 \begin{bmatrix} -0.5690 & 0.4952 & -0.1547E-03 \\ 0.4952 & -0.4310 & 0.1346E-03 \\ -0.1547E-03 & 0.1346E-03 & -0.4206E-07 \end{bmatrix} \\
 & + 1.226 \begin{bmatrix} -0.1820E-07 & 0.2123E-07 & 0.1349E-03 \\ 0.2123E-07 & -0.2477E-07 & -0.1574E-03 \\ 0.1349E-03 & -0.1574E-03 & -1.000 \end{bmatrix} \\
 & + 2.137 \begin{bmatrix} 0.4310 & 0.4952 & -0.1980E-04 \\ 0.4952 & 0.5690 & -0.2276E-04 \\ -0.1980E-04 & -0.2276E-04 & 0.9101E-09 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(5-40)

**Şekil 5.48** 28 Mart 1970 Gediz depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 vektör dipole (VD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri ve elementer moment tansörler. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümünden elde edilen fay düzlemi çözümü, Şekil 5.49'da verilmektedir. Bu çözüm, 16 istasyonla yapılmıştır. Elde edilen fay düzlemi çözümü, 85°KB yada 89°GB' ya eğimli düğüm düzlemlerine sahiptir. Bu çözüm, depremin, tamamen sol yönlü doğrultu atımlı bir faylanmayla ilgili olduğunu göstermektedir. Deprem sonrası gözlemler de dikkate

alınarak, bu fayın KD-GB doğrultulu olduğu söylenebilir. Şekil 5.49'deki fay düzlemi çözümü, Şekil 5.1'deki ile uyumludur. Dalga-şekillerinin karmaşık olduğu Şekil 5.49'den gözlenmektedir. Fakat, gözlemsel dalga-şekilleri ile sentetiği arasındaki uyum da iyidir.

O halde, 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için telesismik dalga-şekilleri ters çözümüyle kestirilen kaynak parametreleri şöyledir; Doğrultu= $225^\circ \pm 4$ , Eğim= $85^\circ \pm 2$ , Kayma= $359^\circ \pm 2$ , Derinlik= $7 \pm 1$ km.,  $M_0 = 3.47 \times 10^{26}$  dyne-cm.

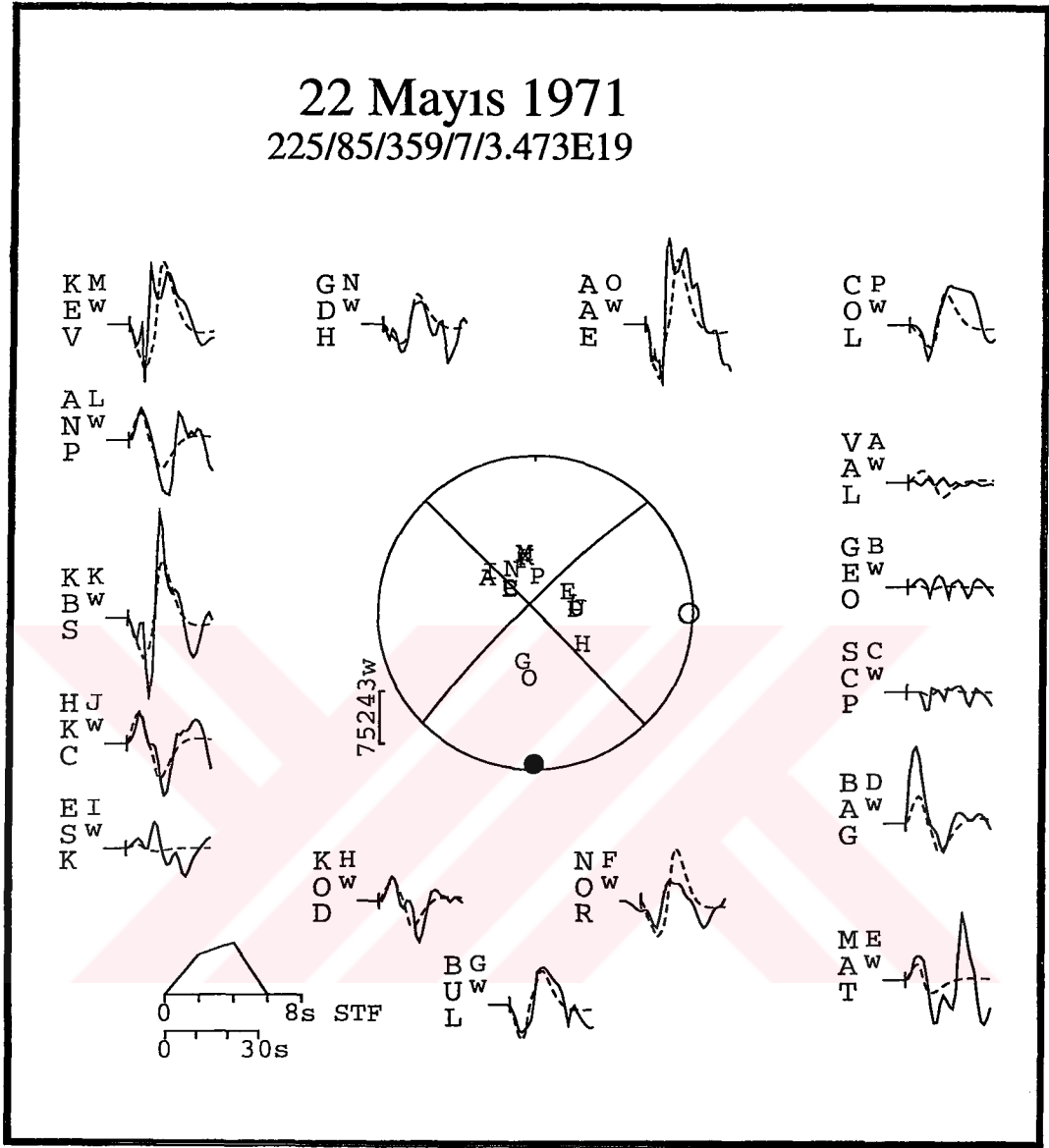
22 Mayıs 1971 Bingöl depreminin doğrusal moment tansör ters çözümünden,

$$M = \begin{bmatrix} -1.752 & 0.3599 & 0.1338E-03 \\ 0.3599 & 1.192 & 0.7174E-04 \\ 0.1338E-03 & 0.7174E-04 & -0.2982E-05 \end{bmatrix} \quad (5-41)$$

moment tansörü (ölçük= $10^{27}$ ) kestirilmiştir. Şekil 5.50, gözlemsel sismogramları ve kullanılan ilk hareket genliklerini gösterir. Bu moment tansör, ayrıştırma işlemleriyle elde edilen (5-43,...,48) ifadelerine eşdeğerdir ve ters çözümdeki ayırmalılığın ölçüsünde ve ilk hareket genliklerine göre kaynağı tam olarak tanımlar. Şekil 5.51, moment tansör bileşenleri ile genel fay düzlemi çözümünü verir. Bu fay düzlemi çözümü, Şekil 5.1 ve Şekil 5.49 ile uyumludur. Yani, 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi, sol yönlü doğrultu atımlı bir fayı tanımlamaktadır. Moment tansörün özdeğerleri ve özvektörleri Tablo 5.8'de bulunmaktadır.

**Tablo 5.8** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansörü ait özdeğerler ve özvektörler

| ÖZDEĞERLER  | ÖZVEKTÖRLER                       |
|-------------|-----------------------------------|
| 1.235       | (0.1196, 0.9928, 0.7061E-04)      |
| -0.2980E-05 | (0.6027E-04, -0.7839E-04, 1.000 ) |
| -1.795      | (0.9928, -0.1196, -0.6921E-04)    |



**Şekil 5.49** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için telesismik dalga-şekli ters çözümüyle elde edilen fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.2'deki gibidir.

Buna göre kestirilen moment tansör,

$$M = \begin{bmatrix} -0.1867 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1867 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1867 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1867 & 0 & 0 \\ 0 & 1.422 & 0 \\ 0 & 0 & -1.609 \end{bmatrix} \quad (5-42)$$

şeklinde bir izotropik bileşen ile bir deviyatrik bileşenin toplamı olarak yazılabilir.

Dolayısıyla, eşdeğer kuvvet bileşenlerinin kaynaktaki katkı oranları da,

MONOPOLE oranı = %15.7

DC oranı = %64.7

CLVD oranı = %19.6

Deviyatrik bileşen için,

DC oranı = %77

CLVD oranı = %23

Özdeğerler Toplamı = -0.5601

olarak bulunur. Buradan, %65 ile ikili kuvvet-çifti (DC) bileşeninin kaynak üzerinde baskın bir rolü olduğu anlaşılmaktadır. Sıkıştırılmış lineer vektör dipol (CLVD) ve izotropik bileşenlerin katkıları da düşünüldüğünde, kaynaktaki baskın makaslama hareketinin yanısıra, ikincil katkının sıkıştırma nitelikli bir bileşen olduğu ortaya çıkar (Şekil 5.54).

Moment tansöre uygulanan ayrıştırma işlemleri, Şekil 5.52,...,57 ile verilir. Şekil 5.52, moment tansörün 1 izotropik bileşen, 1 büyük kuvvet-çifti ve 1 küçük kuvvet-çiftine göre ayrışımını gösterir. Buradaki büyük kuvvet-çifti bileşeninin elementer fay düzlemi çözümü, genel fay düzlemi çözümü (Şekil 5.51) ile aynıdır. Küçük kuvvet-çifti ise bir bindirme tanımlar. Dolayısıyla, 14.06.1964 Malatya depreminin küçük kuvvet-çifti ile bir benzerlik içindedir (Şekil 5.5, Şekil 5.11).

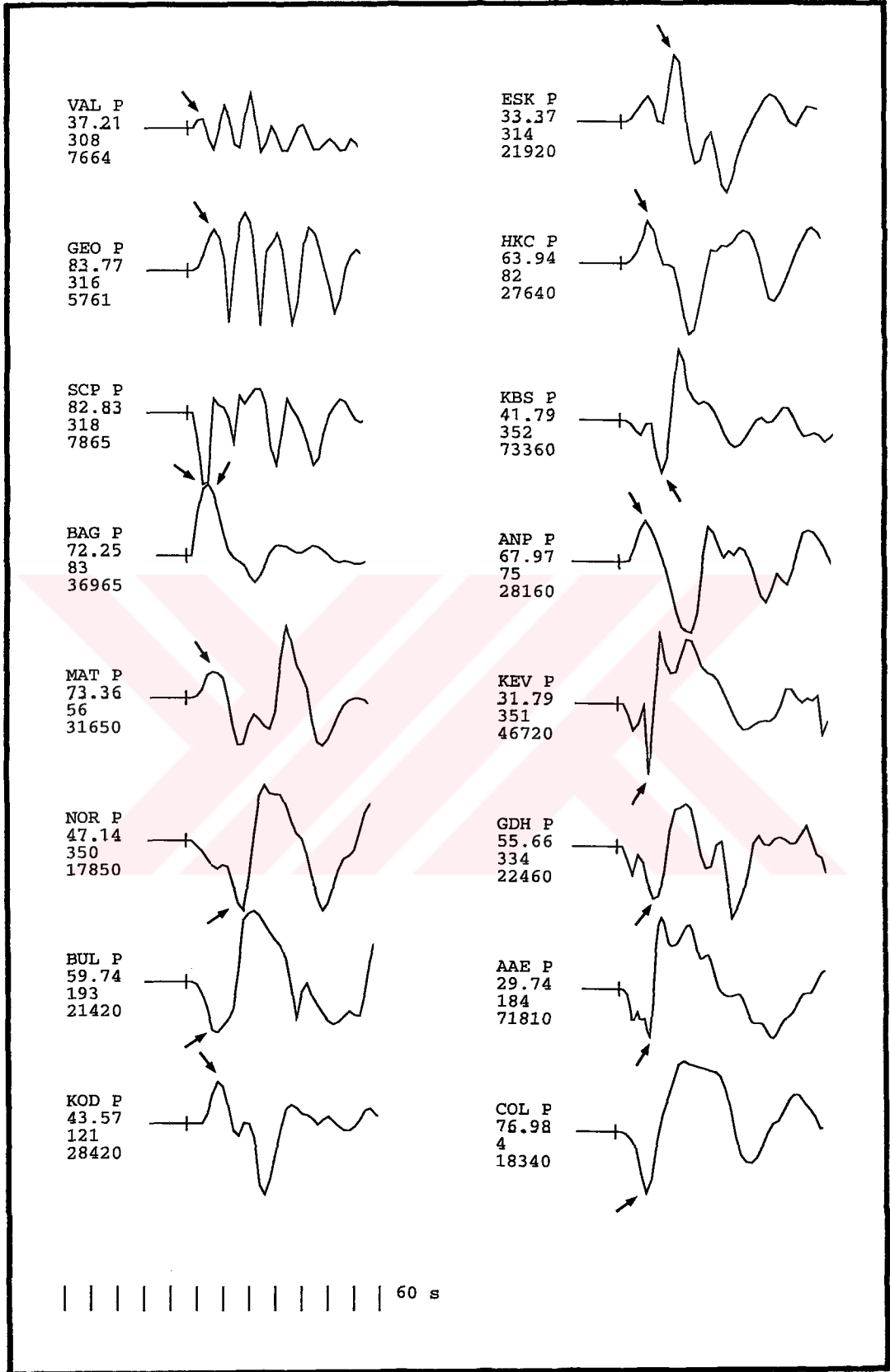
Şekil 5.53, moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti çözümü (EMT2) olup, Şekil 5.51 ve Şekil 5.52 ile aynıdır. Demek ki genel fay düzlemi çözümü, deprem için aynı zamanda hem en iyi ikili kuvvet-çifti çözümüdür, hem de büyük kuvvet-çifti çözümüdür.

Şekil 5.54, moment tansörün bir izotropik bileşen, 1 ikili kuvvet-çifti ve bir sıkıştırılmış lineer vektör dipole ayrışımını gösterir. Burada gerek %65'lik katkı ile DC bileşeni, gerekse %20'lik katkı ile CLVD bileşenini oluşturan DC sistemlerinden biri, aynı fay düzlemi çözümlerini tanımlamaktadır. Bu durum, kaynağın tamamen sol yönlü doğrultu atımlı bir fay tarafından yönlendirildiğini söylemektedir. Bununla birlikte, sıkışma tarzında bir hacim değişikliği yaratan izotropik bileşenin etkisini de unutmamak gerekir. Şekil 5.55'deki baskın terim EMT3'ün elementer fay düzlemi çözümü de bu yorumları desteklemektedir.

Şekil 5.56, moment tansörün 1 izotropik bileşen ile 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipole göre ayrışımını verir. Buradaki baskın terim EMT4'ün, bindirme ile birlikte bir doğrultu atımlı mekanizma tasvir etmesi, sözkonusu depremde çok küçük de olsa bu tür etkilerin de olabileceğini düşündürüyor. Hatta deprem sonrası gözlemlerde, sayıları az da olsa sağ yönlü ikincil kırıklara bile rastlanması (Eyidoğan ve diğ., 1991), bu düşünceye anlam veriyor. Şekil 5.57, moment tansörün 1 izotropik bileşen ve 3 vektör dipole ayrışımını gösterir. Buradaki (5-48) eşikliğinde yer alan elementer momentler, (5-42)'deki deviyatrik özdeğerlere eşdeğerdir. (5-48)'deki EMT2, (0.6027E-04, -0.7839E-04, 1.000) özvektörüyle; EMT3, (0.1196, 0.9928, 0.7061E-04) özvektörüyle; EMT4, (0.9928, -0.1196, -0.6921E-04) özvektörüyle karakterize edilmektedir. Bu da (5-41) ile verilen moment tansörün asal eksenlerinin, (5-48)'deki elementer moment tansörlerle tanımlanabiliyor olması demektir.

O halde; 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi, doğrusal moment tansör ters çözümüne göre, sıkışma türündeki hacim değişiminin yanısıra makaslama mekanizmasının hâkim olduğu dolayısıyla, tektonik kökenli bir kaynağı tanımlar. Bu özelliğiyle de 14 Haziran 1964 Malatya depremine yakın karakterdedir. Bu ortak görünüm, bölgenin özelliğinin bir yansıması olsa gerektir.





Şekil 5.50 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi gözlemsel P dalgası düşey (z) bileşen sismogramları ve ilk hareket genlikleri. Semboller ve işaretlenmeler Şekil 5.3'deki gibidir.

**MOMENT TANSÖR :**

$M_{xx}=-1.752$

$M_{yy}=1.192$

$M_{zz}=-0.2982E-05$

$M_{xy}= 0.3599$

$M_{xz}=0.1338E-03$

$M_{yz}= 0.7174E-04$

**GENEL FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMÜ :**

Asal Eksenler;

1. (T) Özdeğer=1.235

Dalım=  $0^\circ$

Azimut= $83^\circ$

2. (B) Özdeğer=-0.2980E-05

Dalım= $90^\circ$

Azimut= $308^\circ$

3. (P) Özdeğer=-1.795

Dalım= $0^\circ$

Azimut= $173^\circ$

En iyi ikili kuvvet-çifti;  $M_0=1.515$ 

NP1: Doğrultu= $128^\circ$

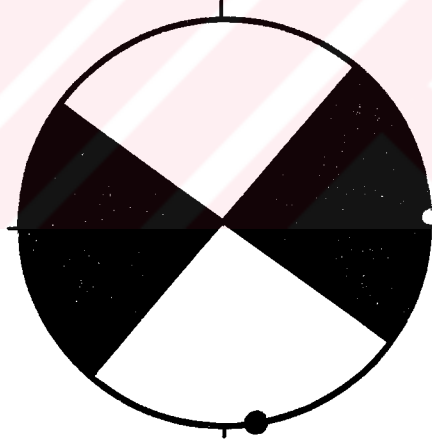
Eğim= $90^\circ$

Kayma= $180^\circ$

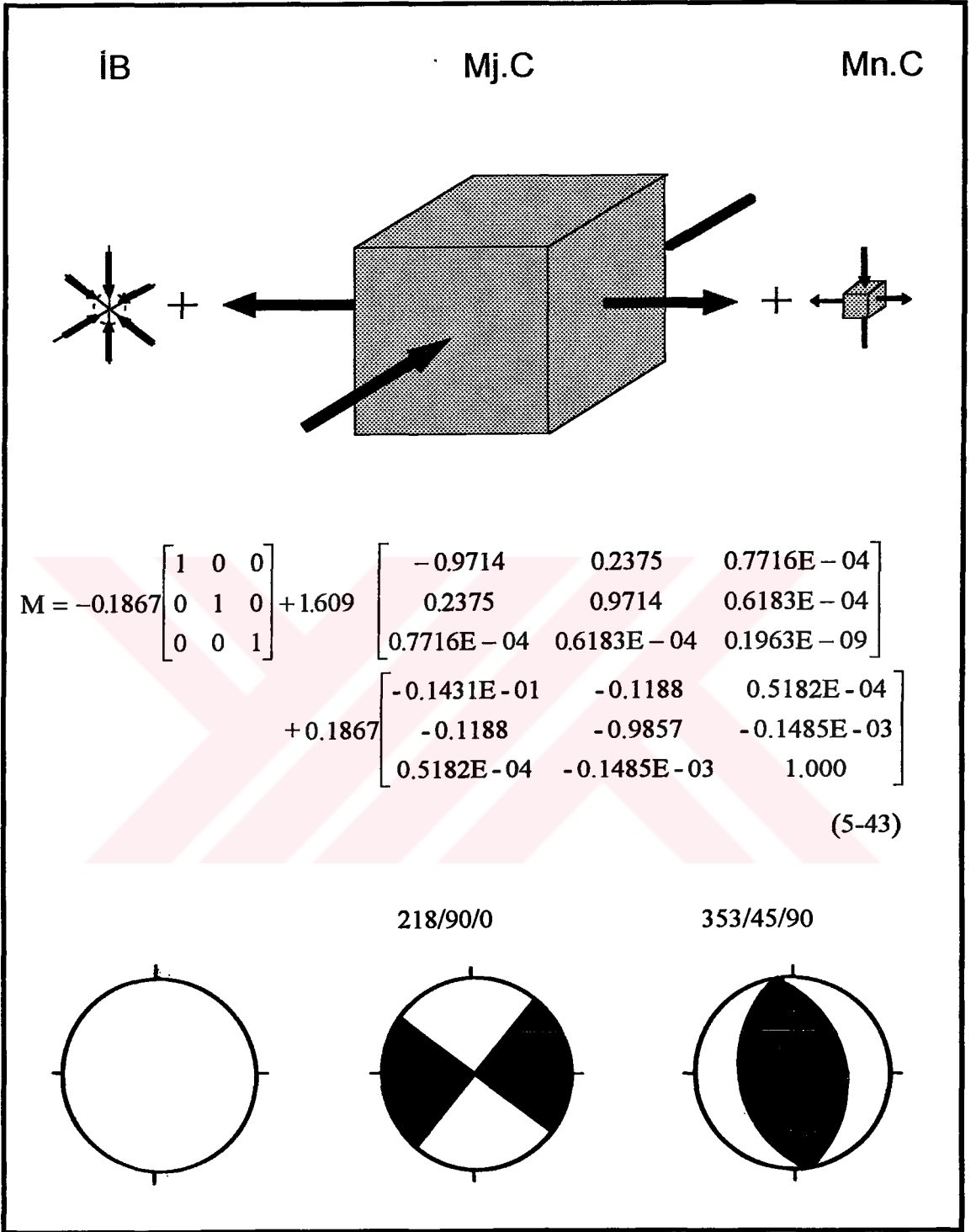
NP2: Doğrultu= $218^\circ$

Eğim= $90^\circ$

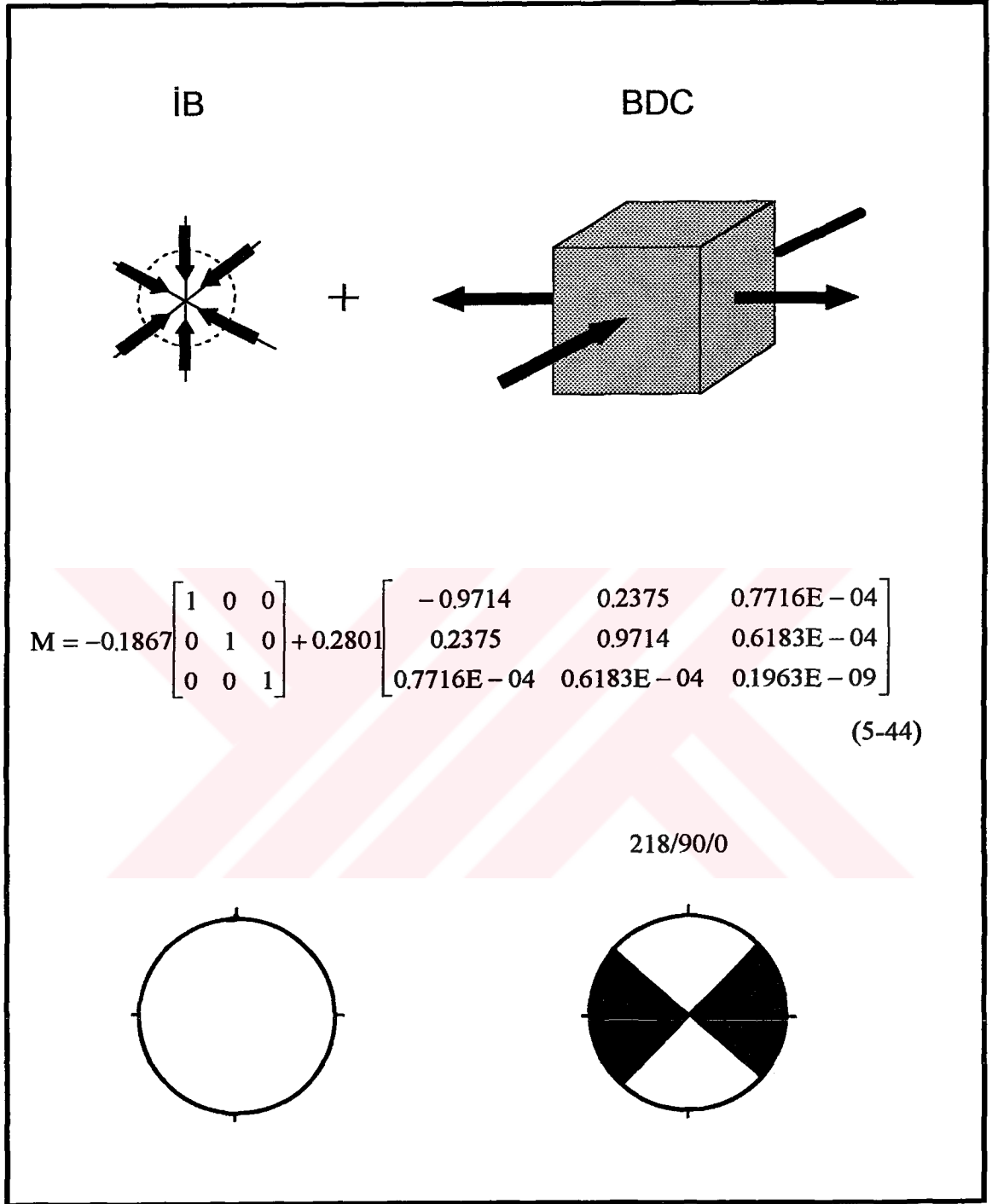
Kayma= $0^\circ$



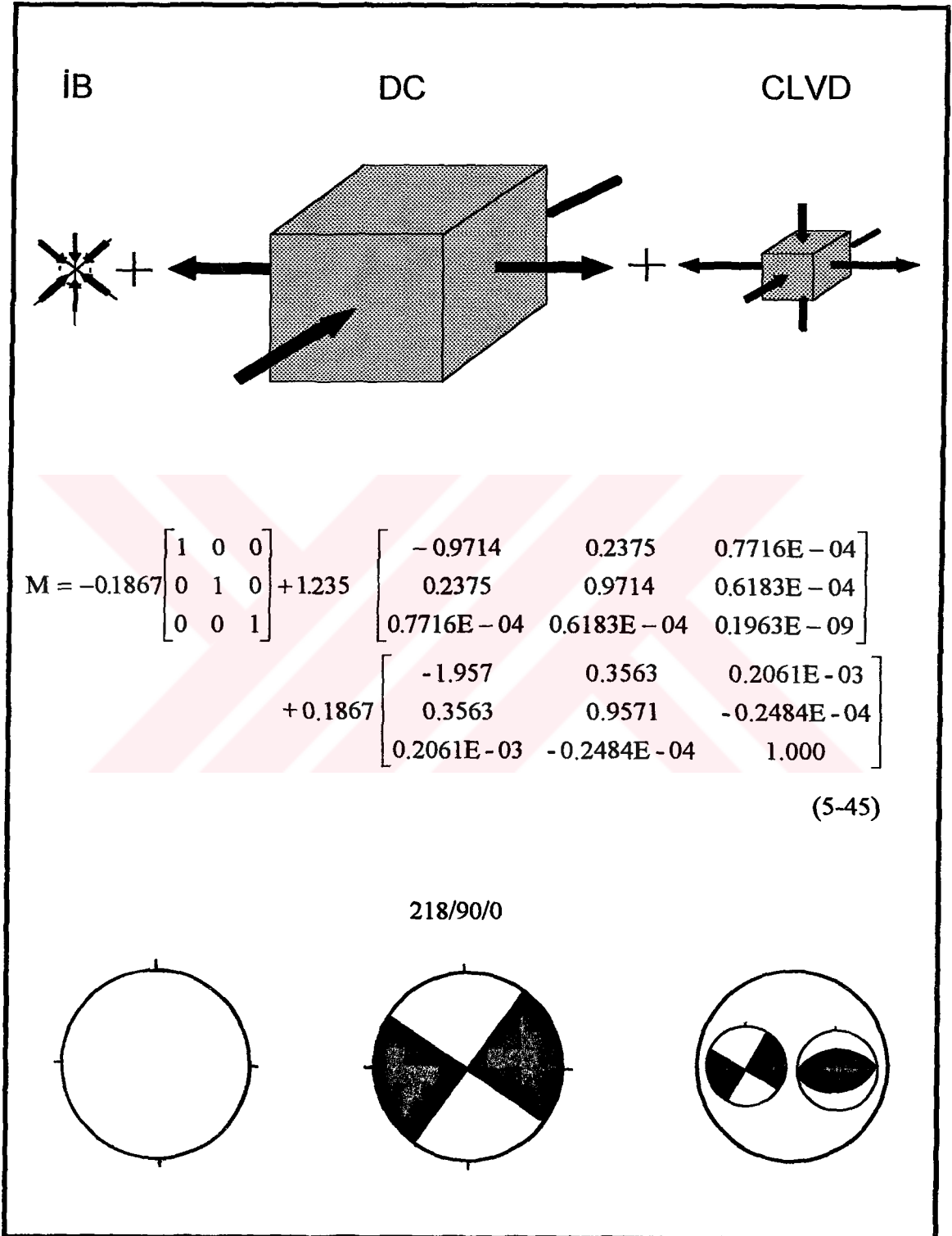
**Şekil 5.51** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi için moment tansör bileşenleri ve genel fay düzlemi çözümü. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.4'deki gibidir.



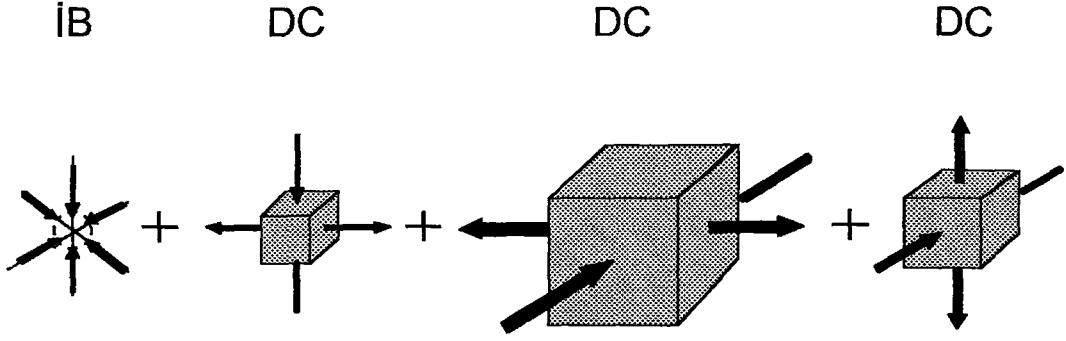
**Şekil 5.52** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 Büyük kuvvet çifti (Mj.C) ve 1 küçük kuvvet çiftine (Mn.C) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.53** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremine ait moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti (best double-couple:BDC) çözümünü karakterize eden eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.54** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB), 1 ikili kuvvet-çifti (DC) ve 1 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



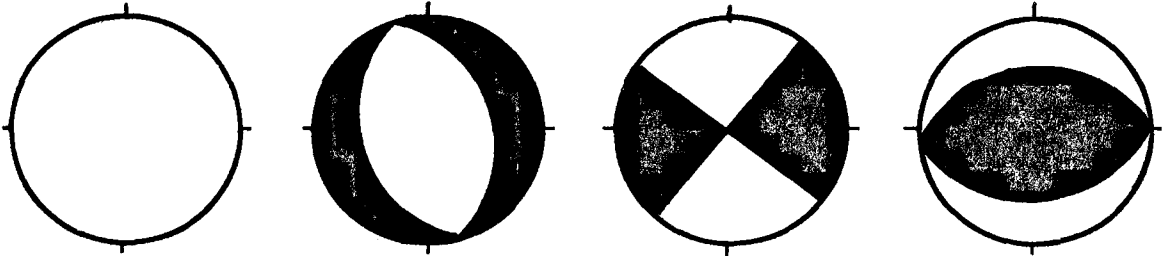
$$\begin{aligned}
 M = & -0.1867 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0.4118 \begin{bmatrix} 0.1431E-01 & 0.1188 & -0.5182E-04 \\ 0.1188 & 0.9857 & 0.1485E-03 \\ -0.5182E-04 & 0.1485E-03 & -1.000 \end{bmatrix} \\
 & + 1.010 \begin{bmatrix} -0.9714 & 0.2375 & 0.7716E-04 \\ 0.2375 & 0.9714 & 0.6183E-04 \\ 0.7716E-04 & 0.6183E-04 & 0.1963E-09 \end{bmatrix} \\
 & + 0.5985 \begin{bmatrix} -0.9857 & 0.1188 & 0.1290E-03 \\ 0.1188 & -0.1431E-01 & -0.8666E-04 \\ 0.1290E-03 & -0.8666E-04 & 1.000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(5-46)

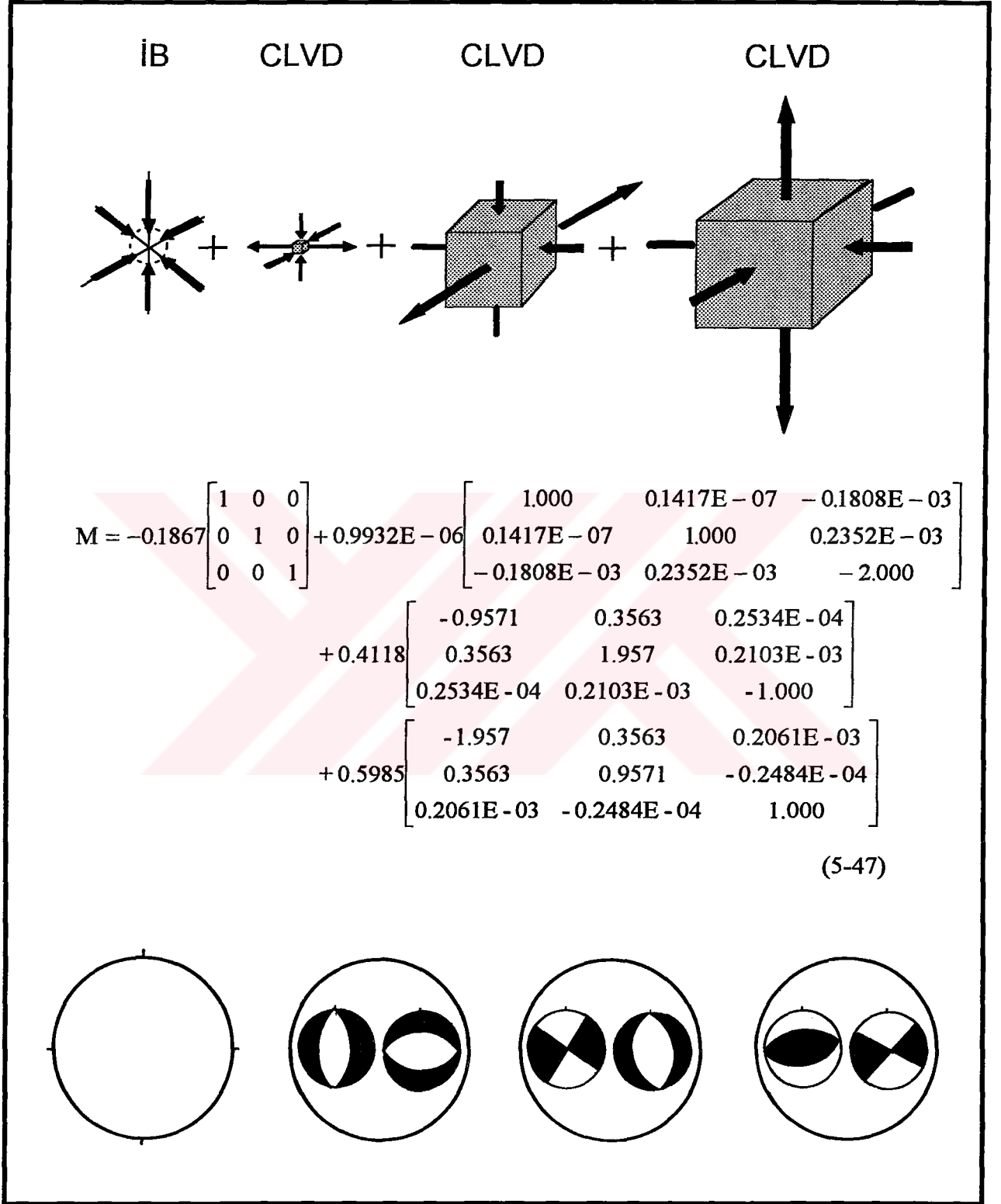
353/45/-90

218/90/0

263/45/90



**Şekil 5.55** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 ikili kuvvet-çiftine (DC) göre ayrıştırılması durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



**Şekil 5.56** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 sıkıştırılmış lineer vektör dipole (CLVD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri, elementer moment tansörler ve elementer fay düzlemi çözümleri. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.

İB
VD
VD
VD

$$\begin{aligned}
 M = & -0.1867 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0.1867 \begin{bmatrix} 0.3632E-08 & -0.4724E-08 & 0.6027E-04 \\ -0.4724E-08 & 0.6144E-08 & -0.7839E-04 \\ 0.6027E-04 & -0.7839E-04 & 1.000 \end{bmatrix} \\
 & + 1.422 \begin{bmatrix} 0.1431E-01 & 0.1188 & 0.8447E-05 \\ 0.1188 & 0.9857 & 0.7011E-04 \\ 0.8447E-05 & 0.7011E-04 & 0.4986E-08 \end{bmatrix} \\
 & + 1.609 \begin{bmatrix} -0.9857 & 0.1188 & 0.6871E-04 \\ 0.1188 & -0.1431E-01 & -0.8279E-05 \\ 0.6871E-04 & -0.8279E-05 & -0.4790E-08 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(5-48)

**Şekil 5.57** 22 Mayıs 1971 Bingöl depremine ait moment tansörün 1 izotropik bileşen (İB) ve 3 vektör dipole (VD) göre ayrıştırılmaları durumundaki eşdeğer kuvvet bileşenleri ve elementer moment tansörler. Semboller ve işaretlemeler, Şekil 5.5'deki gibidir.



## BÖLÜM 6

### SONUÇLARIN SİSMOLOJİDEKİ YERİ

#### 6.1. ÇÖZÜM DOĞRULUĞU

Bir işlemin doğruluğu, önce teorik doğruluğu gerektirir. Bu, teorinin doğru olup-olmadığının bakılmasıdır. Teorik doğruluğun saptanmasından sonra pratikteki doğruluk aranır.

Bu doktora tezinde kullanılan, doğrusal moment tansör ters çözümünde yapılan iş, (2-39) denkleminin çözülmesidir. Dolayısıyla, ters çözüm işleminin sınanması amacıyla bir düz çözüm yapıp tekrar terslendiği zaman, aynı çözüm vektörünün tekrar elde edilmesi beklenir. Çünkü işlem doğrusaldır. Bu, söz konusu işlemin teorik doğruluğudur.

##### 6.1.1. Sentetik Örnekler

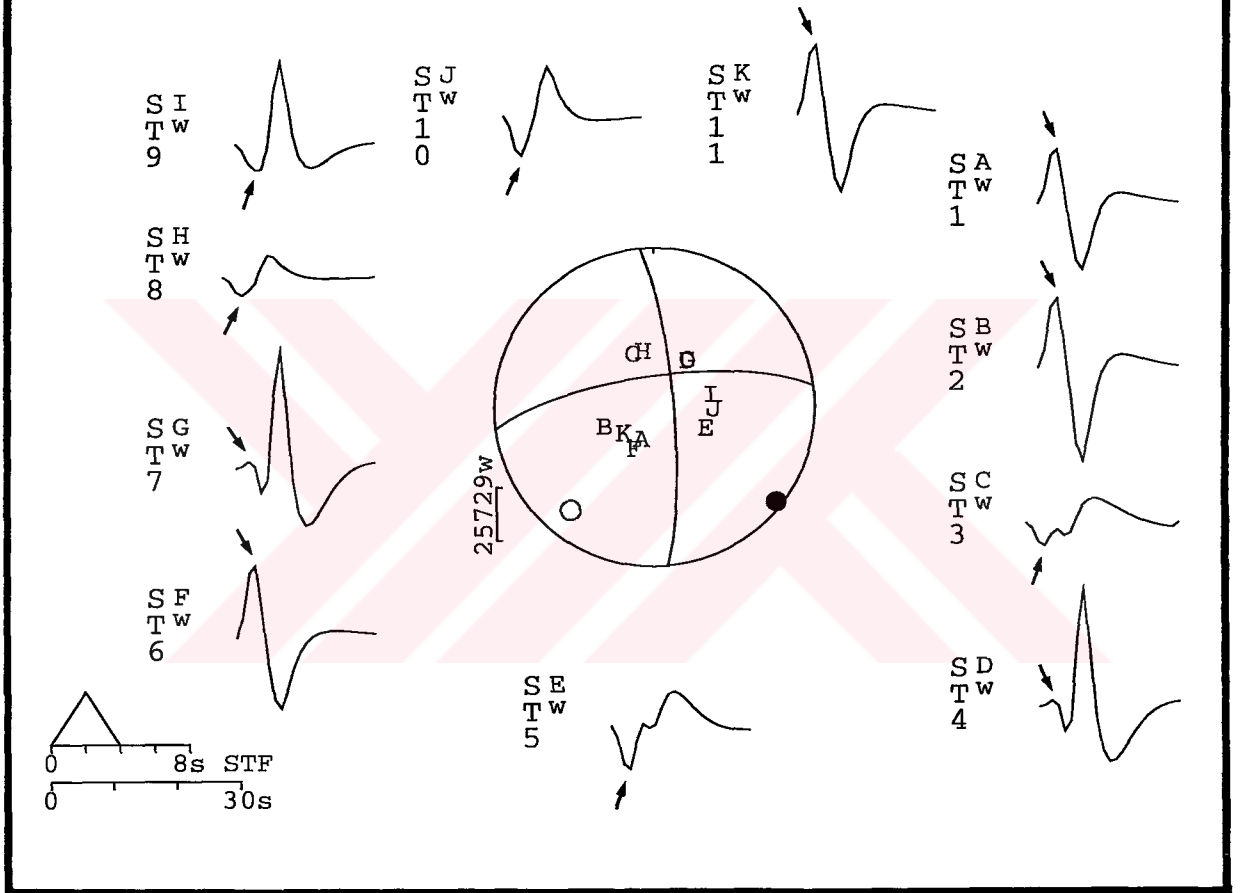
Uygulamadaki doğruluk, ilgili işlem algoritmasının doğru çalışmasıdır. Bunun için kullanılan algoritma bir çok sentetik veride denenmiştir. Bunlardan bir tanesi, Şekil 6.1’de verilen sentetik sismogramların üretilmesidir. 11 istasyonda hesaplanan bu teorik sismogramlar,  $\alpha = 6.5$  km/sn olan yarı-sonsuz bir Yer modelinde ikili kuvvet çifti olmayan (non double-couple), 10 km derinlikteki bir kaynak tarafından meydana getirilmiştir. Adı geçen kaynak bir patlatmayı (explosion), bir doğrultu atımlı fayı, bir  $45^\circ$  eğim atımlı fayı ve bir düşey fayı içeren;

$$\begin{aligned} M_{xx} &= 1 & M_{yy} &= -2 & M_{zz} &= 4 \\ M_{xy} &= 6 & M_{xz} &= 0 & M_{yz} &= -1 \end{aligned} \quad (6-1)$$

şeklindeki bir moment tansör ile tanımlanmıştır. Yani bu moment tansör,

## SENTETİK MODEL 1

355/80/16/10/1E19



**Şekil 6.1** Sentetik sismogramların hesaplanmasında kullanılan fay mekanizması ve üretilen P dalgası düşey (z) bileşen sentetik sismogramları. Siyah oklar,doğrusal moment tansör ters çözümünde kullanılan ilk hareket genliklerini gösterir.

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(6-2a)

$$M_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6-2b)$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6-2c)$$

$$M_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6-2d)$$

ile verilen 4 elementer moment tansörün,

$$M = M_1 + 6 M_2 + 3 M_3 + M_4 \quad (6-3)$$

şeklindeki lineer kombinasyonudur. Dolayısıyla (6-3) denkleminde yer alan elementer kaynaklar, aynı sırayla; bir patlatma, bir doğrultu atımlı fay, bir 45° eğim atımlı fay ve bir düşey faydır. Bunlardan doğrultu atımlı fay, tüm fizik mekanizma içinde dominanttır. Bu sentetik örnekte, (6-1)'deki moment tansörün kullanılmasının nedeni de gerek fay düzlemi çözümlerinin gerekse ayrıştırma sonuçlarının karşılaştırılabilir olmasını sağlamak içindir. Çünkü aynı moment tansör, Jost ve Herrmann (1989)'da kullanılmıştır.

Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk hareket pik genliklerinden SMTIN ile kestirilen moment tansör ve ayrıştırma sonuçlarının tamamı program çıktısı olarak Ek-C'de, özet çıktı olarak Tablo 6.1 ile verilir. Bundan sonra, yapılan örneklerle ilgili bu tip sonuçlar, Tablo 6.1'deki gibi hep özet sonuç olarak verilecektir. Buradan da görüldüğü gibi düz çözümde kullanılan moment tansör aynen kestirilmiştir. Fay düzlemi çözümleri ve ayrıştırma sonuçları Jost ve Herrmann (1989) ile aynıdır. Ters çözüm için kullanılan ilk hareket genlikleri Şekil 6.1'de siyah oklarla gösterilmiştir.

**Tablo 6.1** Şekil 6.1'deki sentetik sismogramlardan yapılan doğrusal moment tansör ters çözüm özet sonuçları.

ÇÖZÜM TEKNİĞİ= KISITSIZ EN KÜÇÜK KARELER  
\*\*\*\*\*

İstasyon Sayısı= 11

GÖZLEMLERDEKİ MUTLAK HATA= 0.91197E-07  
GÖZLEMLERDEKİ BAĞIL HATA = 0.14584E-02

ÇÖZÜM VEKTÖRÜNÜN BAĞIL HATASI = 33.436  
BAĞIL HATANIN ÜST SINIRI = 0.12989E+16  
BAĞIL HATANIN ALT SINIRI = 33.436

DURUM GÖSTERGE KATSAYISI = 0.84471E+11

AYIRIMLILIK (Resolution) MATRİSİ :

\*\*\*\*\*

|         |         |             |         |         |         |
|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|
| 0.37560 | 0.92710 | 0.59985     | 0.65705 | 0.22082 | 0.77546 |
| 0.43471 | 0.12222 | 0.15309E-01 | 0.87774 | 0.98714 |         |

MOMENT TANSÖR :

\*\*\*\*\*

|            |                  |             |
|------------|------------------|-------------|
| MXX= 1.000 | MYX= -2.000      | MZZ= 4.000  |
| MYX= 6.000 | MXZ= -0.1134E-08 | MYZ= -1.000 |

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

|       |                 |               |              |
|-------|-----------------|---------------|--------------|
| 1.(T) | ÖZDEĞER= 5.890  | DALIM= 18 drc | AZM= 219 drc |
| 2.(B) | ÖZDEĞER= 3.852  | DALIM= 71 drc | AZM= 25 drc  |
| 3.(P) | ÖZDEĞER= -6.743 | DALIM= 4 drc  | AZM= 128 drc |

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 6.317

|      |                   |              |                |
|------|-------------------|--------------|----------------|
| NP1: | DOĞRULTU= 355 drc | Eğim= 80 drc | KAYMA= 16 drc  |
| NP2: | DOĞRULTU= 262 drc | Eğim= 74 drc | KAYMA= 170 drc |

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= 3.000  
MONOPOLE YÜZDESİ= % 50.0  
DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 13.1  
CLVD YÜZDESİ= % 36.9

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= 0.3684  
DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 26.  
CLVD YÜZDESİ= % 74.

Yukarıda sözü edilen model çalışmasıyla ilgili 12 istasyondan 5 istasyona kadar olan çözümlerin isabeti, herşeyden önce SMTIN algoritmasının **sayısal çözümleme** gücünün başarısının gösterebilir. SVD ve Sönümlü En Küçük Kareler yönteminin karşılaştırıldığı örneklerdeki başarı da aynı şekilde algılanmalıdır. Bu, hiçbir zaman, sismolojideki kaynak kestiriminde, bu çalışmada kullanılan ilk hareket genliklerine dayalı çözümün bir üstünlüğü olarak görülmemelidir. Keza, kaynak kestirimi; kullanılan istasyonların azimutal dağılımına, faylanmanın türüne, depremin büyüklüğüne, varsayılan Yeraltı hız yapısına, sismogramların temizliğine (S/N) ve sismogramların ayırmalılığına bağlıdır.

Tablo 6.2’de, Şekil 6.1’de verilen sentetik sismogramların ilk 6’sı ile yapılan ters çözüm sonuçları vardır. Elde edilen sonuçlar bir tam çözüm sonuçlarıdır. Görüldüğü gibi Tablo 6.1 ile aynıdır.

Tablo 6.3’de, ilk 5 sentetik sismogramla yapılan ters çözüm sonuçları görülmektedir. Sonuçlar Tablo 6.1 ile aynıdır.

Tablo 6.4, ilk 4 sentetik sismogramla yapılan ters çözüm sonuçlarını verir. Buradaki hata hesaplarından ve ayırmalılık matrisinden ters çözümün uygun bir doğrulukla yapıldığı gözlenmesine rağmen, verilen moment tansöre pek yaklaşamamıştır. Dolayısıyla buna bağlı olarak fay düzlemi çözümleri ve ayrıştırma sonuçları farklıdır. Bu durum, eksik tanımlı bir denklem sisteminin çözüm riskinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 6.1’deki sentetik sismogramların ilk 3’ü kullanılarak yapılan doğrusal moment tansör ters çözümünün S.V.D.’ye göre sonuçları Tablo 6.5’de, **Sönümlü En Küçük Kareler** yöntemine göre sonuçları Tablo 6.6’da verilmektedir. Her iki çözümde kestirilen moment tansörler birbirine hemen-hemen yakın, diğer sonuçlar ise birbirinin aynı olmasına rağmen; düz çözümde kullanılan moment tansör ve ayrıştırma sonuçları bakımından Tablo 6.1’den hayli farklıdır. Bu durum da eksik-tanımlı bir sistemin çözüm riski yönünden beklenebilir bir özellik taşır. Fakat Tablo 6.5 ve Tablo 6.6’nın ortak önemli bir özelliği, (6-1)’deki moment tansöre dominant katkı sağlayan doğrultu atımlı fay bileşenini ortaya çıkarmasıdır. Kestirilen moment tansörün en iyi ikili kuvvet-çifti (best double-couple) çözümünde bu görülür. Ayrıca ayrıştırma

**Tablo 6.2** Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 6'sı ile yapılan doğrusal moment tansör ters çözüm özet sonuçları.

ÇÖZÜM TEKNİĞİ= TAM ÇÖZÜM  
\*\*\*\*\*

İstasyon Sayısı= 6

GÖZLEMLERDEKİ MUTLAK HATA= 0.61385E-19  
GÖZLEMLERDEKİ BAĞIL HATA = 0.26511E-15

ÇÖZÜM VEKTÖRÜNÜN BAĞIL HATASI = 0.64307E-05  
BAĞIL HATANIN ÜST SINIRI = 0.12379E+16  
BAĞIL HATANIN ALT SINIRI = 0.64307E-05

DURUM GÖSTERGE KATSAYISI = 0.33433E+12

AYIRIMLILIK (Resolution) MATRİSİ :

\*\*\*\*\*

|        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

MOMENT TANSÖR :

\*\*\*\*\*

|            |                 |             |
|------------|-----------------|-------------|
| MXX= 1.000 | MYX= -2.000     | MZZ= 4.000  |
| MYX= 6.000 | MYZ= 0.4885E-14 | MYZ= -1.000 |

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

|       |                 |               |              |
|-------|-----------------|---------------|--------------|
| 1.(T) | ÖZDEĞER= 5.890  | DALIM= 18 drc | AZM= 219 drc |
| 2.(B) | ÖZDEĞER= 3.852  | DALIM= 71 drc | AZM= 25 drc  |
| 3.(P) | ÖZDEĞER= -6.743 | DALIM= 4 drc  | AZM= 128 drc |

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 6.317

|      |                   |              |                |
|------|-------------------|--------------|----------------|
| NP1: | DOĞRULTU= 355 drc | EĞİM= 80 drc | KAYMA= 16 drc  |
| NP2: | DOĞRULTU= 262 drc | EĞİM= 74 drc | KAYMA= 170 drc |

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= 3.000

MONOPOLE YÜZDESİ= % 49.9

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 13.1

CLVD YÜZDESİ= % 37.0

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

\*\*\*\*\*

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= 0.3684

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 26.

CLVD YÜZDESİ= % 74.

**Tablo 6.3** Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 5'i ile yapılan doğrusal moment tansör ters çözüm özet sonuçları.

ÇÖZÜM TEKNİĞİ= KISITSIZ EN KÜÇÜK KARELER

\*\*\*\*\*

İstasyon Sayısı= 5

GÖZLEMLERDEKİ MUTLAK HATA= 0.85294E-04

GÖZLEMLERDEKİ BAĞIL HATA = 0.36485

ÇÖZÜM VEKTÖRÜNÜN BAĞIL HATASI = 1300.0

BAĞIL HATANIN ÜST SINIRI = 0.12394E+10

BAĞIL HATANIN ALT SINIRI = 1300.0

DURUM GÖSTERGE KATSAYISI = 0.34845E+06

AYIRIMLILIK (Resolution) MATRİSİ :

\*\*\*\*\*

|        |        |         |         |        |
|--------|--------|---------|---------|--------|
| 1.0000 | 1.0001 | 0.61845 | 0.99951 | 1.3673 |
|--------|--------|---------|---------|--------|

MOMENT TANSÖR :

\*\*\*\*\*

|            |             |            |
|------------|-------------|------------|
| MXX= 1.003 | MYX= -2.000 | MZZ= 4.000 |
|------------|-------------|------------|

|            |                  |             |
|------------|------------------|-------------|
| MYX= 5.999 | MXZ= -0.1208E-05 | MYZ= -1.000 |
|------------|------------------|-------------|

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

|        |                |               |              |
|--------|----------------|---------------|--------------|
| 1. (T) | ÖZDEĞER= 5.891 | DALIM= 18 drc | AZM= 219 drc |
|--------|----------------|---------------|--------------|

|        |                |               |             |
|--------|----------------|---------------|-------------|
| 2. (B) | ÖZDEĞER= 3.852 | DALIM= 71 drc | AZM= 25 drc |
|--------|----------------|---------------|-------------|

|        |                 |              |              |
|--------|-----------------|--------------|--------------|
| 3. (P) | ÖZDEĞER= -6.740 | DALIM= 4 drc | AZM= 128 drc |
|--------|-----------------|--------------|--------------|

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 6.316

|      |                   |              |               |
|------|-------------------|--------------|---------------|
| NP1: | DOĞRULTU= 355 drc | EĞİM= 80 drc | KAYMA= 16 drc |
|------|-------------------|--------------|---------------|

|      |                   |              |                |
|------|-------------------|--------------|----------------|
| NP2: | DOĞRULTU= 262 drc | EĞİM= 74 drc | KAYMA= 170 drc |
|------|-------------------|--------------|----------------|

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= 3.003

MONOPOLE YÜZDESİ= % 50.0

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 13.1

CLVD YÜZDESİ= % 36.9

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= 0.3683

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 26.

CLVD YÜZDESİ= % 74.

**Tablo 6.4** Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 4'ü ile yapılan doğrusal moment tansör ters çözüm özet sonuçları.

ÇÖZÜM TEKNİĞİ= KISITSIZ EN KÜÇÜK KARELER  
\*\*\*\*\*

İstasyon Sayısı=4

GÖZLEMLERDEKİ MUTLAK HATA= 0.29707E-03

GÖZLEMLERDEKİ BAĞIL HATA = 3.2324

ÇÖZÜM VEKTÖRÜNÜN BAĞIL HATASI = 2.3213

BAĞIL HATANIN ÜST SINIRI = 0.15745E+15

BAĞIL HATANIN ALT SINIRI = 0.33413E-03

DURUM GÖSTERGE KATSAYISI = 0.16516E+11

AYIRIMLILIK (Resolution) MATRİSİ :

\*\*\*\*\*

|         |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|
| 0.99716 | 1.0126 | 5.0188 | 1.9805 |
|---------|--------|--------|--------|

MOMENT TANSÖR :

\*\*\*\*\*

MXX= 0.3949

MYY= 0.2452E-04

MZZ= -0.4598E-04

MXZ= -3.152

MXZ= -0.1957E-03

MYZ= 0.3670E-03

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

|       |                |              |              |
|-------|----------------|--------------|--------------|
| 1.(T) | ÖZDEĞER= 3.355 | DALIM= 0 drc | AZM= 137 drc |
|-------|----------------|--------------|--------------|

|       |                      |               |              |
|-------|----------------------|---------------|--------------|
| 2.(B) | ÖZDEĞER= -0.4602E-04 | DALIM= 90 drc | AZM= 338 drc |
|-------|----------------------|---------------|--------------|

|       |                 |              |              |
|-------|-----------------|--------------|--------------|
| 3.(P) | ÖZDEĞER= -2.961 | DALIM= 0 drc | AZM= 227 drc |
|-------|-----------------|--------------|--------------|

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 3.158

|      |                   |              |              |
|------|-------------------|--------------|--------------|
| NP1: | DOĞRULTU= 272 drc | EĞİM= 90 drc | KAYMA= 0 drc |
|------|-------------------|--------------|--------------|

|      |                   |              |                |
|------|-------------------|--------------|----------------|
| NP2: | DOĞRULTU= 182 drc | EĞİM= 90 drc | KAYMA= 180 drc |
|------|-------------------|--------------|----------------|

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= 0.3949

MONOPOLE YÜZDESİ= % 11.6

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 81.1

CLVD YÜZDESİ= % 7.3

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= 0.4084E-01

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 92.

CLVD YÜZDESİ= % 8.





**Tablo 6.6** Şekil 6.1'deki sentetik sismogramların ilk 3'ü ile Sönümlü En Küçük Kareler yöntemi kullanılarak yapılan doğrusal moment tansör ters çözüm özet sonuçları.

**ÇÖZÜM TEKNİĞİ= SÖNÜMLÜ EN KÜÇÜK KARELER**

\*\*\*\*\*

İstasyon Sayısı= 3

SÖNÜM PARAMETRESİ (bta)= 0.36379788E-21

İTERASYON SAYISI= 40

ÇÖZEN bta SAYISI= 40

GÖZLEMLERDEKİ MUTLAK HATA= 0.14309E-14

GÖZLEMLERDEKİ BAĞIL HATA = 0.22686E-10

ÇÖZÜM VEKTÖRÜNÜN BAĞIL HATASI = 0.11863E-18

BAĞIL HATANIN ÜST SINIRI = 0.77528E+17

BAĞIL HATANIN ALT SINIRI = 0.11863E-18

DURUM GÖSTERGE KATSAYISI = 0.56991E+13

AYIRIMLILIK (Resolution) MATRİSİ :

\*\*\*\*\*

1.0000 1.0000 1.0000

MOMENT TANSÖR :

\*\*\*\*\*

MXX= -0.1454E-13

MYY= -0.2000E-09

MZZ= 0.4001E-09

MYX= 1.180

MXZ= 0.7327E-04

MYZ= 0.2931E-03

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

1.(T) ÖZDEĞER= 1.180 DALIM= 0 drc AZM= 45 drc

2.(B) ÖZDEĞER= -0.3599E-07 DALIM= 90 drc AZM= 194 drc

3.(P) ÖZDEĞER= -1.180 DALIM= 0 drc AZM= 315 drc

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 1.180

NP1: DOĞRULTU= 180 drc EĞİM= 90 drc KAYMA= 0 drc

NP2: DOĞRULTU= 90 drc EĞİM= 90 drc KAYMA= 180 drc

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= 0.2000E-09

MONOPOLE YÜZDESİ= % 0.0

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 99.9

CLVD YÜZDESİ= % 0.1

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

\*\*\*\*\*

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= 0.3056E-07

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= %100.

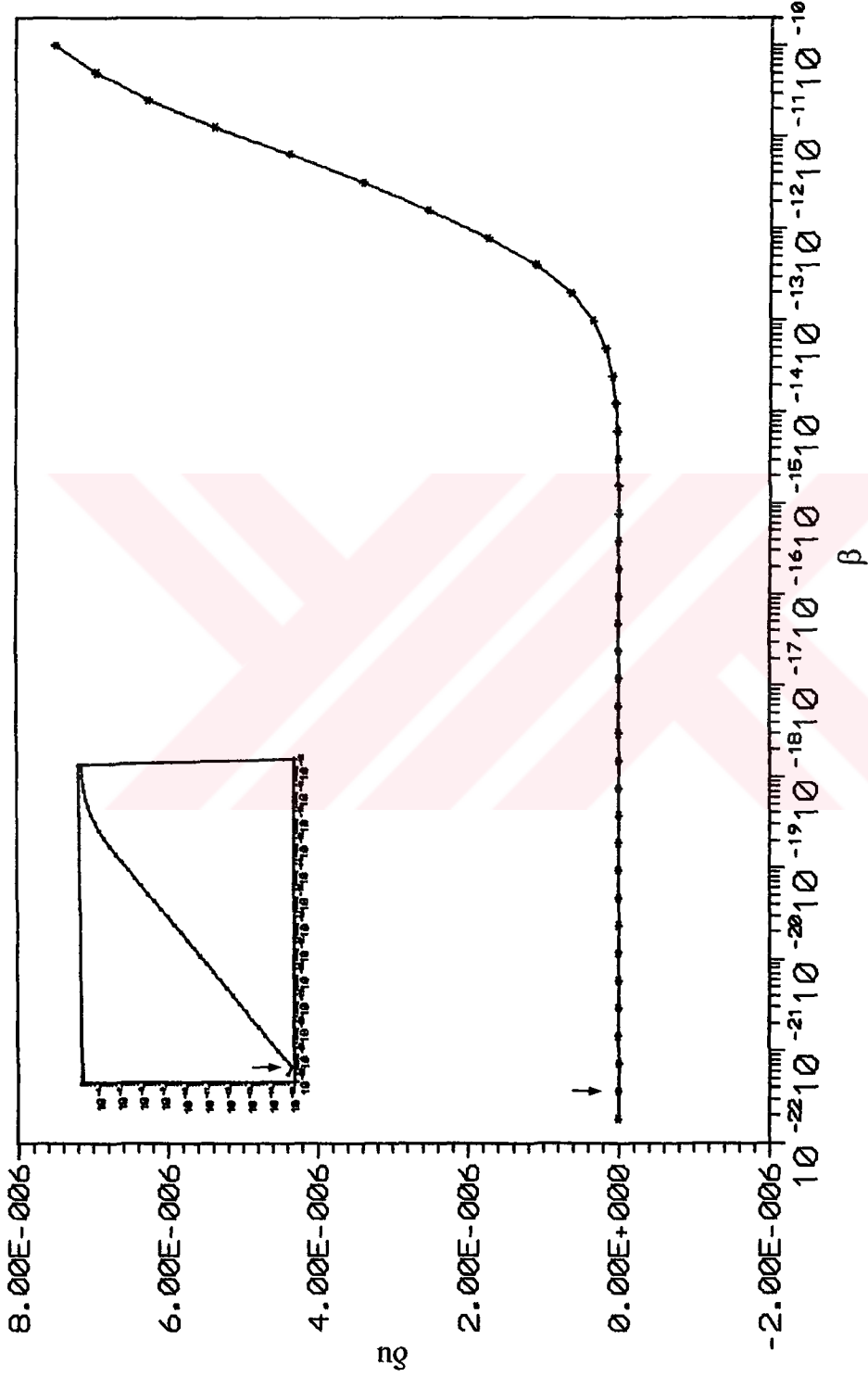
CLVD YÜZDESİ= % 0.

sonuçlarından büyük kuvvet çiftine (major couple) ait elementer moment tansör, (İB+DC+CLVD) ayrışımındaki ikili kuvvet-çiftine (DC) ait elementer moment tansör, (İB+DC+DC+DC) ayrışımındaki dominant elementer moment tansör (6-2b)'deki elementer moment tansör ile aynıdır. Bunların yanısıra %99.9 DC yüzdesi çıkması da bunun bir başka kanıtıdır. Gerek Tablo 6.5'deki gerekse Tablo 6.6'daki hata hesapları ve ayırlılılık matrisleri, ters çözümlerin, **tersleme işlemi** olarak iyi bir doğrulukla yapıldığını göstermektedir. Sönümlü En Küçük Kareler işleminde kullanılan  $\delta u = f(\beta)$  hata eğrisi Şekil 6.2'de verilir.  $\delta u$ , gözlemlerdeki toplam hata,  $\beta$ , sönüm parametresidir. Siyah ok, çözümü kabul edilen sönüm parametresi değerini ( $\beta = 0.36379788 \times 10^{-21}$ ) gösterir. Bu çözüm,  $\beta_0 = 10^{-10}$  **başlangıç** sönüm parametresine göre 40 iterasyonda elde edilmiştir.

Ayrıca, Şekil 6.3'de, SYN4 ile hesaplanan sentetik sismogramlar görülmektedir. Bu dalga şekilleri;  $\alpha = 6.5$  km/sn hızlı yarı-sonsuz bir ortamda ve herbiri 10 km. derinlikte bulunan 3 kaynak tarafından meydana getirilmiştir. Dolayısıyla bu 3 elementer kaynak, yönelimleri Şekil 6.3'de verilmiş bulunan 1 doğrultu atımlı faylanma ile 2 normal faylanmanın bileşkesinden oluşan kompleks bir kaynağı ifade eder. İçlerinde doğrultu atımlı fay dominanttır. Bu kompleks kaynağı tanımlayan moment tansör, yine bu doktora tezi sırasında yazılmış CMTDEC adlı bir Fortran programıyla hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Sonuçlar, Tablo 6.7'de verilmektedir. Görüldüğü gibi sözkonusu kaynak % 96 DC ile % 4 CLVD bileşeni içermektedir. Bu dalga şekillerinin ilk hareket genliklerinden SMTIN ile yapılan doğrusal moment tansör ters çözümünden Tablo 6.8'deki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 6.7 ile Tablo 6.8 karşılaştırıldığında genelde uyum içinde oldukları görülür. Sadece ters çözüm sonuçlarında faylanma doğrultusu  $45^0$  ötelenmiştir. Bu farklılık ise SYN4 ile yapılan düz çözümdeki normal faylanmaların etkisi olarak yorumlanmalıdır.

### 6.1.2. Gerçek Örnekler

Burada, moment tansörleri bilinen depremler ele alınarak ters çözüm tekniğinin ve algoritmanın gücü tartışıldı. Bu amaçla, moment tansör elemanları ISC bülteninde yer alan bir tanesi Türkiye'den diğeri Japonya'dan olmak üzere iki deprem kullanıldı.



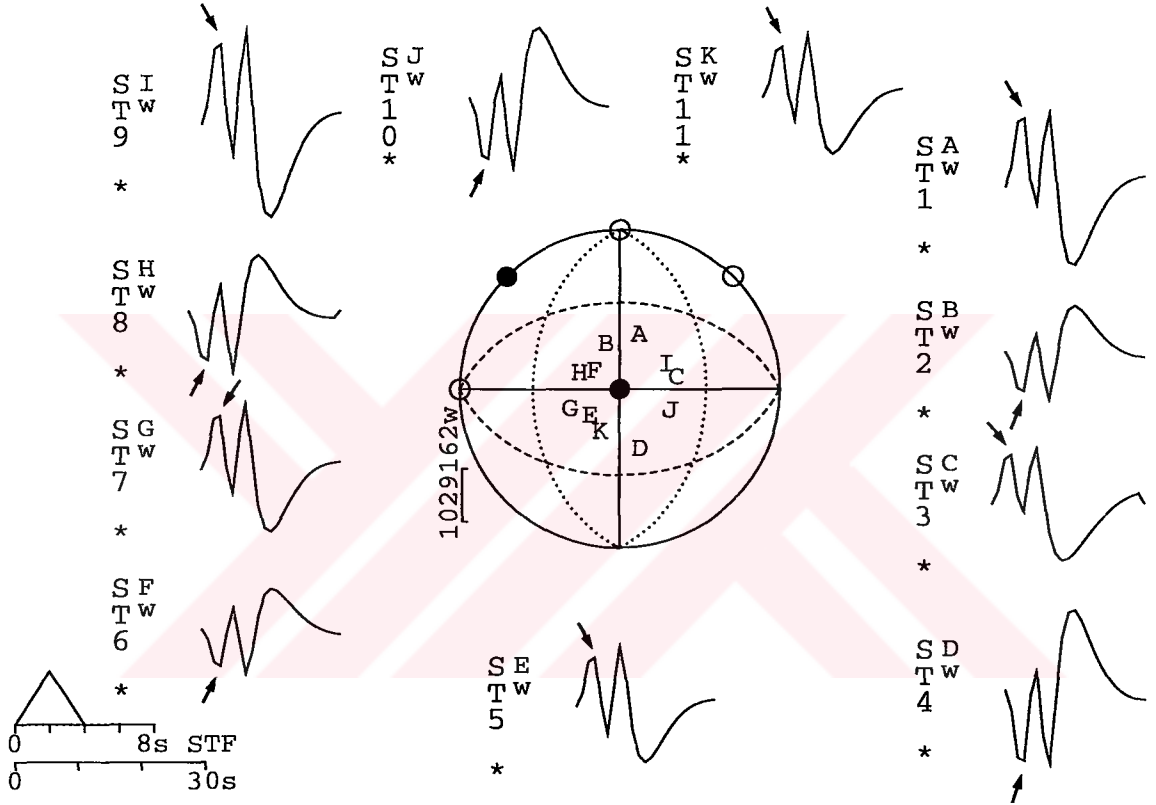
**Şekil 6.2** Sönümlü en küçük karalar yönteminde kullanılan  $\delta u = f(\beta)$  hata eğrisi.  $\delta u$ , gözlemlerdeki toplam hata.  $\beta$ , sönüm parametresi. Siyah ok, çözümü kabul edilen sönüm parametresi değerini gösterir. Yatay eksen logaritmiktir. Küçük şekil, iki eksenin de logaritmik olduğu durumdur.

## SENTETİK MODEL 2

1:90/90/180/10/1E21

2:90/45/270/10/1E19

3:0/45/270/10/1E19



**Şekil 6.3** SYN4 ile hesaplanan P dalgası düşey (z) bileşen sentetik sismogramları ve kullanılan kaynaklara ait fay mekanizmaları. Siyah oklar, doğrusal moment tansör ters çözümü için kullanılan ilk hareket genliklerini gösterir.

Şekil 6.4, 13 Mart 1992 Erzincan depreminin ( $m_b = 6.1$ ) ISC kataloğunda verilen dalga şekillerini ve fay düzlemi çözümünü gösterir (BISC, 1992, March; s. 332). Buradaki 16 istasyondan, episantr uzaklıkları  $30^\circ$ - $90^\circ$  arasında kalan 10 istasyon için SMTIN ile yapılan doğrusal moment tansör ters çözüm sonuçları Tablo 6.9'da verilmektedir. Tablo 6.10 ise aynı deprem için ISC kataloğunda bulunan çözüm

**Tablo 6.7** Şekil 6.3'de kullanılan kaynağın moment tansör tanımı ve özet analizi.

| K O M P L E K S K A Y N A Ğ I N O L U Ş U M U                 |              |             |
|---------------------------------------------------------------|--------------|-------------|
| *****                                                         |              |             |
| 1. ELEMENTER KAYNAĞA AIT GEOMETRİK ve FİZİKSEL PARAMETRELER ; |              |             |
| ~~~~~                                                         |              |             |
| Doğrultu=                                                     | 90. drc      |             |
| Eğim                                                          | = 90. drc    |             |
| Kayma                                                         | =180. drc    |             |
| Elementer moment(Mo)=                                         | .10E+22 N-m  |             |
| 1. ELEMENTER MOMENT TANSÖR:                                   |              |             |
| .00                                                           | 1.00         | .00         |
| 1.00                                                          | .00          | .00         |
| .00                                                           | .00          | .00         |
| 2. ELEMENTER KAYNAĞA AIT GEOMETRİK ve FİZİKSEL PARAMETRELER ; |              |             |
| ~~~~~                                                         |              |             |
| Doğrultu=                                                     | 90. drc      |             |
| Eğim                                                          | = 45. drc    |             |
| Kayma                                                         | =270. drc    |             |
| Elementer moment(Mo)=                                         | .10E+20 N-m  |             |
| 2. ELEMENTER MOMENT TANSÖR:                                   |              |             |
| 1.00                                                          | .00          | .00         |
| .00                                                           | .00          | .00         |
| .00                                                           | .00          | -1.00       |
| 3. ELEMENTER KAYNAĞA AIT GEOMETRİK ve FİZİKSEL PARAMETRELER ; |              |             |
| ~~~~~                                                         |              |             |
| Doğrultu=                                                     | 0. drc       |             |
| Eğim                                                          | = 45. drc    |             |
| Kayma                                                         | =270. drc    |             |
| Elementer moment(Mo)=                                         | .10E+20 N-m  |             |
| 3. ELEMENTER MOMENT TANSÖR:                                   |              |             |
| .00                                                           | .00          | .00         |
| .00                                                           | 1.00         | .00         |
| .00                                                           | .00          | -1.00       |
| K O M P L E K S M O M E N T T A N S Ö R                       |              |             |
| *****                                                         |              |             |
| ölçek=                                                        | 10**21 (N-m) | M = 10.0 M1 |
|                                                               |              | + .1 M2     |
|                                                               |              | + .1 M3     |



**Tablo 6.8** Şekil 6.3'deki dalga şekillerinin doğrusal moment tansör ters çözümünden elde edilen özet sonuçlar.

ÇÖZÜM TEKNİĞİ= KISITSIZ EN KÜÇÜK KARELER  
\*\*\*\*\*

İstasyon Sayısı= 11

GÖZLEMLERDEKİ MUTLAK HATA= 1.8650  
GÖZLEMLERDEKİ BAĞIL HATA = 0.38490

ÇÖZÜM VEKTÖRÜNÜN BAĞIL HATASI = 0.14109E-02  
BAĞIL HATANIN ÜST SINIRI = 0.40906E+10  
BAĞIL HATANIN ALT SINIRI = 0.42250E-03

DURUM GÖSTERGE KATSAYISI = 0.23269E+11

AYIRIMLILIK (Resolution) MATRİSİ :

\*\*\*\*\*

|         |         |             |             |             |         |
|---------|---------|-------------|-------------|-------------|---------|
| 0.97357 | 0.92249 | 0.43987     | 0.43973     | 0.68878     | 0.93464 |
| 0.92667 | 0.61112 | 0.61634E-01 | 0.75936E-10 | 0.15917E-08 |         |

ÖLÇEK(scale)= 10\*\* 21

\*\*\*\*\*

MOMENT TANSÖR :

\*\*\*\*\*

|                 |                  |                  |
|-----------------|------------------|------------------|
| Mxx= -2.028     | Myy= 2.028       | Mzz= -0.1840E-03 |
| Mxy= 0.1354E-05 | Mxz= -0.6057E-09 | Myz= 0.6747E-10  |

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

|       |                      |               |              |
|-------|----------------------|---------------|--------------|
| 1.(T) | ÖZDEĞER= 2.028       | DALIM= 0 drc  | AZM= 90 drc  |
| 2.(B) | ÖZDEĞER= -0.1840E-03 | DALIM= 90 drc | AZM= 270 drc |
| 3.(P) | ÖZDEĞER= -2.028      | DALIM= 0 drc  | AZM= 360 drc |

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 2.028

|      |                   |              |                |
|------|-------------------|--------------|----------------|
| NP1: | DOĞRULTU= 315 drc | EĞİM= 90 drc | KAYMA= 0 drc   |
| NP2: | DOĞRULTU= 45 drc  | EĞİM= 90 drc | KAYMA=-180 drc |

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= -0.1834E-03

MONOPOLE YÜZDESİ= % 0.0

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 99.9

CLVD YÜZDESİ= % 0.1

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

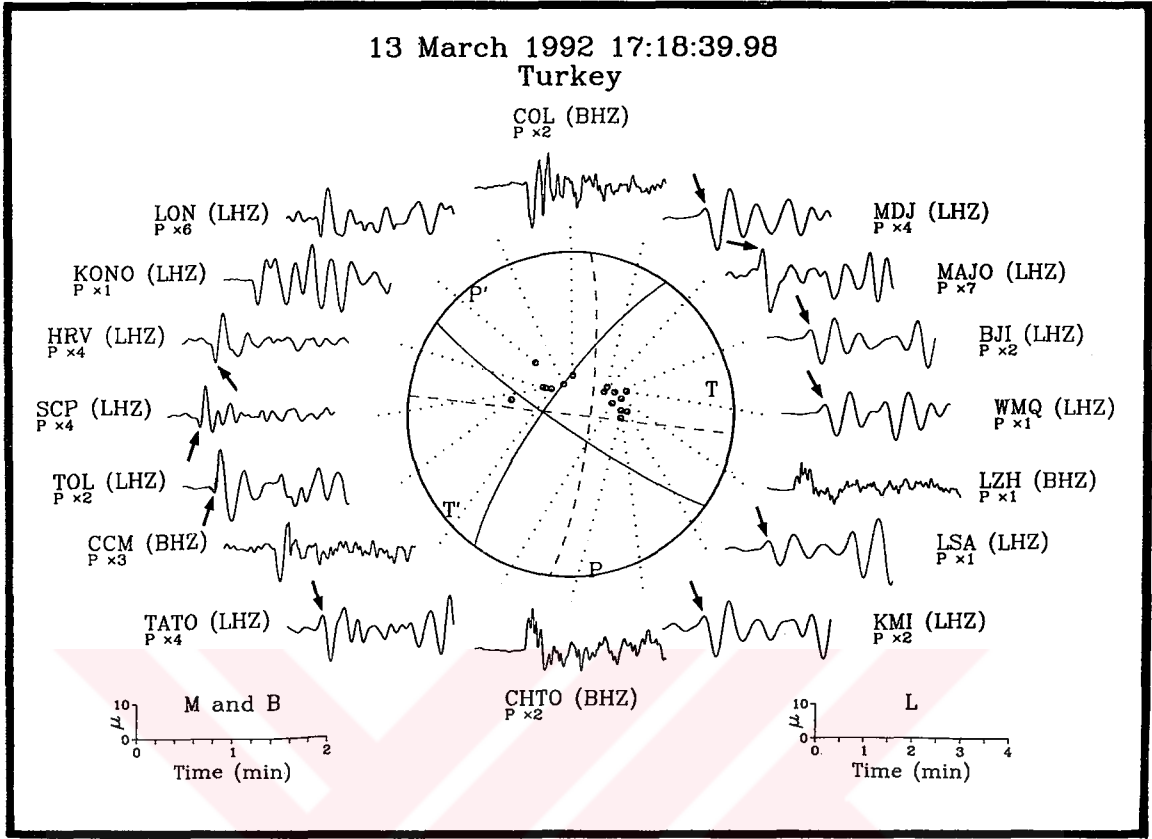
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= 0.6059E-04

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= %100.

CLVD YÜZDESİ= % 0.





**Şekil 6.4** 13 Mart 1992 Erzincan depremine ait fay düzlemi çözümü ve dalga şekilleri (BISC, 1992, March; s.332). Siyah oklar, doğrusal moment tansör ters çözümünde kullanılan istasyonlardaki ilk hareket genliklerini gösterir.

ters çözümde kullanılan istasyon sayısının azlığından kaynaklanmaktadır. HRVD ve NEIC analizlerindeki (Tablo 6.11, Tablo 6.12) eşdeğer kuvvet bileşenleri katkı oranlarındaki farklılıklar ise henüz moment tansör ters çözümünde kesin bir yargıya varılmadığının açık bir göstergesidir. Bu nedenle ISC, her iki kestirim sonucunu da yer vermiştir.

Şekil 6.5, bu konudaki bir başka örneği, 02 Mart 1992 Kamchatka depreminin ( $m_b = 6.4$ ) ISC kataloğunda verilen dalga şekillerini ve fay düzlemi çözümünü gösterir (BISC, 1992, March; s.330). Doğrusal moment tansör ters çözümü için bu istasyonlardan sadece 8 tanesi kullanılabildiği görülmüştür. Söz konusu ters çözüm sonuçları Tablo 6.13'de verilmektedir. Tablo 6.14 söz konusu depremin ISC kataloğunda yer alan çözümlerini gösterir (BISC, 1992, March; s.13). Tablo 6.15, bu çözümler içinde bulunan, HRVD tarafından verilen moment tansörün DECOM1 programıyla



**Tablo 6.10** 13 Mart 1992 Erzincan depremi için ISC tarafından verilen çözümlerin kupürü (BISC, 1992, March; s.134).

[illegible]

analizinden elde edilen özet sonuçları; Tablo 6.16 ise aynı sonuçların NEIC tarafından verilen moment tansör için olanlarını gösterir. Bu sonuçlara bakıldığında, kaynağı oluşturan eşdeğer kuvvet bileşenlerinin katkı oranlarıyla ilgili yorum, 13 Mart 1992 Erzincan depremindeki gibidir. Fay yönelim parametreleriyle ilgili duruma gelince, özellikle doğrultulardaki  $\sim 80^{\circ}$  'lik dönme, ilk önce, kullanılan istasyon sayısının azlığından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla hem istasyon sayısının azlığı hem de bu istasyonların dağılımındaki düzensizlik ters çözümün riskini artırmaktadır. Ayrıca, kaynağın da eğim atımlı bir faylanmadan oluşması bu risk için geçerli ortam sağlamaktadır. Bunu gidermenin yolu ise tüm dalga şekli ters çözümüdür (Full waveform inversion).

**Tablo 6.11** 13 Mart 1992 Erzincan depremi için HRVD tarafından kestirilen moment tansörün DECOM1 ile yapılan analizinden elde edilen özet sonuçlar.

" 13.03.1992 Erzincan " OLAYININ M O M E N T T A N S Ö R A N A L I Z I  
\*\*\*\*\*

MOMENT TANSÖR : (HRVD)

\*\*\*\*\*

Mrr= -.1200 Mtt= -.9900 Mff= 1.120  
Mrt= .4000E-01 Mrf= -.1500 Mtf= -.4600

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

1. (T) ÖZDEĞER= 1.234 DALIM= 7 drc AZM= 78 drc  
2. (B) ÖZDEĞER= -.1377 DALIM= 83 drc AZM= 263 drc  
3. (P) ÖZDEĞER= -1.086 DALIM= 1 drc AZM= 168 drc

ENİ Yİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 1.160

NP1: DOĞRULTU= 213 drc EĞİM= 85 drc KAYMA= 4 drc  
NP2: DOĞRULTU= 123 drc EĞİM= 86 drc KAYMA= 175 drc

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= .1000E-01  
MONOPOLE YÜZDESİ= % .3  
DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 76.8  
CLVD YÜZDESİ= % 22.9

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= .1146  
DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 77.  
CLVD YÜZDESİ= % 23.

### 6.1.3. Özgün (Spesifik) Moment Tansörlere Örnekler

Buraya kadar sözü edilen örneklerden başka, EK-D'de en genel moment tansörü karakterize eden bir kompleks kaynağın moment tansör elemanları ile analiz sonuçları verilir. Buradaki kompleks kaynak; patlamayı (explosion) simgeleyen bir izotropik bileşen ile yönelimleri EK-D'de görülen 2 doğrultu atımlı, 2 normal ve 1 ters faylanma olmak üzere 6 adet elementer kaynaktan meydana gelmiştir. Dolayısıyla eşdeğer kuvvet bileşenlerinin katkı oranları % 50 MP (monopole), % 26 DC ve % 24 CLVD dir. Bu şekliyle, ikili kuvvet çifti olmayan (non double-couple) bir kaynak türünü simgelemektedir.

**Tablo 6.12** 13 Mart 1992 Erzincan depremi için NEIC tarafından kestirilen moment tansörün DECOM1 ile yapılan analizinden elde edilen özet sonuçlar.

" 13.03.1992 Erzincan " OLAYININ M O M E N T T A N S Ö R A N A L I Z I  
\*\*\*\*\*

MOMENT TANSÖR : (NEIC)

\*\*\*\*\*

Mrr= -.2000E-01 Mtt= -1.200 Mff= 1.220  
Mrt= .1400 Mrf= -.3300 Mtr= -.4400

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

1.(T) ÖZDEĞER= 1.385 DALIM= 14 drc AZM= 80 drc  
2.(B) ÖZDEĞER= -.1017 DALIM= 75 drc AZM= 275 drc  
3.(P) ÖZDEĞER= -1.283 DALIM= 4 drc AZM= 171 drc

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 1.334

NP1: DOĞRULTU= 216 drc EĞİM= 77 drc KAYMA= 7 drc  
NP2: DOĞRULTU= 124 drc EĞİM= 83 drc KAYMA= 167 drc

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= .2082E-15  
MONOPOLE YÜZDESİ= % .0  
DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 85.3  
CLVD YÜZDESİ= % 14.7

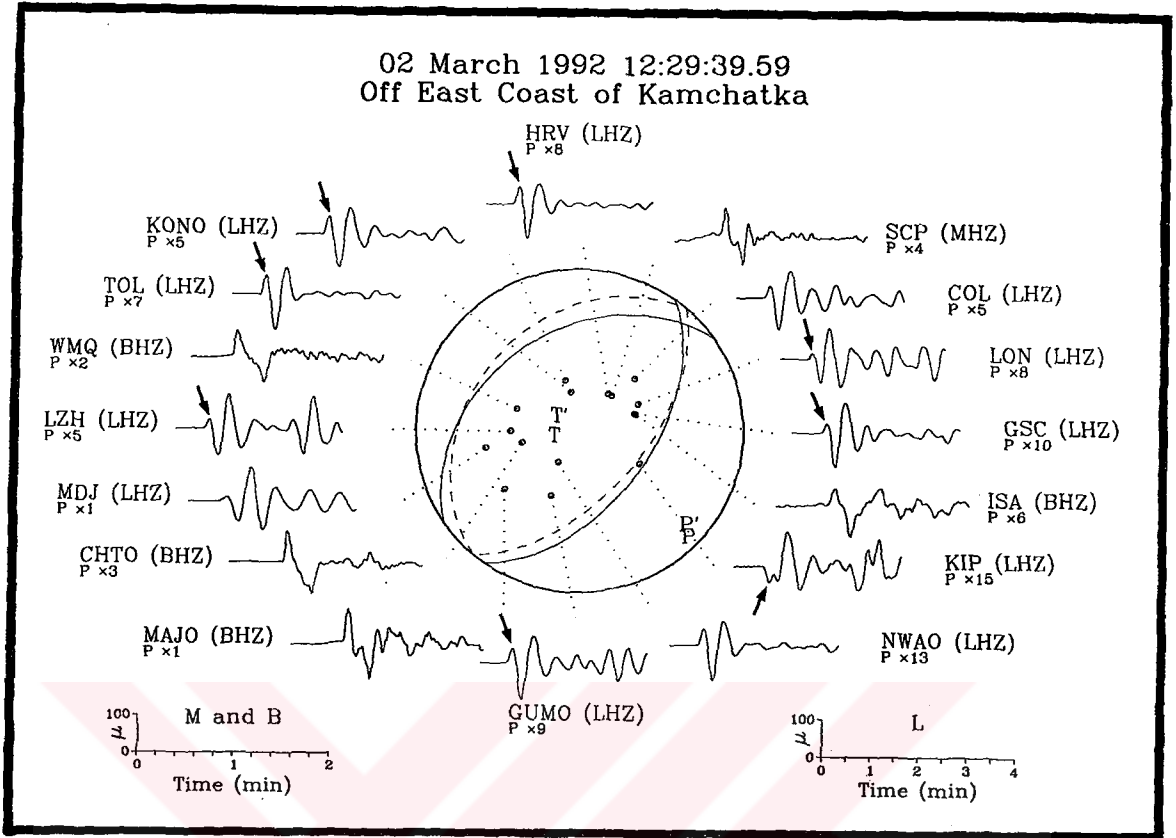
NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= .7343E-01  
DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 85.  
CLVD YÜZDESİ= % 15.

EK-E'de sırf deviyatrik moment tansörü karakterize eden bir kompleks kaynak verilir. Bunun Ek-D'den farkı izotropik bileşen içermemesidir. Dolayısıyla 5 adet elementer kaynaktan oluşur ve % 51 DC, % 49 CLVD olan bir kaynağı sergiler.

EK-F, doğrultu atımlı ve sağ yönlü fayı % 75, eğim atımlı normal fayı % 25 katkı sağlayan çek-ayır türü (Pull-a-Part) bir tektonik yapının moment tansör elemanlarıyla ifadesidir (Şekil 6.6). İlgili fayların yönelim parametreleri EK-F'de verilir. Bu tür bir yapının % 44 DC, % 56 CLVD olduğu elde edilen kompleks moment tansörün analizinden anlaşılmaktadır (EK-F). Yani bu tür tektonik yapılar da ikili kuvvet-çifti değildir. Demek ki çek-ayır türü bir tektonik yapıyı oluşturan sözkonusu 2 tür fay kendi başlarına ayrı ayrı %100 DC olmalarına rağmen (EK-G, EK-H), birlikte böyle



**Şekil 6.5** 02 Mart 1992 Kamchatka depremine ait Fay düzlemi çözümü ve dalga şekilleri (BISC, 1992, March; s.330). Siyah oklar, doğrusal moment tansör ters çözümünde kullanılan istasyonlardaki ilk hareket genliklerini gösterir.

bir tektonik yapıyı oluşturunca meydana gelen yeni kuvvet dağılımı bambaşka bir özellik gösterir.

Ek-I ise bir listrik fayın (Şekil 6.7) moment tansör ile tanımını sergiler. Bunun için eğimleri derine doğru azalan 3 adet normal fay kullanılmıştır. Bu elementer fayların yönelim parametreleri EK-I'da verilir. Yapılan moment tansör analizinden bu tür bir faylanmanın % 100 DC olduğu görülür (EK-I). Fakat bu, sadece eğimin dikkate alındığı geometriye dayanan sonuçtur.

## 6.2. ÇÖZÜM DUYARLILIĞI

Telesismik cisim dalgalarıyla dalga şekli ters çözümü, verilen başlangıç modeline göre yinelemeli (iteratif) bir çözümle ulaşılan en küçük hatanın elde edildiği

**Tablo 6.13** Şekil 6.5'deki dalga şekillerinden yapılan doğrusal moment tansör ters çözümü özet sonuçları.

ÇÖZÜM TEKNİĞİ= SÖNÜMLÜ EN KÜÇÜK KARELER  
\*\*\*\*\*

İstasyon Sayısı= 8

SÖNÜM PARAMETRESİ(bta)= 0.10000000E-29

İTERASYON SAYISI= 15

ÇÖZEN bta SAYISI= 15

GÖZLEMLERDEKİ MUTLAK HATA= 82.845

GÖZLEMLERDEKİ BAĞIL HATA = 0.45548

ÇÖZÜM VEKTÖRÜNÜN BAĞIL HATASI = 0.19689E-03

BAĞIL HATANIN ÜST SINIRI = 241.17

BAĞIL HATANIN ALT SINIRI = 0.19689E-03

DURUM GÖSTERGE KATSAYISI = 59404.

AYIRIMLILIK (Resolution) MATRİSİ :

\*\*\*\*\*

|         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.98045 | 0.89650 | 0.44692 | 0.10113 | 0.85888 | 0.54283 |
| 0.69891 | 0.47434 |         |         |         |         |

ÖLÇEK(scale)= 10\*\* 19

\*\*\*\*\*

MOMENT TANSÖR :

\*\*\*\*\*

Mxx= -2.069

Myy= 0.1015E-03

Mzz= 2.068

Mxy= -1.053

Mxz= -0.7583E-04

Myz= 0.3981E-03

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

1. (T) ÖZDEĞER= 2.068 DALIM= 90 drc AZM= 108 drc

2. (B) ÖZDEĞER= 0.4417 DALIM= 0 drc AZM= 293 drc

3. (P) ÖZDEĞER= -2.511 DALIM= 0 drc AZM= 203 drc

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 2.289

NP1: DOĞRULTU= 113 drc EĞİM= 45 drc KAYMA= 90 drc

NP2: DOĞRULTU= 293 drc EĞİM= 45 drc KAYMA= 90 drc

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= -0.8984E-03

MONOPOLE YÜZDESİ= % 0.0

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 64.7

CLVD YÜZDESİ= % 35.3

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

\*\*\*\*\*

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= 0.1761

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 65.

CLVD YÜZDESİ= % 35.

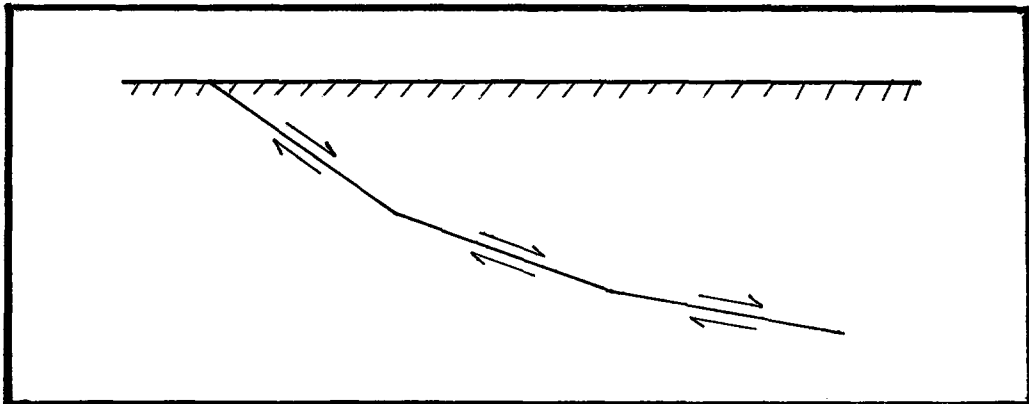






**Tablo 6.15** 02 Mart 1992 Kamchatka depremi için HRVD tarafından kestirilen moment tansörün DECOM1 ile yapılan analizinden elde edilen özet sonuçlar.

|                                                                       |           |         |        |        |               |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|---------|--------|--------|---------------|
| "02.03.1992 Kamchatka" OLAYININ M O M E N T T A N S Ö R A N A L İ Z İ |           |         |        |        |               |
| *****                                                                 |           |         |        |        |               |
| MOMENT TANSÖR : (HRVD)                                                |           |         |        |        |               |
| *****                                                                 |           |         |        |        |               |
| Mrr=                                                                  | 2.010     | Mtt=    | -.7400 | Mff=   | -1.260        |
| Mrt=                                                                  | .8800     | Mrf=    | .9400  | Mtf=   | -.8200        |
| F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :                                     |           |         |        |        |               |
| *****                                                                 |           |         |        |        |               |
| ASAL EKSENLER;                                                        |           |         |        |        |               |
| 1.(T)                                                                 | ÖZDEĞER=  | 2.403   | DALIM= | 73 drc | AZM= 318 drc  |
| 2.(B)                                                                 | ÖZDEĞER=  | -.1475  | DALIM= | 3 drc  | AZM= 218 drc  |
| 3.(P)                                                                 | ÖZDEĞER=  | -2.245  | DALIM= | 17 drc | AZM= 127 drc  |
| ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 2.324                                        |           |         |        |        |               |
| NP1:                                                                  | DOĞRULTU= | 40 drc  | EĞİM=  | 62 drc | KAYMA= 93 drc |
| NP2:                                                                  | DOĞRULTU= | 213 drc | EĞİM=  | 28 drc | KAYMA= 84 drc |
| KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;                                   |           |         |        |        |               |
| *****                                                                 |           |         |        |        |               |
| ÖZDEĞERLER TOPLAMI= .1000E-01                                         |           |         |        |        |               |
| MONOPOLE YÜZDESİ= % .3                                                |           |         |        |        |               |
| DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 87.1                                         |           |         |        |        |               |
| CLVD YÜZDESİ= % 12.6                                                  |           |         |        |        |               |
| NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;                                    |           |         |        |        |               |
| *****                                                                 |           |         |        |        |               |
| TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= .6285E-01                       |           |         |        |        |               |
| DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 87.                                          |           |         |        |        |               |
| CLVD YÜZDESİ= % 13.                                                   |           |         |        |        |               |



**Şekil 6.7** Bir listrik fayın, sismolojik modelleme amaçlı şematik görünümü.

**Tablo 6.16** 02 Mart 1992 Kamchatka depremi için NEIC tarafından kestirilen moment tansörün DECOM1 ile yapılan analizinden elde edilen özet sonuçlar.

|                                                                       |           |         |        |        |                |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|---------|--------|--------|----------------|
| "02.03.1992 Kamchatka" OLAYININ M O M E N T T A N S Ö R A N A L İ Z İ |           |         |        |        |                |
| *****                                                                 |           |         |        |        |                |
| MOMENT TANSÖR : (NEIC)                                                |           |         |        |        |                |
| *****                                                                 |           |         |        |        |                |
| Mrr=                                                                  | 2.130     | Mtt=    | -1.000 | Mff=   | -1.130         |
| Mrt=                                                                  | .2700     | Mrf=    | .6800  | Mtf=   | -1.770         |
| F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :                                     |           |         |        |        |                |
| *****                                                                 |           |         |        |        |                |
| ASAL EKSENLER;                                                        |           |         |        |        |                |
| 1. (T)                                                                | ÖZDEĞER=  | 2.269   | DALIM= | 78 drc | AZM= 261 drc   |
| 2. (B)                                                                | ÖZDEĞER=  | .6581   | DALIM= | 10 drc | AZM= 42 drc    |
| 3. (P)                                                                | ÖZDEĞER=  | -2.927  | DALIM= | 8 drc  | AZM= 133 drc   |
| ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 2.598                                        |           |         |        |        |                |
| NP1:                                                                  | DOĞRULTU= | 35 drc  | EĞİM=  | 53 drc | KAYMA= 78 drc  |
| NP2:                                                                  | DOĞRULTU= | 235 drc | EĞİM=  | 38 drc | KAYMA= 106 drc |
| KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;                                   |           |         |        |        |                |
| *****                                                                 |           |         |        |        |                |
| ÖZDEĞERLER TOPLAMI= .1110E-15                                         |           |         |        |        |                |
| MONOPOLE YÜZDESİ= % .0                                                |           |         |        |        |                |
| DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 55.0                                         |           |         |        |        |                |
| CLVD YÜZDESİ= % 45.0                                                  |           |         |        |        |                |
| NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;                                    |           |         |        |        |                |
| ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^                              |           |         |        |        |                |
| TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= .2248                           |           |         |        |        |                |
| DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 55.                                          |           |         |        |        |                |
| CLVD YÜZDESİ= % 45.                                                   |           |         |        |        |                |

adımdaki çözümdür. Bu, başlangıç modelinin seçimine göre yakınsar yada ıraksar. Dolayısıyla başlangıç modelinin seçimi önemlidir. Bunun için çalışılan bölgenin özelliklerine, varılmak istenen sonuca ve daha önceki mevcut çalışmalara göre isabetli bir seçim yapılmaya çalışılır. Çözüm sonucunda da kestirilen parametreler standart hatalarıyla birlikte verilir.

Lineer Moment Tansör Ters Çözümü ve tansör ayrışımını yapan SMTIN yazılımında ise yapılan çözümün duyarlılığını denetlemek için iki yaklaşım kullanılmıştır (EK-A).

- Ayrırlılık matrisinin hesaplanması
- Gerçekleşebilir hata hesabı

Bu çalışmada kullanılan depremlere ait ters çözümler, sözkonusu işlemlerle denetlenmiştir. Buna göre, depremlere ait çözüm performansları Tablo 6.17’de verilmektedir.

Tablo 6.17’den de görüldüğü gibi tüm çözümlerde aşırı tanımlı (over determined) bir denklem takımı çözülmüştür. Her çözüm, kısıtsız EKK çözüm tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Buna rağmen durum gösterge katsayıları (condition number) büyüktür, fakat çözümü güçleştirecek şekilde de çok büyük değildir. Çözüm vektörlerinin bağıl hataları, gerçekleştirilebilir hata sınırlarının içinde kalmaktadır. 1., 3. ve 4. sıradaki depremlerle ilgili çözümlerde çözüm vektörünün bağıl hatası alt sınıra daha yakın gerçekleşirken, diğerlerinde ise üst sınıra daha yakın gerçekleşmiştir. Fakat üst sınır çok küçüktür, yani gerçekleştirilebilir hata aralığı, oldukça dardır. Bu da her ne kadar istenmese de üst sınıra yakın bir çözüm hatasına bakışı tolere etmektedir. İlgili ayırmalılık matrisleri de bu hata değerleriyle uyum içindedir.

### 6.3. BENZER ÇALIŞMALAR

Burada, bugüne kadar yapılmış olan iki tür çalışmadan söz edilecek: **İlki**, yapılan iş olarak benzer çalışmaların bakılması olacaktır. **İkincisi** ise elde edilen sonuçlar açısından benzer çalışmaların bakılmasıdır.

#### 6.3.1. Türkiye Depremleri İçin Kestirilmiş Moment Tansörler

Bu amaçla, ISC kataloglarında moment tansörü (MT/CMT) verilen Türkiye depremleri tarandı. Bu kapsama, episantrı Türkiye’de olanların yanı sıra Ege Denizi’nde ve Akdeniz’de olanlar da dahil edildi. Sözkonusu katalogların Türkiye’ye ulaştığı en son sayısı itibarıyla, bu kataloglar üzerinde yapılan tarama sonucunda moment tansörü de verilmiş 36 adet depreme rastlanmıştır. Süreç olarak, “1980 - Ocak1994” zaman dilimine karşılık gelir. 1980 öncesinde ise henüz moment tansör ters çözüm yöntemlerinin yaygın olmamasından dolayı birşey yoktur. İlgili depremlerin bazılarında hem HRVD hem de NEIC tarafından yapılmış çözümler verildiğinden, bunlarda, HRVD’ın yani CMT çözümleri kullanılmıştır. Eldeki bu sayıya, moment tansör çözümleri özel olarak edinilmiş, yakın tarihli, 01.10.1995 ve 05.12.1995 depremleri de eklenerek toplam 38 adet depreme ulaşılmıştır. Bunların 29 tanesi

Türkiye (sınırlar dahil), 7 tanesi Ege Denizi, 2 tanesi Akdeniz depremleridir. Tablo 6.18, bu depremleri verir.

Adı geçen 38 deprem, DECOM1 adlı bilgisayar programıyla analiz edilmiştir. Bu analiz ile, her depreme ait moment tansörler eşdeğer kuvvet bileşenlerine ayrıştırılmış ve en iyi ikili kuvvet-çifti çözümlerine göre fay düzlemi çözümleri elde edilmiştir. Ayrıca, ayrıştırma işlemleriyle, eşdeğer kuvvet bileşenlerinin kaynaktaki katkı oranları belirlenmiştir. Bunlardan, 13 Mart 1992 Erzincan depremi için HRVD tarafından kestirilen moment tansörün analiz sonuçlarının tamamı bilgisayar çıktısı olarak EK-J'de verilmektedir. Diğerleri de bunun gibidir. Burada hesaplanan fay düzlemi çözümleriyle, ilgili katalogta verilen fay düzlemi çözümlerinin aynı olduğu görülmüştür (bkz:Tablo 6.10, EK-J). Saptanan katkı yüzdelerini sergileyen episantr dağılım haritası Şekil 6.8'te verilmektedir.

Şekil 6.8'deki haritaya bakıldığında, sözkonusu depremlerin %79'unun ikili kuvvet-çifti (DC) dominat bir kaynağa sahip olduğu, %21'inin ise CLVD dominant bir kaynağa sahip olduğu görülür. Ayrıca, %20 ve üzerinde CLVD bileşeni içeren deprem %53, kalanlar ise %47'dir.

### 6.3.2. Benzer Sonuçlara Örnekler

Fitch ve diğ. (1980,1981)'nin bu konuda yaptığı çalışmalar, sonuçları açısından oldukça çarpıcıdır. Bunlara bakıldığında bu doktora tezinde bulunan sonuçlara benzer sonuçlar görülür (Tablo 6.19, Tablo 6.20, Tablo 6.21, Tablo 6.22, Tablo 6.23). Bu sonuçlarda, %71'lere varan CLVD bileşenlerine rastlanır (Tablo 6.21).

Tablo 6.17 Doğrusal Moment Tansör Ters Çözümleri İçin Çözüm Duyarlılıkları.

| Sayı | Deprem     | Gözlem Sayısı | Bilinmeyen Sayısı | Çözüm Tekniği   | Durum Gösterge Katsayısı* ( $\times 10^6$ ) | Bağıl Hata Alt Sınırı** | Çözüm Vektörünün Bağıl Hatası | Bağıl Hata Üst Sınırı** | Ayrırlılık Matrisinin Esas Köşegen Elemanları                                                              |
|------|------------|---------------|-------------------|-----------------|---------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | 14.06.1964 | 8             | 6                 | Kısıtsız E.K.K. | 0.72                                        | $0.13 \times 10^{-7}$   | 1.094                         | 4.50                    | 0.17,0.98,0.79,0.82,0.26,0.54,0.51,0.84                                                                    |
| 2    | 25.03.1969 | 11            | 6                 | Kısıtsız E.K.K. | 0.13                                        | 0.34                    | 0.901                         | 0.91                    | 0.55,0.02,0.22,0.36,0.28,0.25,0.03,0.54,0.91,1.05,0.24                                                     |
| 3    | 28.03.1969 | 21            | 6                 | Kısıtsız E.K.K. | 6.87                                        | $0.67 \times 10^{-9}$   | 0.999                         | 67.43                   | 0.004,0.01,0.13,0.64,0.004,0.15,0.24,0.26,0.02,0.57,0.40,0.01,0.17,0.42,0.03,0.03,0.41,0.60,0.59,0.05,0.16 |
| 4    | 06.04.1969 | 7             | 6                 | Kısıtsız E.K.K. | 7.82                                        | 0.44                    | 0.551                         | 18005.00                | 0.72,0.67,0.63,0.24,0.95,1.00,0.17                                                                         |
| 5    | 28.03.1970 | 15            | 6                 | Kısıtsız E.K.K. | 0.15                                        | $0.51 \times 10^{-10}$  | 0.327                         | 0.33                    | 0.09,0.01,1.28,1.08,0.02,0.01,0.95,0.05,0.08,0.03,0.008,0.35,0.09,0.85,0.61                                |
| 6    | 22.05.1971 | 16            | 6                 | Kısıtsız E.K.K. | 0.16                                        | $0.44 \times 10^{-2}$   | 0.778                         | 0.78                    | 0.05,0.003,0.03,0.34,0.29,1.25,0.005,0.005,0.50,0.08,0.03,0.81,0.03,0.54,0.47,0.21                         |

\* Condition Number

\*\* Bağıl Hatanın Gerçekleşebilir Alt/Üst Sınırı

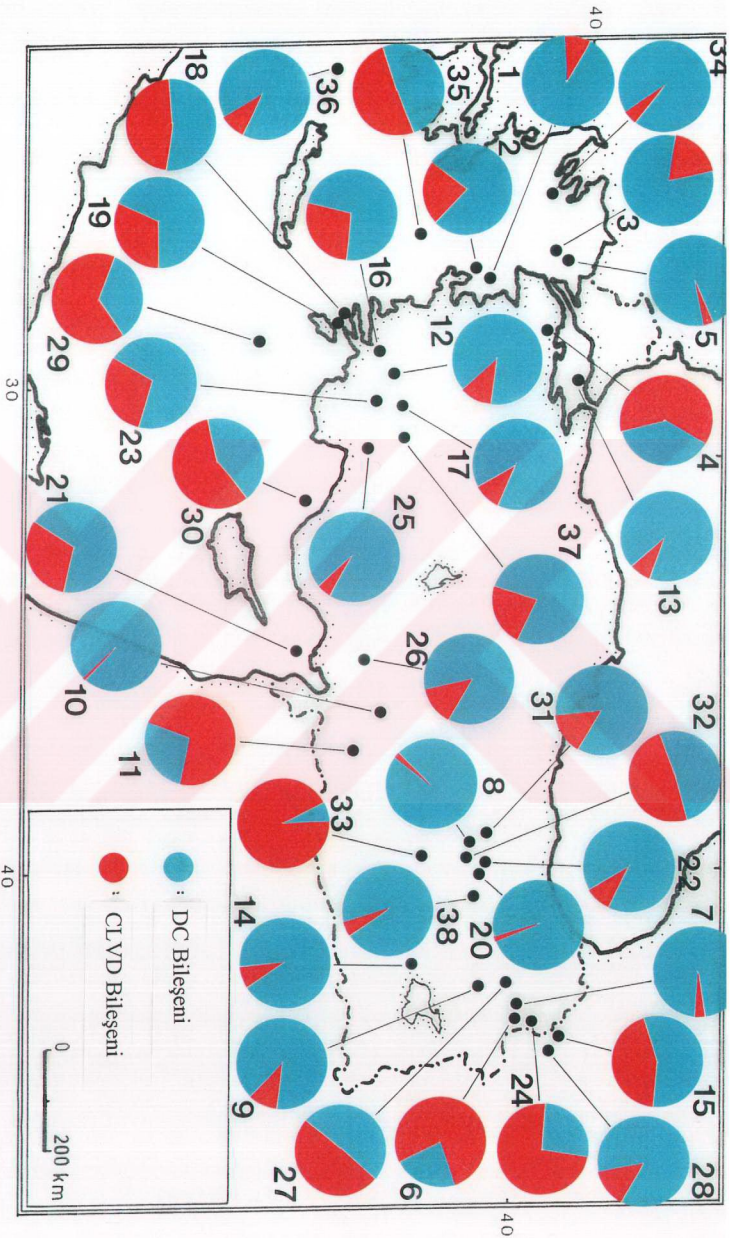
**Tablo 6.18** ISC kataloglarında moment tansörü verilen, 1980-Ocak1994 sürecine ait Türkiye, Ege Denizi ve Akdeniz depremleri ile 01.10.1995 ve 05.12.1995 depreminin kronolojik listesi.

| Sıra No. | Tarih (Gün Ay Yıl) | Oluş zamanı (sa dk sn) | Yer Enlem K (°) | Boylam D (°) | m <sub>b</sub> | Çözüm Türü | Çözümün Kaynağı |
|----------|--------------------|------------------------|-----------------|--------------|----------------|------------|-----------------|
| 1        | 19.12.1981         | 14 10 51.1             | 39.220          | 25.250       | 6.0            | CMT        | HRVD            |
| 2        | 27.12.1981         | 17 39 13.3             | 38.910          | 24.920       | 5.4            | CMT        | HRVD            |
| 3        | 18.01.1982         | 19 27 25.0             | 39.960          | 24.390       | 5.8            | CMT        | HRVD            |
| 4        | 05.07.1983         | 12 01 27.0             | 40.330          | 27.210       | 5.5            | CMT        | HRVD            |
| 5        | 06.08.1983         | 15 43 51.9             | 40.140          | 24.740       | 6.0            | CMT        | HRVD            |
| 6        | 30.10.1983         | 04 12 27.1             | 40.330          | 42.187       | 6.1            | CMT        | HRVD            |
| 7        | 30.10.1983         | 12 40 22.8             | 40.337          | 42.171       | 5.3            | CMT        | HRVD            |
| 8        | 18.11.1983         | 01 15 37.5             | 39.790          | 39.430       | 5.0            | CMT        | HRVD            |
| 9        | 07.11.1985         | 08 26 21.7             | 40.370          | 42.290       | 5.1            | CMT        | HRVD            |
| 10       | 05.05.1986         | 03 35 38.0             | 38.020          | 37.790       | 5.7            | CMT, MT    | HRVD, NEIC      |
| 11       | 06.06.1986         | 10 39 47.0             | 38.010          | 39.910       | 5.5            | CMT        | HRVD            |
| 12       | 11.10.1986         | 09 00 10.9             | 37.940          | 28.560       | 5.4            | CMT        | HRVD            |
| 13       | 24.04.1988         | 20 49 33.3             | 40.880          | 28.240       | 5.0            | CMT        | HRVD            |
| 14       | 25.06.1988         | 16 15 38.3             | 38.500          | 43.070       | 5.3            | CMT        | HRVD            |
| 15       | 07.12.1988         | 07 41 24.3             | 40.960          | 44.160       | 6.0            | CMT, MT    | HRVD, NEIC      |
| 16       | 19.02.1989         | 14 28 45.7             | 36.980          | 28.200       | 4.8            | CMT        | HRVD            |
| 17       | 24.02.1989         | 00 40 34.4             | 37.730          | 29.330       | 5.0            | CMT        | HRVD            |
| 18       | 27.04.1989         | 23 06 52.3             | 37.040          | 28.170       | 5.3            | CMT        | HRVD            |
| 19       | 28.04.1989         | 13 30 19.8             | 37.030          | 28.110       | 5.1            | CMT        | HRVD            |
| 20       | 20.05.1989         | 20 44 02.2             | 39.590          | 40.180       | 5.0            | CMT        | HRVD            |
| 21       | 24.06.1989         | 03 09 58.3             | 36.710          | 35.930       | 4.9            | CMT        | HRVD            |
| 22       | 20.04.1990         | 23 30 05.1             | 40.120          | 40.070       | 5.0            | CMT        | HRVD            |
| 23       | 18.07.1990         | 11 29 26.2             | 37.000          | 29.570       | 5.1            | CMT        | HRVD            |
| 24       | 16.12.1990         | 15 45 40.3             | 41.370          | 43.720       | 5.2            | CMT        | HRVD            |
| 25       | 11.03.1991         | 18 33 43.3             | 37.010          | 30.960       | 5.2            | CMT        | HRVD            |
| 26       | 10.04.1991         | 01 08 42.9             | 37.310          | 36.140       | 5.2            | CMT        | HRVD            |
| 27       | 03.06.1991         | 10 22 41.4             | 40.070          | 42.850       | 5.0            | CMT        | HRVD            |

**Tablo 6.18 (Devamı)**

|    |            |            |        |        |     |         |            |
|----|------------|------------|--------|--------|-----|---------|------------|
| 28 | 06.10.1991 | 01 46 45.3 | 41.150 | 43.450 | 4.9 | CMT     | HRVD       |
| 29 | 18.10.1991 | 14 04 55.8 | 35.760 | 28.460 | 5.2 | CMT     | HRVD       |
| 30 | 05.12.1991 | 20 21 55.3 | 36.130 | 31.790 | 5.0 | CMT     | HRVD       |
| 31 | 13.03.1992 | 17 18 39.4 | 39.720 | 39.630 | 6.1 | CMT, MT | HRVD, NEIC |
| 32 | 15.03.1992 | 16 16 25.3 | 39.530 | 39.930 | 5.4 | CMT     | HRVD       |
| 33 | 07.05.1992 | 19 15 05.4 | 38.660 | 40.090 | 4.9 | CMT     | HRVD       |
| 34 | 23.07.1992 | 20 12 44.6 | 39.860 | 24.380 | 5.1 | CMT     | HRVD       |
| 35 | 06.11.1992 | 19 08 09.5 | 38.110 | 26.960 | 5.5 | CMT, MT | HRVD, NEIC |
| 36 | 21.11.1992 | 05 07 21.3 | 35.860 | 22.510 | 6.0 | CMT, MT | HRVD, NEIC |
| 37 | 01.10.1995 | 15 57 15.9 | 38.031 | 30.147 | 5.9 | MT      | NEIC       |
| 38 | 05.12.1995 | 18 49 31.7 | 39.191 | 40.410 | 5.6 | MT      | NEIC       |





**Şekil 6.8** Türkiye ve çevresindeki, 1980 - Ocak 1994 sürecine ait depremler için kaynağı oluşturan eğdeğer kuvvetlerin katkı oranlarını sergileyen episantr dağılım haritası. Sıyah noktalar, deprem episantrlarını gösterir. Rakamlar, ilgili episantr noktasına ait depremin Tablo 6.18'deki sıra numarasıdır.



Tablo 6.19 Fitch ve diğ. (1981)'den sonuçlar. Sayfa: 9362, Tablo 2

TABLE 1. Locations of Foreshock and Major Aftershocks

|                             | Date, 1977 | Time, UT  | From ISC |           |              | Polar Angle, deg | Length, km | Depth Below Seafloor, km        |                                   |
|-----------------------------|------------|-----------|----------|-----------|--------------|------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                             |            |           | Latitude | Longitude | Azimuth, deg |                  |            | Directly From Waveform Analysis | Indirectly Via Relative Locations |
| Master (aftershock)         | Sept. 23   | 0557:55.8 | 11.29°S  | 118.10°E  | 54.7         | 105.9            | 32.9       | 24                              | ...                               |
| Foreshock                   | Aug. 19    | 0508:43.6 |          |           | 54.7         | 96.7             | 34.2       | 14                              | 16                                |
| Mainshock                   | Aug. 19    | 0608:54.8 |          |           |              |                  |            | 20                              | 20                                |
| Master (aftershock)         | Aug. 25    | 1805:11.9 | 10.88°S  | 119.26°E  | 290.5        | 75.9             | 9.5        | 11                              | ...                               |
| Aftershock                  | Aug. 19    | 1323:36.5 |          |           | 308.8        | 114.9            | 15.0       |                                 | 13                                |
| Aftershock                  | Aug. 19    | 1938:59.3 |          |           | 237.2        | 103.2            | 9.6        |                                 | 5                                 |
| Aftershock                  | Aug. 19    | 2020:19.6 |          |           | 291.2        | 145.5            | 9.6        |                                 | 9                                 |
| Aftershock                  | Aug. 19    | 2135:03.4 |          |           | 225.2        | 92.7             | 35.5       | 15                              | 3                                 |
| Aftershock                  | Aug. 20    | 1916:32.6 |          |           | 28.2         | 72.9             | 8.3        |                                 | 9                                 |
| Aftershock                  | Aug. 26    | 0826:36.5 |          |           | 230.2        | 91.6             | 32.9       | 7                               | 13                                |
| Aftershock                  | Sept. 2    | 1036:32.5 |          |           |              |                  |            | 12                              | 10                                |
| Master (delayed aftershock) | Oct. 7     | 1210:43.3 | 9.99°S   | 117.29°E  | 336.3        | 98.8             | 11.6       |                                 | ...                               |
| Delayed aftershock          | Oct. 7     | 1736:46.3 |          |           | 251.7        | 103.8            | 5.8        |                                 | 10                                |
| Delayed aftershock          | Oct. 7     | 2136:11.4 |          |           | 305.7        | 84.9             | 29.5       |                                 | 11                                |
| Delayed aftershock          | Oct. 16    | 2109:18.2 |          |           |              |                  |            | 12                              | ...                               |

Standard errors in the azimuth, polar angle, and length are in the ranges 1° to 5°, 3° to 10° and 3 to 5 km, respectively, from 130 to 200 differential arrival times. Downward vertical corresponds to polar angle of 0°.

TABLE 2. P Wave Solutions

| Event | Date, 1977 | Origin Time, UT | Rise, s | Fall, s | Plateau, s | $M_{xx}^*$ | $M_{yy}^*$ | $M_{zz}^*$ | $M_{xy}^*$ | $M_{yz}^*$ | $M_{zx}^*$ | Monopole | Double Couple | CLVD |
|-------|------------|-----------------|---------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|---------------|------|
| 1     | Aug. 19    | 0508:41.6       | 1.5     | 1.5     | 0.0        | 0.363      | 0.140      | 0.057      | -0.006     | 0.093      | -0.238     | 9        | 57            | 34   |
| 2     | Aug. 20    | 1916:32.7       | 2.0     | 2.0     | 0.0        | 3.721      | -1.515     | 1.540      | -0.434     | 1.186      | -1.659     | 12       | 74            | 14   |
| 3     | Aug. 25    | 1805:10.8       | 3.0     | 4.0     | 0.0        | 4.032      | 1.954      | -0.205     | -2.457     | 2.907      | -3.382     | 10       | 82            | 8    |
| 4     | Sept. 2    | 1036:28.3       | 2.0     | 2.0     | 0.0        | 2.750      | 0.910      | -0.041     | -0.361     | 0.839      | -2.728     | 5        | 76            | 19   |
| 5     | Sept. 23   | 0557:55.6       | 1.5     | 1.5     | 0.0        | 0.540      | -0.431     | 0.260      | 0.603      | 0.176      | -0.675     | 14       | 70            | 16   |
| 6     | Oct. 7     | 1210:43.7       | 2.0     | 2.0     | 2.0        | -3.043     | -1.787     | -0.998     | 4.753      | -0.582     | -0.582     | 10       | 75            | 15   |
| 7     | Oct. 16    | 2109:17.7       | 2.0     | 2.0     | 0.5        | -1.215     | 0.117      | -0.384     | 1.692      | -0.387     | -0.106     | 7        | 70            | 23   |

\* In units  $\times 10^{-25}$  dyn cm.

Tablo 6.20 Fitch ve diğ. (1981)'den sonuçlar. Sayfa: 9367, Tablo 4.

body and surface wave techniques and data coverage are more worrisome than the uniqueness problem in the surface wave inversions.

For the delayed aftershocks, all of which have predominantly strike slip mechanisms, the Rayleigh wave inversions generate inner product matrices whose small eigenvalues pertain to the dip slip components  $M_{xz}$  and  $M_{yz}$ . A condition number of 0.10 has the effect of zeroing the dip slip

A comparison of the  $P$  wave and the Rayleigh wave moment tensors listed in Tables 2, 4, and 5 show that the larger of the well-resolved components agree within a factor of 2 except for the larger aftershock on August 20. For this earthquake, the body wave moment is the smaller by a factor of 2 to 5. A trade-off between the width of the time function and the source depth may account for part of this discrepancy. Be-

TABLE 4. Unconditioned Rayleigh Wave Solutions

| Event | $M_{xx}^*$ | $M_{xy}$ | $M_{xz}$ | $M_{yy}$ | $M_{yz}$ | Double Couple, % | CLVD, % | Root Mean Square |                |       |
|-------|------------|----------|----------|----------|----------|------------------|---------|------------------|----------------|-------|
|       |            |          |          |          |          |                  |         | Data, nm s       | Residual, nm s | Ratio |
| 1     | 0.279      | -0.085   | 0.268    | -0.038   | 0.062    | 90               | 10      | 5,144            | 3,555          | 0.69  |
| 2     | 6.469      | 0.377    | 8.545    | -3.132   | 5.566    | 84               | 16      | 124,224          | 71,747         | 0.58  |
| 3     | 2.970      | 2.174    | 0.748    | -1.804   | 6.477    | 56               | 44      | 68,827           | 39,668         | 0.58  |
| 4     | 2.027      | 0.032    | 4.006    | -0.653   | 2.251    | 96               | 4       | 41,765           | 24,268         | 0.58  |
| 5     | 0.045      | -0.470   | 0.316    | -0.135   | -0.033   | 97               | 3       | 7,314            | 5,043          | 0.69  |
| 6     | -5.946     | -2.487   | -6.062   | 3.635    | -5.649   | 67               | 33      | 102,617          | 61,776         | 0.60  |
| 7     | -2.287     | -0.132   | 0.401    | 1.948    | -0.668   | 88               | 12      | 28,067           | 11,147         | 0.40  |

Passband 44 to 95 s sampled 13 times with instrument effect removed. Refer to Table 2 for dates and origin times.

\*  $M_{xz} = -(M_{xx} + M_{yy})$ .

Tablo 6.21 Fitch ve diğ. (1981)'den sonuçlar. Sayfa: 9368, Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7.

9368

FITCH ET AL.: DEPTHS AND MOMENT TENSORS FOR GREAT SUMBA QUAKES

TABLE 5. Conditioned Rayleigh Wave Solutions

| Event | Condition Number | $M_{xx}^*$ | $M_{xy}$ | $M_{xx}$ | $M_{yy}$ | $M_{yz}$ | Double Couple, % | CLVD, % | Root Mean Square |                |       |
|-------|------------------|------------|----------|----------|----------|----------|------------------|---------|------------------|----------------|-------|
|       |                  |            |          |          |          |          |                  |         | Data, nm s       | Residual, nm s | Ratio |
| 1     | 0.05             | 0.279      | -0.085   | 0.268    | -0.038   | 0.062    | 90               | 10      | 5,144            | 3,555          | 0.69  |
| 2     | 0.05             | 6.400      | -1.403   | 8.372    | (-0.931) | (5.816)  | 72               | 27      | 124,224          | 72,576         | 0.58  |
| 3     | 0.05             | 2.174      | 0.644    | 2.929    | (0.976)  | (1.214)  | 70               | 30      | 68,827           | 45,076         | 0.66  |
| 4     | 0.05             | 2.027      | 0.032    | 4.114    | -0.653   | (2.032)  | 92               | 8       | 41,765           | 24,286         | 0.58  |
| 5     | 0.05             | 0.045      | -0.470   | 0.316    | -0.135   | -0.033   | 97               | 3       | 7,314            | 5,043          | 0.69  |
| 6     | 0.10             | -5.946     | -2.487   | (0.000)  | 3.635    | (0.000)  | 29               | 71      | 102,617          | 73,103         | 0.71  |
| 7     | 0.10             | -2.287     | -0.132   | (0.000)  | 1.948    | (0.000)  | 70               | 30      | 28,067           | 11,518         | 0.41  |

Passband 44 to 95 s sampled 13 times with instrument effect removed. Refer to Table 2 for dates and origin times. Components in parentheses are resolved to less than 50%.

\*  $M_{xx} = -(M_{xx} + M_{yy})$ .

TABLE 6. Unconditioned Rayleigh Wave Solutions

| Event | Date, 1977 | Origin Time, UT | $M_{xx}^*$ | $M_{xy}$ | $M_{xx}$ | $M_{yy}$ | $M_{yz}$ | Double Couple, % | CLVD, % | Root Mean Square |                |       |
|-------|------------|-----------------|------------|----------|----------|----------|----------|------------------|---------|------------------|----------------|-------|
|       |            |                 |            |          |          |          |          |                  |         | Data, nm s       | Residual, nm s | Ratio |
| 8     | Aug. 19    | 1323:37.0       | 1.774      | 1.163    | 1.163    | -1.647   | 2.884    | 94               | 6       | 36,059           | 23,880         | 0.66  |
| 9     | Aug. 19    | 1938:59.7       | 0.722      | 0.482    | 0.610    | -0.678   | 0.679    | 63               | 37      | 12,981           | 7,593          | 0.58  |
| 10    | Aug. 20    | 0921:50.3       | 1.686      | 0.092    | 3.359    | -0.318   | 0.927    | 88               | 12      | 37,562           | 23,788         | 0.63  |
| 11    | Aug. 26    | 0826:32.5       | 1.220      | 0.647    | -0.021   | -0.844   | 1.957    | 31               | 68      | 22,828           | 11,806         | 0.52  |
| 12    | Sept. 7    | 0119:23.5       | 0.177      | 0.038    | 0.731    | -0.057   | 0.201    | 96               | 4       | 3,738            | 2,148          | 0.58  |
| 13    | Sept. 25   | 1831:39.1       | 0.118      | 0.060    | 0.119    | -0.039   | 0.082    | 54               | 46      | 2,676            | 1,745          | 0.65  |
| 14    | Oct. 7     | 0445:43.2       | -1.167     | -0.244   | -1.060   | 0.831    | -1.136   | 89               | 11      | 18,587           | 10,291         | 0.58  |
| 15    | Oct. 7     | 1701:13.2       | -0.707     | -0.263   | -0.879   | 0.008    | -0.812   | 73               | 27      | 14,795           | 10,690         | 0.72  |
| 16    | Oct. 7     | 1736:46.2       | -1.060     | -0.467   | -0.527   | 0.641    | -1.172   | 86               | 14      | 18,166           | 9,690          | 0.53  |
| 17    | Oct. 7     | 2136:11.3       | -0.419     | -0.315   | -0.877   | 0.360    | -0.911   | 66               | 34      | 12,104           | 8,262          | 0.68  |

Passband 44 to 97 s sampled 13 times with instrument effect removed.

\*  $M_{xx} = -(M_{xx} + M_{yy})$ .

TABLE 7. Conditioned Rayleigh Wave Solutions

| Event | Condition Number | $M_{xx}^*$ | $M_{xy}$ | $M_{xx}$ | $M_{yy}$ | $M_{yz}$ | Double Couple, % | CLVD, % | Root Mean Square |                |       |
|-------|------------------|------------|----------|----------|----------|----------|------------------|---------|------------------|----------------|-------|
|       |                  |            |          |          |          |          |                  |         | Data, nm s       | Residual, nm s | Ratio |
| 8     | 0.05             | 0.970      | 0.070    | 2.294    | (0.415)  | (1.437)  | 69               | 31      | 36,059           | 26,582         | 0.72  |
| 9     | 0.05             | 0.405      | 0.051    | 0.744    | (0.185)  | (0.466)  | 65               | 35      | 12,981           | 8,679          | 0.67  |
| 10    | 0.05             | 1.686      | 0.092    | 2.516    | -0.318   | (1.992)  | 87               | 13      | 37,562           | 24,180         | 0.65  |
| 11    | 0.05             | 0.899      | 0.032    | 0.676    | (0.275)  | (0.281)  | 58               | 42      | 22,828           | 14,030         | 0.62  |
| 12    | 0.05             | 0.177      | 0.038    | 0.269    | -0.057   | (0.091)  | 67               | 32      | 3,738            | 2,184          | 0.58  |
| 13    | 0.05             | 0.118      | 0.060    | 0.132    | -0.039   | (0.040)  | 43               | 57      | 2,676            | 1,751          | 0.06  |
| 14    | 0.10             | -1.167     | -0.244   | (0.000)  | 0.831    | (0.000)  | 44               | 56      | 18,587           | 13,004         | 0.70  |
| 15    | 0.10             | -0.707     | -0.263   | (0.000)  | 0.608    | (0.000)  | 74               | 26      | 14,795           | 12,097         | 0.82  |
| 16    | 0.10             | -1.060     | -0.467   | (0.000)  | 0.641    | (0.000)  | 29               | 71      | 18,166           | 11,277         | 0.62  |
| 17    | 0.10             | -0.419     | -0.315   | (0.000)  | 0.360    | (0.000)  | 78               | 22      | 12,104           | 10,163         | 0.51  |

Passband 44 to 97 s sampled 13 times with instrument effect removed. Refer to Table 6 for dates and origin times. Components in parentheses are resolved to less than 50%.

\*  $M_{xx} = -(M_{xx} + M_{yy})$ .

cause this is one of the larger aftershocks, with a total surface wave moment of  $10^{26}$  dyn cm, source finiteness may be required to explain even the largest  $P$  waves. foreshocks of moderate size earthquakes that are too small for any kind of source analysis with the analogue records from the Yamanashi and the Kanto regions. The records from the

TABLE 1. (continued)

| Station        | Phase             | $\Delta$ , deg               | Azimuth, deg | Takeoff*<br>Angle, deg | Vertical<br>Component<br>Far Field |                                               | Residual |
|----------------|-------------------|------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
|                |                   |                              |              |                        | Displacement,<br>microns           | Normalized<br>Displacement on<br>Focal Sphere |          |
| LPS            | 2                 | 31.96                        | 265.4        | 159.3                  | -22.6                              | 0.20                                          | 0.02     |
| LPB            | 2                 | 37.94                        | 198.8        | 160.2                  | -22.4                              | 0.25                                          | 0.03     |
| MDS            | 2                 | 36.64                        | 317.5        | 159.9                  | -48.0                              | 0.51                                          | 0.06     |
| LUB            | 2                 | 42.74                        | 298.4        | 161.0                  | -30.0                              | 0.38                                          | 0.01     |
| BKS            | 2                 | 59.45                        | 302.9        | 163.9                  | -28.8                              | 0.46                                          | 0.07     |
| BOZ            | 2                 | 52.08                        | 312.9        | 162.7                  | -28.6                              | 0.42                                          | 0.00     |
| FLO            | 2                 | 35.05                        | 310.1        | 159.8                  | -41.5                              | 0.42                                          | -0.01    |
| HLW            | 2                 | 78.35                        | 62.4         | 167.1                  | 24.6                               | -0.60                                         | -0.18    |
| DAL            | 2                 | 38.41                        | 298.2        | 160.3                  | -35.7                              | 0.40                                          | 0.03     |
| ATH            | 2                 | 70.33                        | 55.7         | 165.7                  | 9.2                                | -0.18                                         | 0.21     |
| ATL            | 2                 | 28.50                        | 304.2        | 158.8                  | -64.3                              | 0.51                                          | 0.12     |
| NNA            | 2                 | 37.55                        | 214.5        | 160.2                  | -15.8                              | 0.17                                          | 0.00     |
| WIN            | 2                 | 83.00                        | 116.9        | 167.9                  | 7.2                                | -0.22                                         | 0.09     |
| Mean deviation |                   |                              |              |                        |                                    |                                               |          |
|                |                   |                              |              |                        |                                    |                                               |          |
| Phase Key      | Tensor Component† | Poles to P Wave Nodal Planes |              |                        |                                    |                                               |          |
|                |                   | Percentage                   | Azimuth, deg | Plunge, deg            |                                    |                                               |          |
| P 0            | $M_{NN}$ -0.68    | 11.0 monopole                | 1st pole     | 22.2                   |                                    |                                               |          |
| pP 1           | $M_{NE}$ 0.52     | 88.8 double cpl              | 2nd pole     | 11.3                   |                                    |                                               |          |
| sP 2           | $M_{EE}$ 0.78     | 0.2 CLVD                     |              |                        |                                    |                                               |          |
|                | $M_{NZ}$ 0.02     |                              |              |                        |                                    |                                               |          |
|                | $M_{EZ}$ -0.39    |                              |              |                        |                                    |                                               |          |
|                | $M_{ZZ}$ 0.27     |                              |              |                        |                                    |                                               |          |

\*Steepening of takeoff angles explained in text.  
†Multiply by  $0.80 \times 10^{25}$  for dyn cm, includes factor of 2 to account for moment time function with a rise and fall time of 2 s.



Tablo 6.23 Fitch ve diğ. (1980)'den sonuçlar. Sayfa: 3826, Tablo 2.

3826

FITCH ET AL.: SEISMIC MOMENT TENSOR

TABLE 2. Moment Tensor Solution (L1 norm) Bonin Deep Earthquake

| Station                  | Phase | $\Delta$ , deg. | Azimuth, deg. | Takeoff Angle, * deg. | Vertical Component Far Field Displacement, microns $\times 12.5$ † | Normalized Displacement on Focal Sphere | Residual |
|--------------------------|-------|-----------------|---------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| ANMO                     | 0     | 91.42           | 48.6          | 24.6                  | 0.09                                                               | 0.30                                    | 0.56     |
| MAIO                     | 0     | 66.26           | 299.6         | 34.4                  | -0.57                                                              | -1.00                                   | -0.30    |
| SNZO                     | 0     | 76.65           | 153.5         | 30.1                  | -0.14                                                              | -0.28                                   | 0.00     |
| NWAO                     | 0     | 64.57           | 200.7         | 35.0                  | -0.55                                                              | -0.96                                   | -0.51    |
| ANMO                     | 1     | 91.42           | 48.6          | 155.4                 | 0.18                                                               | -0.68                                   | -0.02    |
| SNZO                     | 1     | 76.65           | 153.5         | 149.9                 | 0.19                                                               | -0.45                                   | 0.00     |
| MAIO                     | 1     | 66.26           | 299.6         | 145.6                 | 0.04                                                               | -0.09                                   | -0.02    |
| NWAO                     | 1     | 64.57           | 200.7         | 145.0                 | 0.05                                                               | -0.11                                   | -0.16    |
| MAIO                     | 2     | 66.26           | 299.6         | 162.9                 | 0.65                                                               | -0.34                                   | 0.03     |
| NWAO                     | 2     | 64.57           | 200.7         | 162.6                 | 0.48                                                               | -0.25                                   | 0.23     |
| MAIO                     | -1    | 66.26           | 299.6         | 33.8                  | 0.59                                                               | 0.16                                    | 0.00     |
| NWAO                     | -3    | 64.57           | 200.7         | 34.4                  | 1.10                                                               | 0.33                                    | 0.00     |
| NWAO                     | -1    | 64.57           | 200.7         | 34.4                  | -1.00                                                              | -0.26                                   | 0.00     |
| MAIO                     | -2    | 66.26           | 299.7         | 146.2                 | -0.85                                                              | -0.23                                   | 0.11     |
| NWAO                     | -2    | 64.57           | 200.7         | 145.6                 | 1.30                                                               | 0.34                                    | -0.03    |
| MAT                      | 3     | 8.17            | 352.7         | 82.2                  | +                                                                  |                                         | -0.21    |
| GUA                      | 3     | 15.64           | 160.1         | 70.4                  | +                                                                  |                                         | -0.06    |
| KIP                      | 3     | 56.56           | 82.0          | 38.2                  | +                                                                  |                                         | -0.17    |
| BAG                      | 3     | 21.15           | 239.6         | 55.3                  | -                                                                  |                                         | 0.38     |
| HKC                      | 3     | 23.66           | 260.8         | 53.2                  | -                                                                  |                                         | 0.57     |
| RAB                      | 3     | 34.64           | 157.4         | 49.1                  | +                                                                  |                                         | 0.11     |
| CHG                      | 3     | 38.20           | 264.5         | 47.3                  | -                                                                  |                                         | 0.66     |
| PMG                      | 3     | 38.33           | 167.8         | 47.3                  | -                                                                  |                                         | 0.15     |
| LEM                      | 3     | 46.63           | 226.2         | 43.2                  | -                                                                  |                                         | 0.49     |
| MHI                      | 3     | 66.26           | 299.6         | 34.4                  | -                                                                  |                                         | 0.70     |
| NIL                      | 3     | 56.15           | 293.2         | 38.2                  | -                                                                  |                                         | 0.72     |
| COL                      | 3     | 57.32           | 28.9          | 37.8                  | +                                                                  |                                         | -0.16    |
| KEV                      | 3     | 70.94           | 340.1         | 32.1                  | -                                                                  |                                         | 0.37     |
| ADE                      | 3     | 63.05           | 180.7         | 35.6                  | -                                                                  |                                         | 0.34     |
| SHI                      | 3     | 74.14           | 295.3         | 30.3                  | +                                                                  |                                         | 0.72     |
| LON                      | 3     | 75.39           | 44.6          | 30.1                  | +                                                                  |                                         | -0.07    |
| TAB                      | 3     | 75.39           | 305.5         | 30.1                  | -                                                                  |                                         | 0.67     |
| NUR                      | 3     | 76.80           | 332.5         | 30.1                  | -                                                                  |                                         | 0.46     |
| BKS                      | 3     | 79.09           | 52.9          | 28.0                  | +                                                                  |                                         | -0.04    |
| GDH                      | 3     | 82.15           | 4.7           | 26.8                  | -                                                                  |                                         | 0.21     |
| KON                      | 3     | 83.05           | 336.9         | 26.4                  | -                                                                  |                                         | 0.44     |
| DUG                      | 3     | 84.30           | 47.2          | 26.3                  | +                                                                  |                                         | 0.00     |
| UME                      | 3     | 76.51           | 336.5         | 30.1                  | -                                                                  |                                         | 0.42     |
| TUC                      | 3     | 89.99           | 52.9          | 24.9                  | +                                                                  |                                         | 0.02     |
| ALQ                      | 3     | 91.43           | 48.6          | 24.6                  | +                                                                  |                                         | 0.03     |
| Amplitude mean deviation |       |                 |               |                       |                                                                    |                                         | 0.05     |

| Phase Key       | Tensor Components‡ | Percentage         | Poles to P Wave Nodal Planes |             |
|-----------------|--------------------|--------------------|------------------------------|-------------|
|                 |                    |                    | Azimuth, deg                 | Plunge, deg |
| P               | 0                  | 9.2 monopole       | 1st pole                     | 6.9         |
| pP              | 1                  |                    | 2nd pole                     | 238.4       |
| sP              | 2                  |                    |                              | 57.8        |
| SH              | -1                 | 71.6 double couple |                              | 21.4        |
| shSH            | -2                 |                    |                              |             |
| SV              | -3                 |                    |                              |             |
| P wave polarity |                    | 19.2 CLVD          |                              |             |

\*Computed from Herrin P and Jeffreys-Bullen S tables with source depth of 430 km.

†First motion polarities are compressional (+) or dilatational (-).

‡Multiply  $0.80 \times 10^{25}$  for dyn  $\text{cm}^{-1}$ . Factor of 10.0 included to account for effect of 0.1 Hz corner frequency of low-pass filter.

$M_{EE}$  and  $M_{NE}$  components. As is expected, the double the mixed set of amplitudes and first motion polarities (Figure

## BÖLÜM 7

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu doktora tezi, deprem odağındaki eşdeğer kuvvet bileşenlerinin tanımlanması, ve odak mekanizması çözümünün daha nitelikli ve daha pratik bir temele oturtulması amaçlı bir çalışmanın ürünüdür. Bunun için, sismik moment tansörün deprem kaynağını tanımlamada gerek ve yeter şart olması görüşünden hareketle, **doğrusal moment tansör ters çözümü** kullanılmıştır. Bu işlemi gerçekleştiren algoritma, **telesismik** istasyonlardaki P dalgası ilk hareket genliklerini kullanır. Bu bakımdan, tüm dalga şeklinin kullanılmasına göre beraberinde bazı avantaj ve dezavantajları da birlikte taşır. Bu bağlamda, hiçbir kısıtlama koymadan en genel moment tansörü kestirmesi ve tansörü bu yönüyle analiz etmesi, çabukluğu, matematiksel doğruluğu avantajları oluştururken karmaşık depremler için doğrudan kullanılamaması ise dezavantajıdır. Bu doktora tezindeki sözkonusu amacın **uygulama kapsamı** ise sismolojideki ters çözüme elverişli bir veriye ülkemizden ulaşma olanakları ölçüsünde belirlenebilmiştir. Bu koşullar altında Batı Anadolu'dan 4, Doğu Anadolu'dan 2 olmak üzere 6 Türkiye depremi üzerinde, toplam 82 telesismik istasyonla yapılan P dalgası ilk hareket genliklerinin kullanıldığı doğrusal moment tansör ters çözümü sonuçlarından ve kestirilen moment tansörlerin değişik ayrıştırma işlemleriyle analizlerinden, kaynaktaki fizik mekanizmayı tanımlayan eşdeğer kuvvetler saptanmaya çalışıldı.

Bu sonuçların ışığında, klâsik fay düzlemi çözümleriyle birer ikili kuvvet-çifti varsayılan Batı Anadolu'daki 4 depremin, yine küçük de olsa ikili kuvvet-çifti bileşenleri olmasına rağmen daha çok gerilme (tensile stress) kökenli depremler olduğu anlaşıldı (Şekil 7.1, Tablo 7.1). Bu da bölgenin genç tektonizması ile uyum sağladı (Şekil 4.2). Dolayısıyla Batı Anadolu'da gözlenen açılma rejiminin bulguları olan eğim atımlı faylar, Batı Anadolu'daki depremlerin gerilme kökenli oluşlarının bir

sonucudur. Yani bu depremler, gerilme kökenli bir hareketi karakterize ettiklerinden eğim atımlı olmuşlardır. Ayrıca, Batı Anadolu'daki bu sığ depremlerde görülen farkedilir nitelikteki CLVD bileşenleri de Batı Anadolu'daki yerkabuğunda en azından bir sıcak rejimin hüküm sürdüğünü düşündürdü.

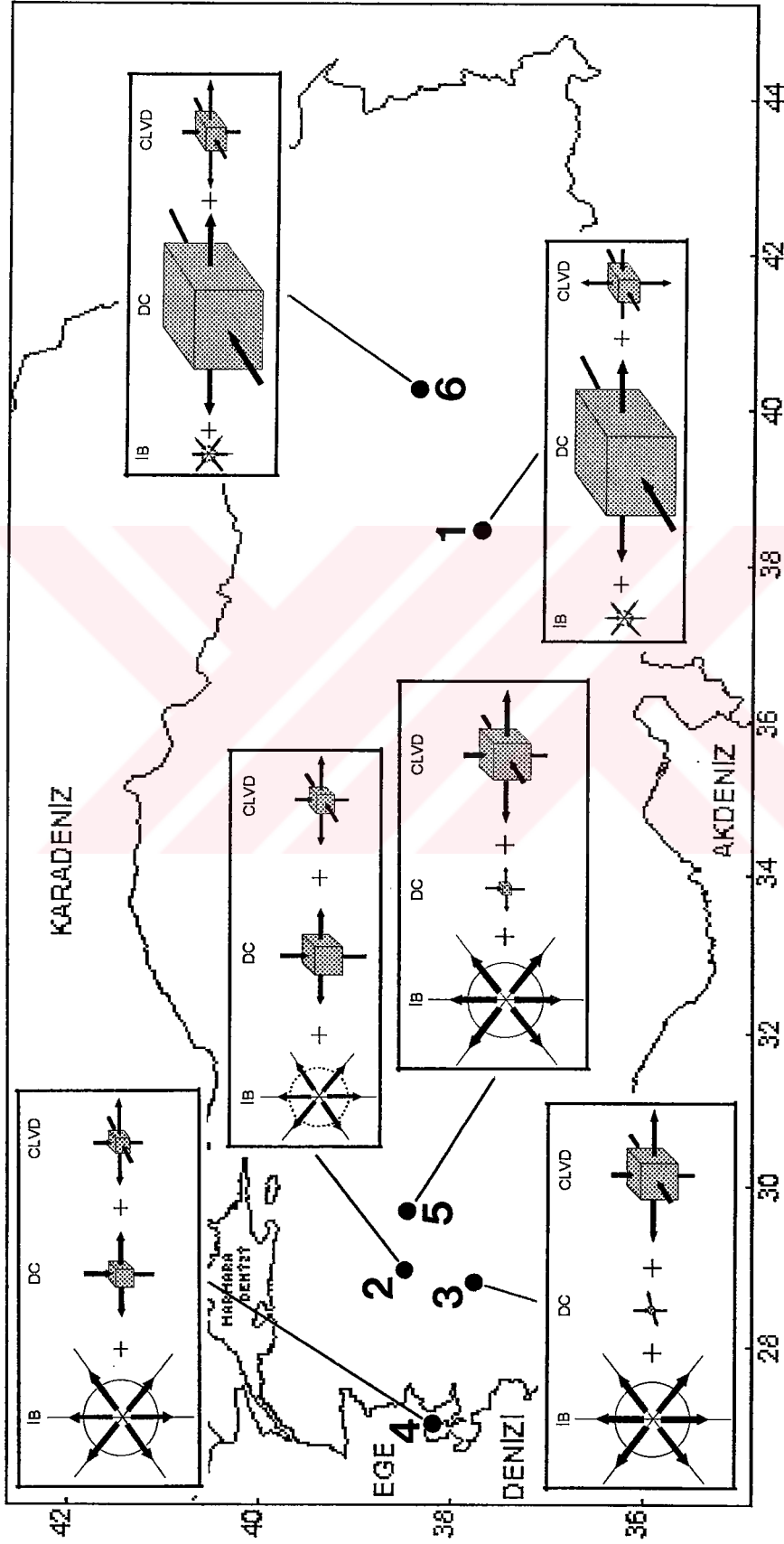
Doğu Anadolu Fay zonu üzerinde bulunan diğer 2 deprem ise ikili kuvvet-çifti hâkim bir mekanizma sergiliyor. Bu da Kuzey Anadolu Fayı ile Doğu Anadolu Fayı'nın Anadolu levhası üzerindeki etkinliğinde, bu depremlerin, Doğu Anadolu Fayı'na katkısı olarak algılanır. Her iki depremin de yapılan moment tansör ayrışımalarında sıkışma özelliği göstermesi (Şekil 7.1, Tablo 7.1), yine, bu bölgeye ait Avrasya-Arabistan levhaları işbirliğinin bir sonucu olan genç tektoniğiyle ilgili diğer bulguları ve yorumları destekliyor (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Bu 2 depremde görülen fark edilir nitelikteki CLVD bileşenleri ise bölgenin volkanik birikimiyle depremlerdeki bağlantıyı düşündürüyor.

Söz konusu depremlerle, ilgili bölgenin biraz da tamamına atfedilerek yapılan tüm bu yorum ve değerlendirmeler, az sayıda depreme dayandığı için örnek sayısını artırıcı yeni uygulamalarla desteğe gereksinim duymaktadır. Ama bu çalışmayla yapılmış olanlar, Türkiye için bu alandaki bir başlangıçtır, en azından ortaya konmuş bir vak'a dır.

Ayrıca 38 deprem için yapılan moment tansör analizlerinden de değişik sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 6.8). Bu durum, bu tezde ulaşılan kestirim sonuçlarının beklenebilir olması açısından önemlidir.

İzleyen çalışmalarla, Türkiye genelindeki tüm depremler yeterli veri sağlanabildiği ölçüde taranmalıdır. Daha çok gözlemle yapılan çözümler ayrımlılığı artıracığına göre bundan sonraki çalışmalar, hem çözümlerdeki hem de problemdeki ayrımlılığın artırılmasını amaçlamalıdır. Problem, Türkiye tektoniğidir. Yerbilimleri ve yakın disiplinlerin sağlayacağı maksimum katkılarla çözüm gücü artacaktır.

Ayrıca, bu algoritmanın yakın depremler için de kullanımı sağlanmalıdır. Bugün için yakın depremlerin fay düzlemi çözümlerinde karşılaşılan yeterli istasyon sayısı parametresi, söz konusu algoritmanın buna göre de düzenlenmesiyle belli ölçüde aşılabacaktır.



Şekil 7.1 14.06.1964 (1), 25.03.1969 (2), 28.03.1969 (3), 06.04.1969 (4), 28.03.1670 (5) ve 22.05.1971 (6) depremlerinin episantırları ile kaynağı oluşturan Eşdeğer Kuvvet Bileşenleri.



**Tablo 7.1** Bu çalışmada kullanılan depremlere ait eşdeğer kuvvet bileşenlerinin kaynağa ve kaynağın deviyatrik bileşenine katkı oranları.

| Sıra No. | Deprem     | Eşdeğer Kuvvet Bileşenlerinin Katkı Oranları (%) |      |      |                    |      | Özdeğerler Toplamı |
|----------|------------|--------------------------------------------------|------|------|--------------------|------|--------------------|
|          |            | Kaynak                                           |      |      | Deviyatrik Bileşen |      |                    |
|          |            | Monopole                                         | DC   | CLVD | DC                 | CLVD |                    |
| 1        | 14.06.1964 | 14.7                                             | 64.5 | 20.8 | 76                 | 24   | -0.5192            |
| 2        | 25.03.1969 | 55.0                                             | 26.5 | 18.5 | 59                 | 41   | 3.677              |
| 3        | 28.03.1969 | 55.0                                             | 2.3  | 42.7 | 5                  | 95   | 3.673              |
| 4        | 06.04.1969 | 69.6                                             | 17.4 | 13.0 | 57                 | 43   | 6.872              |
| 5        | 28.03.1970 | 55.0                                             | 6.6  | 38.4 | 15                 | 85   | 3.678              |
| 6        | 22.05.1971 | 15.7                                             | 64.7 | 19.6 | 77                 | 23   | -0.5601            |

## KAYNAKLAR

- AKI, K., and PATTON, H., (1978),** Determination of seismic moment tensor using surface waves, *Tectonophysics*, Vol, 49, pp. 213-222.
- AKI, K., and RICHARDS, P.G., (1980),** Quantitative Seismology Theory and Methods, Vol. I, Vol. II., W.H. Freeman ve Co., San Francisco, USA, 932 pp.
- AKI, K., BOUCHON, M., and REASENBERG, P., (1974),** Seismic source function for an underground nuclear explosion, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 64, No. 1, pp. 131-148.
- ANDERSON, J.G., and HOUGH, S.E., (1984),** A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 74, No.5, pp.1969-1993.
- BACKUS, G., and MULCAHY, M., (1976a),** Moment tensors and other phenomenological descriptions of seismic sources-I. Continuous Displacements, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, Vol.46, pp.341-361.
- BACKUS, G., and MULCAHY, M., (1976b),** Moment tensors and other phenomenological descriptions of seismic sources - II. Discontinuous Displacements, *Geophys. J.R. Astr. Soc.* Vol. 47, pp. 301-329.
- BACKUS, G.E., (1977a),** Interpreting the seismic glut moments of total degree two or less, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.51, No.1, pp.1-25.
- BACKUS, G.E., (1977b),** Seismic sources with observable glut moments of spatial degree two, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.51, No.1, pp.27-45.
- BARBANO, M.S., KIND, R., and ZONNO, G., (1985),** Focal parameters of some Friuli earthquakes (1976-1979) using complete theoretical seismograms, *J.Geophys.*, Vol. 58, pp. 175-182.
- BATH, M., (1968),** Mathematical Aspects of Seismology, University of Uppsala, Sweden.
- BATINI, F., CAPUTO, M., and CONSOLE, R., (1995),** Focal Mechanism of Seismic Events with a Dipoler Component. *Annali di Geofisica*, vol. XXXVIII, No. 3-4, pp. 373-384.
- BEN-MENAHEN, A., and SINGH, S.J., (1981),** Seismic waves and sources, Springer-Verlag New York Inc., USA, 1108 pp.

- BOATWRIGHT, J., FLETCHER, J.B., and FUMAL, T.E., (1991),** A general inversion scheme for source, site, and propagation characteristics using multiply recorded sets of moderate-sized earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 81, No. 5, pp.1754-1782.
- BORTFELD, R., (1989),** Geometrical ray theory : Rays and travel times in seismic systems (second order approximations of the travel times), *Geophysics*, Vol. 54, No.3, pp.342-349.
- BOUCHON, M., (1973),** Effect of topography on surface motion, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 63, No.3, pp.615-632.
- BOUCHON, M., (1976),** Teleseismic body wave radiation from a seismic source in a layered medium, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, Vol. 47, pp.515-530.
- BOUCHON, M., (1978a),** A dynamic source model for the San Fernando earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.68, No.6, pp.1555-1576.
- BOUCHON, M., (1978b),** The importance of the surface or interface P wave in near-earthquake studies, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 68, No.5, pp.1293-1311.
- BOUCHON, M., (1979),** Discrete wave number representation of elastic wave fields in three-space dimensions, *Journal of Geophysical Research*, Vol.84, No.B7, pp.3609-3614.
- BOUCHON, M., (1980),** Calculation of complete seismograms for an explosive source in a layered medium, *Geophysics*, Vol.45, No.2, pp.197-203.
- BOUCHON, M., (1981),** A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.71, No.4, pp.959-971.
- BOUCHON, M., and AKI, K., (1977a),** Discrete wave-number representation of seismic-source wave fields, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 67, No. 2, pp.259-277.
- BOUCHON, M., and AKI, K., (1977b),** Near-field of a seismic source in a layered medium with irregular interfaces, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, Vol. 50, pp.669-684.
- BOURBIÉ, T., and GONZALEZ-SERRANO, A., (1983),** Synthetic seismograms in attenuating media, *Geophysics*, Vol. 48, No. 12, pp.1575-1578.
- BOURGEOIS, A., and GUTOWSKI, P., (1991),** The reflectivity method with polar sampling, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 81, No.1, pp.222-231.
- BRANHAM, R.L., (1990),** Scientific Data Analysis. Springer-Verlag, New York, 237 pp.
- BULAND, R., and GILBERT, F., (1976),** Matched filtering for the seismic moment tensor, *Geophysical Research Letters*, Vol. 3, No.3, pp.205-206.

- BULLEN, K.E., and BOLT, B.A.,(1985),** An Introduction to the Theory of Seismology, Cambridge University Press. USA., 499 pp.
- BULLETIN of the INTERNATIONAL SEISMOLOGICAL CENTRE, 1992,** March.
- BURDICK, L.J., and HELMBERGER, D.V., (1978),** The upper mantle P velocity structure of the Western United States, J.Geophys. Res., Vol.83, pp.1699-1712.
- BURRIDGE, R., and KNOPOFF, L., (1964),** Body force equivalents for seismic dislocations, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.54, No.6. pp.1875-1888.
- CANITEZ, N. (Editör), (1992),** Jeofizikte Modelleme Kollokyumu, TMMOB-Jeofizik Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, İstanbul, TÜRKİYE.
- CANITEZ, N., (1962),** Gravite ve Sismolojiye göre kuzey Anadolu'da Arz kabuğunun yapısı, İ.T.Ü. Maden Fak. Yay., İstanbul.
- CAO, D., BEYDOUN, W.B., SINGH, S.C., and TARANTOLA, A., (1990),** A simultaneous inversion for background velocity and impedance maps, Geophysics, Vol.55, No.4, pp.458-469.
- CARRION, P., (1987),** Inverse Problems and Tomography in Acoustics and Seismology, Penn Publishing Co., Atlanta, GA., 303 pp.
- CASSELL, B.R., (1982),** A method for calculating synthetic seismograms in laterally varying media, Geophys. J.R. Astr.Soc., Vol.69, pp.339-354.
- CERVENY, V., (1985),** The application of ray tracing to the propagation of Shear waves in complex media, pp.001-124, in "Seismic Shear Waves, Part A" edited by G.Dohr, Geophysical Press, London, Amsterdam, 356 pp.
- CERVENY, V., (1986),** Seismic ray theory, Autumn course on seismology, International Centre for Theoretical Physics, Trieste, ITALY.
- CERVENY, V., and HRON, F., (1980),** The ray series method and dynamic ray tracing system for three-dimensional inhomogeneous media, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.70, No.1, pp.47-77.
- CERVENY, V., KLIMES, L., PSENCIK, I., (1988),** Complete Seismic-Ray Tracing in three Dimensional Structures, pp.89-168, in "Seismological Algorithms" edited by D.J.Doornbos, Academic Press, London, San Diego, New York, 469 pp.
- CERVENY, V., LANGER, J., and PSENCIK, I., (1974),** Computation of geometric spreading of seismic body waves in laterally inhomogeneous media with curved interfaces, Geophys. J.R. Astr. Soc., Vol.38, pp.9-19.

- CHAPMAN, C.H. and ORCUTT, J.A., (1985)**, The computation of body wave synthetic seismograms in laterally homogeneous media, *Reviews of Geophysics*, Vol. 23, No.2, pp.105-163.
- CHAPMAN, C.H., (1971)**, On the computation of seismic ray travel times and amplitudes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.61, No.5, pp.1267-1274.
- CHAPMAN, C.H., (1976)**, A first motion alternative to geometrical ray theory, *Geophysical Research Letters*, Vol.3, No.3, pp.153-156.
- CHAPMAN, C.H., (1978)**, A new method for computing synthetic seismograms. *Geophys. J.R. Astr.Soc.*, Vol. 54, pp.481-520.
- CHIU, S.K.L., KANASEWICH, E.R., and PHADKE, S., (1986)**, Three dimensional determination of structure and velocity by seismic tomography. *Geophysics*, Vol. 51, No.8, pp.1559-1571.
- CHOY, G.L., (1977)**, Theoretical seismograms of core phases calculated by frequency-dependent full wave theory, and their interpretation. *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol. 51, pp.275-312.
- CISTERNAS, A., BETANCOURT, O., and LEIVA, A., (1973)**, Body waves in a "Real Earth", Part I, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.63, No.1, pp.145-156.
- COMER, R.P., (1982)**, Tsunami generation by earthquakes, Ph.D.Thesis, Mass. Inst.of Technol., Cambridge, USA.
- CORMIER, V.F., (1980)**, The synthesis of complete seismograms in an earth model specified by radially inhomogeneous layers, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 70, No.3, pp.691-716.
- CROSSON, R.S., (1976a)**, Crustal structure modeling of earthquake data-1. Simultaneous least squares estimation of hypocenter and velocity parameters, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 81, No. 17, pp.3036-3046.
- CROSSON, R.S., (1976b)**, Crustal structure modeling of earthquake data-2. Velocity structure of the Puget Sound Region, Washington, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 81, No.17, pp. 3047-3054.
- DAY, S.M., and McLAUGHLIN, K.L., (1991)**, Seismic source representations for spall, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 81, No.1, pp.191-201.
- DERVİŞOĞLU, A., (1987)**, Mühendislikte Bilgisayarla Analiz Yöntemleri, İ.T.Ü., Lisans Üstü Ders Notları, 102, S., İstanbul.
- DEWEY, J.F., and ŞENGÖR, A.M.C., (1979)**, Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *Geol.Soc.America Bull.*, Part I, Vol. 90, pp.84-92.

- DEY-SARKAR, S.K., and CHAPMAN, C., H.,(1978)**, A simple method for the computation of body-wave seismograms, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.68, No.6, pp.1577-1593.
- DIX, C.H.,(1954)**, The method of Cagniard in seismic pulse problems. *Geophysics*, Vol. XIX, No.4, pp.722-738.
- DOHR, G. (Editor), (1985)**, *Seismic Shear Waves, Part-A, Part-B*, Geophysical Press, London, UK., 356 pp., 273 pp.
- DOORNBOS, D.J. (Editor), (1988)**, *Seismological Algorithms-Computational Methods and Computer Programs*, Academic Press, San Diego, CA, USA, 469 pp.
- DOORNBOS, D.J., (1977)**. The excitation of normal modes of the Earth by sources with volume change, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol. 51, pp.465-474.
- DOORNBOS, D.J., (1982)**, Seismic moment tensors and kinematic source parameters, *Geophys. J.R.Astr. Soc.*, Vol.69. pp.235-251.
- DZIEWONSKI, A.M., and GILBERT, F., (1974)**, Temporal variation of the seismic moment tensor and the evidence of precursive compression for two deep earthquakes, *Nature*, Vol.247, pp. 185-188.
- DZIEWONSKI, A.M., CHOU, T.A., and WOODHOUSE, J.H., (1981)**, Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *Journal of Geophysical Research*, Vol.86, No.B4, pp. 2825-2852.
- DZIEWONSKI, A.M., and WOODHOUSE, J.H., (1983a)**, An experiment in systematic study of global seismicity : Centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes of 1981, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88, No.B4, pp.3247-3271.
- DZIEWONSKI, A.M., and WOODHOUSE, J.H., (1983b)**, Studies of the seismic source using normal-mode theory, pp.45-137, in "Earthquakes : Observation, Theory and Interpretation" edited by H.Kanamori and by E.Boschi, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 608 pp.
- DZIEWONSKI, A.M., FRANZEN, J.E., and WOODHOUSE, J.H., (1984)**, Centroid-moment tensor solutions for January-March 1984, *Phys. Earth planet. Interiors*, Vol. 34, pp.209-219.
- EKSTRÖM, G., and DZIEWONSKI, A.M., (1985)**, Centroid-moment tensor solutions for 35 earthquakes in western North America (1977-1983), *Bull.Seismol.Soc. Am.*, Vol.75, No.1, pp.23-39.
- ELISEEVNIN, V.A., (1965)**, Analysis of rays propagating in a inhomogeneous medium, *Soviet Physics-Acoustics*, Vol.10, No.3, pp.242-245.

- ENGLAND, P., JACKSON, J., (1989),** Active deformation of the Continents, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol. 17, pp. 197-226.
- ERGİN, K., (1987),** Advanced Seismology, Lecture Notes, İ.T.Ü., İstanbul, Türkiye.
- ERİNÇ, S., (1953),** Doğu Anadolu Coğrafyası, İstanbul Üniv. Yay., No.572, İstanbul.
- ERİNÇ, S., BİLGİN, T., BENER, M., SUNGUR K., ERER S. ve GÖÇMEN K., (1970),** 28 Mart 1970 Gediz Depremi tatbiki jeomorfolojik etüdü, İstanbul Üniv., Coğrafya Enst. Yayını, No.60.
- EVISON, F.F., (1963),** Earthquakes and faults, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 53, No.5, pp.873-891.
- EYİDOĞAN, H., and JACKSON, J.A. (1985).** A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-70 in western Turkey: Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust, *Geophys. J.R. Astr.Soc.*, Vol.81, No.3, pp.569-607.
- EYİDOĞAN, H., GÜÇLÜ, U., UTKU, Z., DEĞİRMENCİ, E., (1991),** Türkiye Büyük Depremler Makro-Sismik Rehberi (1900-1988), İ.T.Ü. Maden Fak., Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- EZEN, Ü., (1988),** Yüzey dalgalarının dispersiyonuna göre Batı Anadolu'da Kabuk Yapısı, *Deprem Araştırma Bülteni*, Sayı: 62, Sayfa: 77-95.
- FERTIG, J., and PSENCIK, I., (1985),** Numerical Modeling of P and S waves in Exploration Seismology, pp.226-282, in "Seismic Shear Waves, Part A" edited by G.Dohr, Geophysical Press, London, Amsterdam, 356 pp.
- FITCH, T.J., McCOWAN, D.W. and SHIELDS, M.W., (1980),** Estimation of the seismic moment tensor from teleseismic body wave data with applications to intraplate and mantle earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, Vol.85, No.B7, pp.3817-3828.
- FITCH, T.J., NORTH, R.G., and SHIELDS, M.W., (1981),** Focal depths and moment tensor Representations of shallow earthquakes associated with the Great Sumba earthquake, *Journal of Geophysical Research*, Vol.86, B10, pp.9357-9374.
- FLETCHER, J.B., and BOATWRIGHT, J., (1991),** Source parameters of Loma Prieta aftershocks and wave propagation characteristics along the San Francisco Peninsula from a joint inversion of digital seismograms, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.81, No.5, pp.1783-1812.
- FORSYTHE, G.E., MALCOLM, M.A., and MOLER, C.B., (1977),** Computer Methods for Mathematical Computations, Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, New Jersey, 259 pp.



- FUCHS, K., (1966),** Synthetic seismograms of a P waves propagating in solid wedges with free boundaries, *Geophysics*, Vol.XXXI, No.3, pp.524-535.
- FUCHS, K., and MULLER, G., (1971),** Computation of seynthetic seismograms with the reflectivity method and comparison with observations, *Geophys. J.R.astr.Soc.*, Vol.23, pp.417-433.
- GAJEWSKI, D., and PSENCÍK, I., (1992),** Vector wavefields for weakly attenuating anisotropic media by the ray method, *Geophysics*, Vol.57, No.1, pp.27-38.
- GANLEY, D.C., (1981),** A method for calculating synthetic seismograms which include the effects of absorption and dispersion, *Geophysics*, Vol.46, No.8, pp.1100-1107.
- GAUTHIER, O., VIRIEUX, J., and TARANTOLA, A., (1986),** Two-dimensional nonlinear inversion of seismic waveforms: Numerical results, *Geophysics*, Vol.51, No.7, pp.1387-1403.
- GELLER, R.J., and STEIN, S., (?),** *Seismology : Observation, Computation, and Theory*, Lecture Notes.
- GELLER, R.J., (1976),** Body force equivalents for stress-drop seismic sources, *Bull. Seismol.Soc.Am.*, Vol.66, No.6, pp.1801-1804.
- GILBERT, F., (1970),** Excitation of the normal modes of the earth by earthquake source, *Geophys. J.R. Astr.Soc.*, Vol.22, pp.223-226.
- GILBERT, F., (1973),** Derivation of source parameters from Low-frequency spectra, *Phil. Trans. R.Soc. A*, Vol.274, pp.369-371.
- GILBERT, F., and DZIEWONSKI, A.M., (1975),** An application of normal mode theory to the retrieval of structural parameters and source mechanisms from seismic spectra, *Phil. Trans. R.Soc. A*, Vol. 278, pp.187-269.
- GILBERT, F., and HELMBERGER, D.V., (1972),** Generalized ray theory for a layered sphere, *Geophys. J.R. astr. Soc.*, Vol.27, pp.57-80.
- GILBERT, F., and KNOPOFF, L., (1961),** The directivity problem for a buried line source, *Geophysics*, Vol.XXVI, No.5, pp.626-634.
- HADDON, R.A.W., (1984),** Computation of synthetic seismograms in layered earth models using leaking modes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.74, No.4, pp.1225-1248.
- HANNON, W.J., (1964),** An application of the Haskell-Thomson matrix method to the synthetic of the surface motion due to dilatational waves, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.54, No.6, pp.2067-2079.



- HARTZELL, S.H., FRAZIER, G.A., and BRUNE, J.N., (1978)**, Earthquake modeling in a homogeneous half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 68, No.2, pp.301-316.
- HASKELL, N.A., (1953)**, The dispersion of surface waves on multilayered media, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 43, No.1, pp.17-31.
- HASKELL, N.A., (1964)**, Radiation pattern of surface waves from point sources in a multi-layered medium, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 54, pp.377-393.
- HEARN, D.J., and KREBES, E.S., (1990)**, On computing ray-synthetic seismograms for anelastic media using complex rays, *Geophysics*, Vol.55, No.4, pp.422-432.
- HELMBERGER, D.V., (1968)**, The crust-mantle transition in the Bering Sea, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.58, No.1, pp.179-214.
- HELMBERGER, D.V., (1974)**, Generalized ray theory for shear dislocations, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.64, pp.45-64.
- HELMBERGER, D.V., (1983)**, Theory and application of synthetic seismograms, pp.174-222, in "Earthquakes : Observation, Theory and Interpretation" edited by H.Kanamori and by E.Boschi, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 608 pp.
- HERRMANN, R.B., (1975)**, A student's guide to the use of P and S wave data for focal mechanism determination, *Earthquake Notes*, Vol. 46, No.4, pp.29-40.
- HERRMANN, R.B., and WANG, C.Y., (1985)**, A comparison of synthetic seismograms, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.75, No.1, pp.41-56.
- HOBBS, B.A., (1986)**, Inverse problems, Autumn course on Seismology, International centre for Theoretical Physics, Trieste, ITALY.
- HOUGH, S.E., ANDERSON, J.G., BRUNE, J., VERNON, F., III, BERGER, J., FLETCHER, J., HAAR, L., HANKS, T., and BAKER, L., (1988)**, Attenuation near Anza, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 78, No.2, pp.672-691.
- HOUGH, S.E., SEEGER, L., LERNER-LAM, A., ARMBRUSTER, J.C., and GUO, H., (1991)**, Empirical Green's function analysis of Loma Prieta aftershocks, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.81, No.5, pp.1737-1753.
- HRON, F., (1971)**, Criteria for selection of phases in synthetic seismograms for layered media, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.61, No.3, pp.765-779.
- HRON, F., and KANASEWICH, E.R., (1971)**, Synthetic seismograms for deep seismic sounding studies using asymptotic ray theory, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.61, No.5, pp.1169-1200.

- HRON, F., and MIKHAILENKO, B.G., (1981)**, Numerical modeling of nongeometrical effects by the Alekseev-Mikhailenko method, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.71, No.4, pp.1011-1029.
- HUDSON, J.A., (1969)**, A quantitative evaluation of seismic signals at teleseismic distances -I, Radiation from point sources, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.18, pp.233-249.
- INNOCENTI, F., MAZZUOLI, R., PASQUARE, G., RADICATI DI BROZOLO, and VILLARI, L., (1976)**, Evolution of the volcanism in the area of interection between the Arabian, Anatolian, and Iranian plates (Lake Van, eastern Turkey), *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 1, pp.103-112.
- JACKSON, D.D., (1976)**, Most squares inversion, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 81, No.5, pp.1027-1030.
- JACKSON, J., and McKENZIE, D., (1988)**, The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East, *Geophysical Journal*, Vol. 93, pp.45-73.
- JARCHOW, C.M., and THOMPSON, G.A., (1989)**, The nature of the Mohorovicic discontinuity, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol. 17. pp.475-506.
- JOHNSON, L.R., (1974)**, Green's function for Lamb's problem, *Geophys. J.R. astr.Soc.*, Vol.37, pp.99-131.
- JOST, M.L., and HERRMANN, R.B., (1989)**, A student's guide to and review of moment tensors, *Seismological Research Letters*, Vol.60, No.2, pp.37-57.
- JULIAN, B.R., (1970)**, Technical Note 1970-45, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- KAHLER, S., and MEISSNEER, R., (1983)**, Radiation and receiver pattern of shear and compressional waves as a function of Poisson's ratio, *Geophysical Prospecting*, Vol. 31, pp.421-435.
- KANAMORI, H., and BOSCHI, E. (Editors), (1983)**, *Earthquakes : Observation, Theory and Interpretation*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 608 pp.
- KANAMORI, H., and GIVEN, J.W., (1981)**, Use of long-period surface waves for rapid determination of earthquake-source parameters, *Phys. Earth Planet. Interiors*, Vol. 27, pp.8-31.
- KANAMORI, H., and GIVEN, J.W., (1982)**, Use of long-period surface waves for rapid determination of earthquake source parameters: 2. Preliminary determination of source mechanisms of Large earthquakes ( $M_s > 6.5$ ) in 1980, *Phys. Earth Planet. Interiors*, Vol. 30, pp.260-268.

- KEITH, C.M., and CRAMPIN, S., (1977),** Seismic body waves in anisotropic media : Synthetic seismograms, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, Vol.49, pp.225-243.
- KEITH, C.M., and CRAMPIN, S., (1977),** Seismic body waves in anisotropic media; reflection and refraction at a plane interface, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol. 49, pp. 181-208.
- KEITH, C.M., and CRAMPIN, S., (1977),** Seismic body waves in anisotropic media propagation through a layer, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol. 49, pp.209-223.
- KELLY, K.R., WARD, R.W., TREITEL, S., and ALFORD, R.M., (1976),** Synthetic seismograms : A finite-difference approach, *Geophysics*, Vol.41, No.1, pp.2-27.
- KENAR, Ö., (1977),** Sismik P dalgalarının genlik spektrumlarından yararlanarak İstanbul ve civarında yer kabuğu yapısı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE.
- KENNETT, B.L.N., (?),** Ray theoretical inverse methods in Geophysics.
- KENNETT, B.L.N., (1972),** Seismic waves in laterally inhomogeneous media, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.27, pp.301-325.
- KENNETT, B.L.N., (1974),** Reflections, rays, and reverberations, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.64. No.6, pp.1685-1696.
- KENNETT, B.L.N., (1975),** The effects of attenuation on seismograms, *Bull. Seismol.Soc. Am.*, Vol.65, No.6. pp.1643-1651.
- KENNETT, B.L.N., (1977),** The inversion of reflected wave travel times. *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.49, pp.739-746.
- KENNETT, B.L.N., (1983),** Seismic wave propagation in stratified media, Cambridge University Press, USA., 342 pp.
- KETİN, I., (1966),** Tectonic Units of Anatolia, *Bull. Min. Res. Expl. Inst. Turkey*, Vol.66, pp.23-34.
- KIKUCHI, M., and KANAMORI, H., (1982),** Inversion of complex body waves, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.72, No.2, pp.491-506.
- KIKUCHI, M., and KANAMORI, H., (1991),** Inversion of complex body waves-III, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.81, No.6, pp.2335-2350.
- KJARTANSSON, E., (1979),** Constant Q-wave propagation and attenuation, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 84, No.B9, pp.4737-4748.
- KNOPOFF, L., and GILBERT, F., (1959),** Radiation from a strike-slip fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.49, No.2, pp.163-178.

- KNOPOFF, L., and GILBERT, F., (1960)**, First motions from seismic sources, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 50, No.1, pp.117-134.
- KNOPOFF, L., and RANDALL, M.J., (1970)**, The compensated Linear-Vector dipole : A possible mechanism for deep earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.75, No.26, pp.4957-4963.
- KORN, M., and MULLER, G., (1983)**, Comparison of the Alekseev-Mikhailenko method and the reflectivity method, Geophys. J.R.Astr.Soc., Vol.72, pp.541-556.
- KREBES, E.S., and HRON, F., (1980)**, Synthetic seismograms for SH waves in a layered anelastic medium by asymptotic ray theory, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.70, No.6, pp.2005-2020.
- KREBES, E.S., and HRON, F., (1981)**, Comparison of synthetic seismograms for anelastic media by asymptotic ray theory and the Thomson-Haskell method, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.71, No.5, pp.1463-1468.
- KULELİ, H.S., (1992)**, Ege Bölgesinin sismik tomografi ile üç boyutlu modellenmesi, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE.
- LAFOND, C.F., and LEVANDER, A.R., (1990)**. Fast and accurate dynamic ray tracing in heterogeneous media, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.80, No.5, pp.1284-1296.
- LANGSTON, C.A., (1981)**, Source inversion of seismic waveforms : The Koyna, India, earthquakes of 13 September 1967, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.71, No.1, pp.1-24.
- LANGSTON, C.A., and HELMBERGER, D.V., (1975)**, A procedure for modeling shallow dislocation sources, Geophys. J.R.Astr.Soc., Vol.42, pp.117-130.
- LeBRAS, R., and CLAYTON, R.W., (1988)**, An iterative inversion of back-scattered acoustic waves, Geophysics, Vol.53, No.4, pp.501-508.
- LINES, L.R., and TREITEL, S., (1984)**, Tutorial : A review of Least-Squares inversion and its application to Geophysical problems, Geophysical Prospecting, Vol.32, pp.159-186.
- LINES, L.R., SCHULTZ, A.K., and TREITEL, S., (1988)**, Cooperative inversion of Geophysical data, Geophysics, Vol.53, No. 1, pp.8-20.
- LUOSTO, U., FLUEH, E.R., LUND, C.E., and WORKING GROUP, (1989)**, The crustal structure along the polar profile from seismic refraction investigations, Tectonophysics, Vol.12, pp.51-85.
- MADARIAGA, R., (1983)**, Earthquake Source Theory : a Review, pp.1-44, in "Earthquakes : Observation, Theory and Interpretation" edited by H.Kanamori

and by E.Boschi, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 608 pp.

**MARQUARDT, D.W., (1970)**, Generalized Inverse, ridge regression, biased linear estimation and non linear estimation, *Techtonometrics*, 12, pp.591-612.

**MARSHALL, G.A., STEIN, R.S., and THATCHER, W., (1991)**, Faulting geometry and slip from co-seismic elevation changes : The 18 October 1989, Loma Prieta, California, earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 81, No.5, pp.1660-1693.

**McAULAY, A.D., (1986)**, Plane-layer prestack inversion in the presence of surface reverberation, *Geophysics*, Vol.51, No.9, pp.1789-1800.

**McCAFFREY, R., and ABERS, G., (1988)**, SYN3: A program for inversion of teleseismic body waveforms on microcomputers, Air Force Geophysics Laboratory Technical Report, AFGL-TR-88-0099, Hanscomb Air Force Base, MA, USA, 50 pp.

**McCAFFREY, R., ABERS, G., and ZWICK, P., (1991)**, SYN4: A program for inversion of teleseismic body waves on microcomputers, pp.81-166, in "Digital Seismogram Analysis and Waveform Inversion" edited by W.H.K. Lee, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) Software Library, Vol.3, Seismological Society of America, 201 Plaza Professional Building, El Cerrito, CA 94530, USA, 166 pp.

**McCOWAN, D.W., (1976)**, Moment tensor representation of surface wave sources, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.44, pp.595-599.

**McKENZIE, D.P., (1972)**, Active tectonics of the Mediterranean Region, *Geophys. Jour. Royal Astr. Soc.*, Vol.30, pp.109-185.

**MELLMAN, G.R., (1978)**, A method for waveform inversion body-wave seismograms, Ph.D.Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California, USA.

**MENDIGUREN, J.A., (1977)**, Inversion of surface wave data in source mechanism studies, *Journal of Geophysical Research*, Vol.82, No.5, pp.889-894.

**MENKE, W. (1984)**, *Geophysical Data Analysis : Discrete Inverse Theory*, Academic Press Inc., Orlando, Florida, USA, 260 pp.

**MULLER, G., (1970)**, Exact ray theory and its application to the reflection of elastic waves from vertically inhomogeneous media, *Geophys. J.R.astr.Soc.*, Vol.21, pp.261-282.

**MULLER, G., (1985)**, The reflectivity method : a tutorial, *J.Geophys.*, Vol.58, pp.153-174.

- MURPHY, J.R., (1974),** Discussion of "Seismic source function for an underground nuclear explosion" by Keiiti Aki, Michel Bouchon, and Paul Reasenber, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.64, No.5, pp.1595-1597.
- NÁBĚLEK, J.L., (1984),** Determination of earthquake source parameters from inversion of body waves, Ph.D.Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- NAKANISHI, I., and KANAMORI, H., (1982),** Effects of lateral heterogeneity and source process time on the linear moment tensor inversion of long-period Rayleigh waves, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.72, No.6, pp.2063-2080.
- NAKANISHI, I., and KANAMORI, H., (1984),** Source mechanisms of twenty-six large, shallow earthquakes ( $M_s > 6.5$ ) during 1980 from P-wave first motion, and long-period Rayleigh wave data, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 74, pp.805-818.
- NEUMANN, G., (1981),** Determination of lateral inhomogeneities in reflection seismics by inversion of traveltimes residuals, Geophysical Prospecting, Vol.29, pp.161-177.
- OHTSU, M., (1991),** Simplified Moment Tensor Analysis and Unified Decomposition of Acoustic Emission Source : Application to in Situ Hydrofracturing Test, J.Geophys. Res., Vol.96, No. B4, pp.6211-6221.
- Operation and Maintenance Manual World-Wide Seismography system, Model 10700,** The Geotechnical Corporation 3401 Shiloh Road Garland, Texas, 1965.
- PAN, G.S. and PHINNEY, R.A., (1989),** Full-waveform inversion of plane-wave seismograms in stratified acoustic media : Applicability and limitations, Geophysics, Vol.54, No.3, pp.368-380.
- PAN, G.S., PHINNEY, R.A., and ODOM, R.L., (1988),** Full waveform inversion of plane-wave seismograms in stratified acoustic media : Theory and feasibility, Geophysics, Vol.53, No.1, pp.21-31.
- PARKER, R.L., (1977),** Understanding inverse theory, Ann. Ret. Earth Planet Sci., Vol.5, pp.35-64.
- PATTON, H., (1980),** Reference point equalization method for determining the source and path effects of surface waves, J.Geophys. Res., Vol. 85, pp.821-848.
- PRESS, W.H., FLANNERY, B.P., TEUKOLSKY, S.A., and VETTERLING, W.T., (1986),** Numerical Recipes, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 818 p.
- RANDALL, M.J., (1964a),** On the mechanism of earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.54, No.5, pp.1283-1289.
- RANDALL, M.J., (1964b),** Seismic energy generated by a sudden volume change, Bull. Seismol.Soc. Am., Vol. 54, No.5, pp.1291-1298.



- RANDALL, M.J., (1966)**, Seismic radiation from a sudden phase transition, *Journal of Geophysical Research*, Vol.71, No.22, pp.5297-5302.
- RANDALL, M.J., (1971)**, Elastic multipole theory and seismic moment, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.61, No.5, pp.1321-1326.
- RANDALL, M.J., and KNOPOFF, L., (1970)**, The mechanism at the focus of deep earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, Vol.75, No.26, pp.4965-4976.
- RICHARDS, P.G., WITTE, D.C., and EKSTRÖM, G., (1991)**, Generalized ray theory for seismic waves in structures with planar nonparallel interfaces, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.81, No.4, pp.1309-1331.
- ROMANOWICZ, B., (1981)**, Depth resolution of earthquakes in Central Asia by moment tensor inversion of long-period rayleigh waves: Effects of phase velocity variations across Eurasia and their calibration, *J.Geophys. Res.*, Vol. 86, pp.5963-5984.
- SAITO, M., (1967)**, Excitation of free oscillations and surface waves by a point source in a vertically heterogeneous earth, *J.Geophys. Res.*, Vol. 72, pp.3689-3699.
- SATO, R., (1969)**, Amplitude of body waves in a heterogeneous sphere comparison of wave theory and ray theory, *Geophys. J.R.Astr.Soc.* Vol.17, pp.527-544.
- SHAH, P.M., (1973)**, Ray tracing in three dimensions, *Geophysics*, Vol.38, No.3, pp.600-604.
- SILVA, W., (1976)**, Body waves in a layered anelastic solid, *Bull. Seismol.Soc. Am.*, Vol.66, No.5, pp.1539-1554.
- SIPKIN, S.A., (1982)**, Estimation of earthquake source parameters by the inversion of waveform data: synthetic waveforms, *Phys. Earth planet. Interiors*, Vol. 30, pp.242-255.
- SIPKIN, S.A., (1986)**, Interpretation of non-double-couple earthquake mechanisms derived from moment tensor inversion, *Journal of Geophysical research*, Vol.91, No.B1, pp.531-547.
- SPENCER, C., (1985)**, The use of partitioned matrices in geophysical inversion problems, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.80, pp.619-629.
- STRELITZ, R.A., (1978)**, Moment tensor inversions and source models, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.52, pp.359-364.
- STRELITZ, R.A., (1980)**, The fate of the downgoing slab: A study of the moment tensors from body waves of complex deep-focus earthquakes, *Phys. Earth planet. Interiors.*, Vol. 21, pp.83-96.

- STRELITZ, R.A., (1981),** The interpretation of moment tensor inversions, pp.273-275, in "Identification of seismic sources-Earthquake or Underground Explosion" edited by E.C.Husebye and by S. Mykkeltveit, D.Reidel Publishing Company Hingham, Mass.
- STUMP, B.W., and JOHNSON, L.R., (1977),** The determination of source properties by the linear inversion of seismograms, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.67, No.6, pp.1489-1502.
- STUMP, B.W., and JOHNSON, L.R., (1982),** Higher-degree moment tensors the importance of source finiteness and rupture propagation on seismograms, Geophys. J.R.Astr.Soc., Vol, 69, pp.721-743.
- SUHADOLC, P., and PANZA, G.F., (1985),** Some applications of seismogram synthesis through the summation of modes of Rayleigh waves, J.Geophys., Vol.58, pp.183-188.
- ŞENGÖR, A.M.C., (1978),** Über die angebliche primaere Vertikallektonik im Aegaeisraum, N.Jb.Ged. Palaeont., Mh, 11, pp.698-703.
- ŞENGÖR, A.M.C., (1980),** Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu, Ankara.
- ŞENGÖR, A.M.C., and CANITEZ, N., (1982),** The North Anatolian fault, Alpine Mediterranean Geodynamics, AGU, Geodynamics Series, Vol.7, pp.205-216.
- ŞENGÖR, A.M.C., GÖRÜR, N., and ŞAROĞLU, F., (1985),** Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape : Turkey as a case study. Strike-Slip Deformation Basin Formation and sedimentation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication No.37, pp.227-264.
- TAYMAZ, T., (1990),** Earthquake source parameters in the eastern Mediterranean region, Ph.D.Thesis, University of Cambridge, Darwin College, 244 p., England.
- TAYMAZ, T., EYİDOĞAN, H., and JACKSON, J.A. (1991),** Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian fault Zone (Turkey), Geophys. Journal International, Vol. 106, pp.537-550.
- TAYMAZ, T., JACKSON, J., and MCKENZIE, D.P., (1991a),** Active Tectonics of the north and central Aegean Sea, J.Geophys. Int., 106,pp 433-490.
- THOMSON, W.T., (1950),** Transmission of elastic waves through a stratified solid medium, Jour. Appl. Phys., Vol. 21, pp.89-93.
- VASCO, D.W., and JOHNSON, L.R., (1988),** Inversion of waveforms for extreme source models with an application to the isotropic moment tensor component, in "Regional Studies with Broadband Data", T.V. McEvelly and L.R.Johnson, Editors, Report No.1, Air Force Geophysics Laboratory AFGL-TR-88-0131.



- WANG, C.Y., and HERRMANN, R.B., (1980),** A numerical study of P-,SV-, and SH- wave generation in a plane layered medium, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.70, No.4, pp.1015-1036.
- WARD, S.N., (1980a),** A technique for the recovery of the seismic moment tensor applied to the Oaxaca, Mexico earthquake of November 1978, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.70, No.3, pp.717-734.
- WARD, S.N., (1980b),** Body wave calculations using moment tensor sources in spherically symmetric, in homogeneous media, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol. 60, pp.53-66.
- WARD, S.N., (1980c),** Relationships of tsunami generation and an earthquake source, *J.Phys.Earth*. Vol.28, pp.441-474.
- WARD, S.N., (1981),** Simplified body wave source terms with one application in moment tensor recovery, pp.269-272, in "Identification of Seismic Sources-Earthquake or Underground Explosion" edited by E.S.Husebye and by S.Mykkeltveit, D.Reidel Publishing Company, Hingham, Mass.
- WARD, S.N., (1983),** Body wave inversion : Moment tensors and depth of oceanic intraplate bending earthquakes, *J.Geophys. Res.*, Vol.88, pp. 9315-9330.
- WIGGINS, R.A., (1972),** The general linear inverse problem; Implication of surface waves and free oscillations for earth structure, *Reviews of Geophysics and space Physics*, Vol.10, No.1, pp.251-285.
- WIGGINS, R.A., (1976),** Body wave amplitude calculations-II, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.46,pp.1-10.
- WIGGINS, R.A., and HELMBERGER, D.V., (1974),** Synthetic seismogram computation by expansion in generalized rays, *Geophys. J.R.Astr.Soc.* Vol.37, pp. 73-90.
- WIGGINS, R.A., and MADRID, J.A., (1974),** Body wave amplitude calculations, *Geophys. J.R.Astr.Soc.*, Vol.37, pp.423-433.
- WOODHOUSE, J.H., and DZIEWONSKI, A.M., (1984),** Mapping the Upper mantle: Three-Dimensional Modeling of Earth structure by Inversion of seismic Waveforms, *Journal of Geophysical Research*, Vol.89, No. B7, pp.5953-5986.
- YARAR, R. ve DEMİR, H., (1970),** Gediz depremi incelemesine ait ön rapor, Deprem Mühendisliği Yayını, İstanbul.



## EK - A : HATA HESABI

### Ayırıcılık (Resolution) Matrisi :

$Ax = b$  şeklindeki bir lineer denklem takımının çözümünde, çözüm güvenirliği

$$R = HA \quad (A.1)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada R matrisine, “Ayırıcılık Matrisi” adı verilir. H matrisi ise, genelleştirilmiş ters (Lanczos inversi) dir. Dolayısıyla R matrisinin, bir birim matris olması beklenir (Marquardt, 1970; Wiggins, 1972; Lines ve Treitel, 1984; Canitez, 1992).

### Gerçekleşebilir Hata :

Bir A matrisi için, x bir vektör olmak üzere

$$\|A\|_{\Delta \max} = \frac{\|Ax\|}{\|x\|} \quad (A.2)$$

$x \neq 0$

ifadesine A matrisinin “Endüklenmiş (Induced) Normu”;

$$\|A\|_{\Delta \min} = \frac{\|Ax\|}{\|x\|} ; [A]_{n \times n} \quad (A.3)$$

$x \neq 0 \quad \det.A \neq 0$

ifadesine de A matrisinin “Görünür Ters Normu” adı verilir (Forsythe ve diğ., 1977; Dervişoğlu, 1987; Branham, 1990).

$Ax=b$  denklem takımı için  $x^*$ , gerçek çözüm vektörü,  $\delta x$ , çözümdeki mutlak hata,  $\delta b$  de b vektöründeki mutlak hata olmak üzere

$$\delta x = A^{-1} \delta b \quad (A.4)$$

olur.

(A4) denkleminde,

$$\|\delta x\| \leq \|A^{-1}\| \|\delta b\| \quad (A.5)$$

$$\|\delta x\| \geq \frac{1}{\|A\|} \|\delta b\| \quad (A.6)$$

eşitsizlikleri yazılabilir. (A.5) ifadesi için  $\delta b$ ,  $A^{-1}$ 'e normunu veren vektör ( $y_o$ ) olursa eşitsizlik eşitliğe dönüşür. (A.6) ifadesi için de  $\delta b$ ,  $A^{-1}$ 'e görünür ters normunu veren vektör ( $y_T$ ) olursa eşitsizlik eşitliğe dönüşür.

$$b = A x^* \quad (A.7)$$

denklemini için ise,

$$\|b\| \leq \|A\| \|x^*\| \quad (A.8)$$

$$\|b\| \geq \frac{1}{\|A^{-1}\|} \|x^*\| \quad (A.9)$$

yazılabilir.  $x^*$ ,  $A$ 'ya normunu veren vektör ( $x_o$ ) olursa (A.8) eşitsizliği,  $A$ 'ya görünür ters normunu veren vektör ( $x_T$ ) olursa (A.9) eşitsizliği eşitlik haline dönüşür.

(A.5) ve (A.8)'in taraf-tarafa çarpımından,

$$\frac{\|\delta x\|}{\|x^*\|} \leq \text{dur } A \frac{\|\delta b\|}{\|b\|}, \quad \text{dur } A = \|A\| \cdot \|A^{-1}\| \quad (A.10)$$

olur (Forsythe ve diğ., 1977; Dervişoğlu, 1987; Branham, 1990).  $\text{dur } A$ ,  $A$ 'nın "Durum Gösterge Katsayısı (Condition Number)"dır.  $\delta b=y_o$  ve  $x^*=x_o$  durumunda da (A.10) eşitsizliği eşitliğe dönüşür. Bu eşitlik ise bağıl hatanın üst sınırıdır.

(A.6) ve (A.9) eşitsizlikleri taraf-tarafa çarpılırsa,

$$\frac{\|\delta x\|}{\|x^*\|} \geq \frac{1}{\text{dur } A} \frac{\|\delta b\|}{\|b\|} \quad (A.11)$$

eşitsizliği elde edilir (Dervişoğlu, 1987). Bu ifade de  $\delta b=y_T$  ve  $x^*=x_T$  koşulunda eşitliğe dönüşür ve bağıl hatanın alt sınırını oluşturur.

Üst sınır  $\rho_u = (\|Ax^*\| / \|x^*\|) / \|A\|$  ile, alt sınır ise  $\rho_T = (\|Ax^*\| / \|x^*\|) / \|A\|_T$  ile, çarpılırsa, çözüm vektörünün bağıl hatası için **gerçekleşebilir** hata sınırları elde edilir. Yani çözüm vektörünün bağıl hatası,

$$\rho_T \frac{1}{\text{dur } A} \frac{\|\delta b\|}{\|b\|} \leq \frac{\|\delta x\|}{\|x^*\|} \leq \rho_u \text{ dur } A \frac{\|\delta b\|}{\|b\|} \quad (A.12)$$

ifadesiyle tanımlanır (Dervişoğlu, 1987).

## EK - B : ALET BÜYÜTMELERİ

Bu çalışmada kullanılan sismogramlar, WWSSN istasyonlarındaki uzun periyot (telesismik) düşey bileşen (LPZ) kayıtlarından oluşmaktadır. Bu özelliklerdeki toplam 82 sismogram, 39 istasyonda kaydedilmiştir. Tablo B.1, söz konusu WWSSN istasyonlarının alet büyütme oranlarını (magnification) gösterir.

**Tablo B.1** Bu Çalışmada Kullanılan Sismogramları Kaydeden WWSSN İstasyonlarının Alet Büyütmeleri.

| Sayı | 14.06.1964    |      | 25.03.1969    |      | 28.03.1969    |      | 06.04.1969    |      | 28.03.1970    |      | 22.05.1971    |      |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|
|      | İstasyon kodu | LPZ  | İstasyon kodu | LPZ  | İstasyon kodu | LPZ  | İstasyon kodu | LPZ  | İstasyon kodu | LPZ  | İstasyon kodu | LPZ  |
| 01   | CHG           | 3000 | CAR           | 3000 | AKU           | 375  | GDH           | 750  | CHG           | 3000 | AAE           | 1500 |
| 02   | CMC           | 3000 | CHG           | 3000 | ANP           | 750  | KBL           | 6000 | COL           | 1500 | ANP           | 750  |
| 03   | ESK           | 1500 | COL           | 1500 | BUL           | 1500 | KEV           | 1500 | DAV           | 3000 | BAG           | 3000 |
| 04   | KTG           | 750  | GDH           | 750  | CAR           | 3000 | NAI           | 1500 | HKC           | 750  | BUL           | 750  |
| 05   | NDI           | 1500 | KEV           | 1500 | CHG           | 3000 | NDI           | 1500 | GDH           | 1500 | COL           | 1500 |
| 06   | SHL           | 3000 | NAI           | 1500 | COL           | 1500 | POO           | 1500 | GEO           | 1500 | ESK           | 750  |
| 07   | TOL           | 1500 | POO           | 1500 | GDH           | 750  | QUE           | 6000 | KEV           | 1500 | GDH           | 1500 |
| 08   | VAL           | 750  | PRE           | 1500 | GEO           | 750  | SHL           | 3000 | MAN           | 1500 | GEO           | 1500 |
| 09   |               |      | QUE           | 6000 | GRM           | 1500 |               |      | NAT           | 1500 | HKC           | 750  |
| 10   |               |      | SHL           | 3000 | KEV           | 1500 |               |      | NDI           | 1500 | KBS           | 750  |
| 11   |               |      | VAL           | 750  | KTG           | 750  |               |      | NOR           | 750  | KEV           | 1500 |
| 12   |               |      |               |      | MAN           | 1500 |               |      | POO           | 1500 | KOD           | 1500 |
| 13   |               |      |               |      | MAT           | 3000 |               |      | PRE           | 1500 | MAT           | 3000 |
| 14   |               |      |               |      | NAI           | 1500 |               |      | SJG           | 750  | NOR           | 750  |
| 15   |               |      |               |      | NDI           | 1500 |               |      | TRN           | 1500 | SCP           | 1500 |
| 16   |               |      |               |      | NOR           | 750  |               |      | WIN           | 1500 | VAL           | 1500 |
| 17   |               |      |               |      | PDA           | 750  |               |      |               |      |               |      |
| 18   |               |      |               |      | PRE           | 1500 |               |      |               |      |               |      |
| 19   |               |      |               |      | QUE           | 6000 |               |      |               |      |               |      |
| 20   |               |      |               |      | SCM           | 1500 |               |      |               |      |               |      |
| 21   |               |      |               |      | SHK           | 1500 |               |      |               |      |               |      |
| 22   |               |      |               |      | SJG           | 750  |               |      |               |      |               |      |
| 23   |               |      |               |      | TRN           | 1500 |               |      |               |      |               |      |



2  
3  
4  
5  
6

## İ Ş A R E T   T A B L O S U   ( 1 )

I = 1  
0

ÖLÇEK(scale)= 10\*\* 0  
\*\*\*\*\*

MOMENT TANSÖR :  
\*\*\*\*\*

MXX= 1.000                      MYY= -2.000                      MZZ= 4.000  
MXY= 6.000                      MXZ= -0.1134E-08                      MYZ= -1.000

F A Y   D Ö Z L E M İ   ç ö z ö m ü :  
\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

1.(T)            ÖZDEĞER= 5.890                      DALIM= 18 drc                      AZM= 219 drc  
2.(B)            ÖZDEĞER= 3.852                      DALIM= 71 drc                      AZM= 25 drc  
3.(P)            ÖZDEĞER= -6.743                      DALIM= 4 drc                      AZM= 128 drc

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 6.317

NP1:            DOĞRULTU= 355 drc                      EĞİM= 80 drc                      KAYMA= 16 drc  
NP2:            DOĞRULTU= 262 drc                      EĞİM= 74 drc                      KAYMA= 170 drc

SİSMİK MOMENT TANSÖRE UYGULANAN AYRIŞTIRMA İŞLEMLERİ:  
\*\*\*\*\*

MOMENT TANSÖRÜN MATRİS FORMU ;

|             |        |             |
|-------------|--------|-------------|
| 1.000       | 6.000  | -0.1134E-08 |
| 6.000       | -2.000 | -1.000      |
| -0.1134E-08 | -1.000 | 4.000       |

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                       |
|------------|-----------------------------------|
| 5.890      | ( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 )     |
| 3.852      | ( 0.2938 , 0.1397 , 0.9456 )      |
| -6.743     | ( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01 ) |

EN GENEL MOMENT TANSÖR AYRIŞIMI :  
\*\*\*\*\*

M= | 1.000    0.0000E+00   0.0000E+00 |    | 2.852    0.0000E+00   0.0000E+00 |  
| 0.0000E+00   1.000    0.0000E+00 |    + | 0.0000E+00   4.890    0.0000E+00 |  
| 0.0000E+00   0.0000E+00   1.000    |    | 0.0000E+00   0.0000E+00   -7.743    |

KAYNAĞIN SKALER MOMENTİ (Silver&Jordan,1982) ;  
\*\*\*\*\*

Mo = 6.892

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;  
\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= 3.000  
MONOPOLE YÖZDESİ= % 50.0  
DOUBLE-COUPLE YÖZDESİ= % 13.1  
CLVD YÖZDESİ= % 36.9

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;  
\*\*\*\*\*

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= 0.3684  
DOUBLE-COUPLE YÖZDESİ= % 26.  
CLVD YÖZDESİ= % 74.

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+Mj.C+Mn.C ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :  
\*\*\*\*\*

$$M = 1.000 \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} + -7.743 \begin{vmatrix} -0.1673 & -0.9221 & 0.1882 \\ -0.9221 & 0.2624 & 0.2478 \\ 0.1882 & 0.2478 & -0.9508E-01 \end{vmatrix} + 2.852 \begin{vmatrix} -0.4541 & -0.3995 & 0.5109 \\ -0.3995 & -0.3395 & 0.3220 \\ 0.5109 & 0.3220 & 0.7937 \end{vmatrix}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                     | ÖZVEKTÖRLER                                                                                         |
|-----|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 7.743<br>-0.5528E-16<br>-7.743 | ( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 )<br>( 0.2938 , 0.1397 , 0.9456 )<br>( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01 )  |
| 3   | 2.852<br>0.4638E-16<br>-2.852  | ( -0.2938 , 0.1397 , 0.9456 )<br>( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01 )<br>( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 ) |

ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 265, 10)                  | ( 172, 16)                  | ( 25, 71)                   | ( 219, 18)                  | ( 128, 4)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 355 drc           | EĞİM= 80 drc                | KAYMA= 16 drc               |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 262 drc           | EĞİM= 74 drc                | KAYMA= 170 drc              |                             |                             |
| EMT3 | ( 36, 26)                   | ( 226, 63)                  | ( 128, 4)                   | ( 25, 71)                   | ( 219, 18)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 126 drc           | EĞİM= 64 drc                | KAYMA= 95 drc               |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 316 drc           | EĞİM= 27 drc                | KAYMA= 81 drc               |                             |                             |



## ENİYİ ÇİFT KUVVET ÇİFTİ (Best Double-Couple) :

\*\*\*\*\*

|          |       |           |         |         |             |  |
|----------|-------|-----------|---------|---------|-------------|--|
| M= 1.000 | 1 0 0 | + -0.4261 | -0.1673 | -0.9221 | 0.1882      |  |
|          | 0 1 0 |           | -0.9221 | 0.2624  | 0.2478      |  |
|          | 0 0 1 |           | 0.1882  | 0.2478  | -0.9508E-01 |  |

| ÖZDEĞERLER  |           | ÖZVEKTÖRLER |              |   |  |
|-------------|-----------|-------------|--------------|---|--|
| 0.4261      | ( 0.7352  | , 0.5992    | , -0.3170    | ) |  |
| -0.4187E-17 | ( 0.2938  | , 0.1397    | , 0.9456     | ) |  |
| -0.4261     | ( -0.6109 | , 0.7883    | , 0.7338E-01 | ) |  |

## ELEMENTER FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece)                   | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 265, 10)                                    | ( 172, 16)                  | ( 25, 71)                   | ( 219, 18)                  | ( 128, 4)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 355 drc EĞİM= 80 drc KAYMA= 16 drc  |                             |                             |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 262 drc EĞİM= 74 drc KAYMA= 170 drc |                             |                             |                             |                             |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( İB+DC+CLVD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

|          |         |          |         |         |             |  |
|----------|---------|----------|---------|---------|-------------|--|
| M= 1.000 | 1 0 0   | + -2.038 | -0.1673 | -0.9221 | 0.1882      |  |
|          | 0 1 0   |          | -0.9221 | 0.2624  | 0.2478      |  |
|          | 0 0 1   |          | 0.1882  | 0.2478  | -0.9508E-01 |  |
| + -2.852 | 0.1195  | -1.445   | -0.1345 |         |             |  |
|          | -1.445  | 0.8643   | 0.1735  |         |             |  |
|          | -0.1345 | 0.1735   | -0.9838 |         |             |  |

| EMT | ÖZDEĞERLER                     | ÖZVEKTÖRLER                                                                                                  |
|-----|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 2.038<br>-0.2628E-17<br>-2.038 | ( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 )<br>( 0.2938 , 0.1397 , 0.9456 )<br>( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01 )           |
| 3   | 2.852<br>2.852<br>-5.705       | ( 0.2661E-02, -0.9064E-01, 0.9959 )<br>( 0.7917 , 0.6086 , 0.5327E-01 )<br>( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01 ) |

## ELEMENTER FAY DOZLEMI ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 265, 10)                  | ( 172, 16)                  | ( 25, 71)                   | ( 219, 18)                  | ( 128, 4)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 355 drc           | EĞİM= 80 drc                | KAYMA= 16 drc               |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 262 drc           | EĞİM= 74 drc                | KAYMA= 170 drc              |                             |                             |
| EMT3 | ( 131, 49)                  | ( 305, 41)                  | ( 38, 3)                    | ( 272, 85)                  | ( 128, 4)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 221 drc           | EĞİM= 41 drc                | KAYMA= 85 drc               |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 35 drc            | EĞİM= 49 drc                | KAYMA= 94 drc               |                             |                             |
|      | ( 83, 5)                    | ( 173, 1)                   | ( 272, 85)                  | ( 38, 3)                    | ( 128, 4)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 173 drc           | EĞİM= 85 drc                | KAYMA= -179 drc             |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 263 drc           | EĞİM= 89 drc                | KAYMA= -5 drc               |                             |                             |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+DC+DC+DC ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 M = 1.000 & \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} + -0.6794 \begin{vmatrix} -0.4541 & -0.3995 & 0.5109 \\ -0.3995 & -0.3395 & 0.3220 \\ 0.5109 & 0.3220 & 0.7937 \end{vmatrix} \\
 + 4.211 & \begin{vmatrix} 0.1673 & 0.9221 & -0.1882 \\ 0.9221 & -0.2624 & -0.2478 \\ -0.1882 & -0.2478 & 0.9508E-01 \end{vmatrix} \\
 + -3.532 & \begin{vmatrix} 0.2868 & -0.5226 & -0.3227 \\ -0.5226 & 0.6019 & -0.7424E-01 \\ -0.3227 & -0.7424E-01 & -0.8888 \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                      | ÖZVEKTÖRLER                                                                                        |
|-----|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 0.6794<br>0.2901E-16<br>-0.6794 | ( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 )<br>( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01 )<br>( 0.2938 , 0.1397 , 0.9456 ) |
| 3   | 4.211<br>0.2740E-16<br>-4.211   | ( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 )<br>( 0.2938 , 0.1397 , 0.9456 )<br>( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01 ) |
| 4   | 3.532<br>0.5851E-16<br>-3.532   | ( 0.2938 , 0.1397 , 0.9456 )<br>( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 )<br>( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01 ) |

## ELEMENTER FAY DOZLEMI ÇÖZÜMLERİ :

| X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|

|      |                   |              |                |            |           |
|------|-------------------|--------------|----------------|------------|-----------|
| EMT2 | ( 36, 26)         | ( 226, 63)   | ( 128, 4)      | ( 219, 18) | ( 25, 71) |
| NP1: | DOĞRULTU= 126 drc | EĞİM= 64 drc | KAYMA= -95 drc |            |           |
| NP2: | DOĞRULTU= 316 drc | EĞİM= 27 drc | KAYMA= -81 drc |            |           |
| EMT3 | ( 265, 10)        | ( 172, 16)   | ( 25, 71)      | ( 219, 18) | ( 128, 4) |
| NP1: | DOĞRULTU= 355 drc | EĞİM= 80 drc | KAYMA= 16 drc  |            |           |
| NP2: | DOĞRULTU= 262 drc | EĞİM= 74 drc | KAYMA= 170 drc |            |           |
| EMT4 | ( 109, 46)        | ( 324, 38)   | ( 219, 18)     | ( 25, 71)  | ( 128, 4) |
| NP1: | DOĞRULTU= 199 drc | EĞİM= 44 drc | KAYMA= 117 drc |            |           |
| NP2: | DOĞRULTU= 54 drc  | EĞİM= 52 drc | KAYMA= 66 drc  |            |           |

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+CLVD+CLVD+CLVD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

|          |                 |            |         |        |
|----------|-----------------|------------|---------|--------|
| M= 1.000 | 1 0 0           | -0.7410    | 0.1231  | 0.8336 |
|          | 0 1 0   + 1.284 | 0.1231     | -0.9415 | 0.3963 |
|          | 0 0 1           | 0.8336     | 0.3963  | 1.682  |
| + 1.963  | 0.6214          | 1.322      | -0.6991 |        |
|          | 1.322           | 0.7716E-01 | -0.5698 |        |
|          | -0.6991         | -0.5698    | -0.6986 |        |
| + -2.248 | 0.1195          | -1.445     | -0.1345 |        |
|          | -1.445          | 0.8643     | 0.1735  |        |
|          | -0.1345         | 0.1735     | -0.9838 |        |

| EMT | ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                          |
|-----|------------|--------------------------------------|
| 2   | 2.568      | ( 0.2938 , 0.1397 , 0.9456 )         |
|     | -1.284     | ( 0.3003 , 0.9257 , -0.2301 )        |
|     | -1.284     | ( 0.9075 , -0.3516 , -0.2301 )       |
| 3   | 3.927      | ( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 )        |
|     | -1.963     | ( -0.2457 , -0.2003 , -0.9484 )      |
|     | -1.963     | ( -0.6318 , 0.7751 , -0.1176E-15)    |
| 4   | 2.248      | ( -0.5356E-02, -0.9680E-01, 0.9953 ) |
|     | 2.248      | ( 0.7917 , 0.6076 , 0.6336E-01)      |
|     | -4.495     | ( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01)     |

ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X                 | Y            | B              | T         | P          |
|------|-------------------|--------------|----------------|-----------|------------|
|      | (TRD,PLG)         | (TRD,PLG)    | (TRD,PLG)      | (TRD,PLG) | (TRD,PLG)  |
|      | ( derece)         | ( derece)    | ( derece)      | ( derece) | ( derece)  |
| EMT2 | ( 350, 30)        | ( 141, 56)   | ( 252, 13)     | ( 25, 71) | ( 159, 13) |
| NP1: | DOĞRULTU= 80 drc  | EĞİM= 60 drc | KAYMA= 75 drc  |           |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 231 drc | EĞİM= 34 drc | KAYMA= 114 drc |           |            |

|      |                   |              |                 |            |            |
|------|-------------------|--------------|-----------------|------------|------------|
|      | ( 61, 30)         | ( 270, 56)   | ( 159, 13)      | ( 25, 71)  | ( 252, 13) |
| NP1: | DOĞRULTU= 151 drc | EĞİM= 60 drc | KAYMA= 75 drc   |            |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 360 drc | EĞİM= 34 drc | KAYMA= 114 drc  |            |            |
| EMT3 | ( 266, 13)        | ( 173, 13)   | ( 39, 72)       | ( 219, 18) | ( 309, 0)  |
| NP1: | DOĞRULTU= 356 drc | EĞİM= 77 drc | KAYMA= 167 drc  |            |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 263 drc | EĞİM= 77 drc | KAYMA= 13 drc   |            |            |
|      | ( 219, 63)        | ( 39, 27)    | ( 309, 0)       | ( 219, 18) | ( 39, 72)  |
| NP1: | DOĞRULTU= 309 drc | EĞİM= 27 drc | KAYMA= -90 drc  |            |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 129 drc | EĞİM= 63 drc | KAYMA= -90 drc  |            |            |
| EMT4 | ( 132, 49)        | ( 304, 41)   | ( 38, 4)        | ( 267, 84) | ( 128, 4)  |
| NP1: | DOĞRULTU= 222 drc | EĞİM= 41 drc | KAYMA= 84 drc   |            |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 34 drc  | EĞİM= 49 drc | KAYMA= 95 drc   |            |            |
|      | ( 83, 6)          | ( 173, 0)    | ( 267, 84)      | ( 38, 4)   | ( 128, 4)  |
| NP1: | DOĞRULTU= 173 drc | EĞİM= 84 drc | KAYMA= -180 drc |            |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 263 drc | EĞİM= 90 drc | KAYMA= -6 drc   |            |            |

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, (  $I_B + V_D + V_D + V_D$  ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

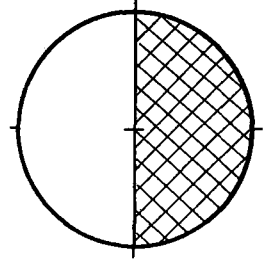
$$\begin{aligned}
 M = 1.000 & \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} + 2.852 \begin{vmatrix} 0.8634E-01 & 0.4104E-01 & 0.2779 \\ 0.4104E-01 & 0.1951E-01 & 0.1321 \\ 0.2779 & 0.1321 & 0.8941 \end{vmatrix} \\
 + 4.890 & \begin{vmatrix} 0.5405 & 0.4405 & -0.2330 \\ 0.4405 & 0.3591 & -0.1899 \\ -0.2330 & -0.1899 & 0.1005 \end{vmatrix} \\
 + -7.743 & \begin{vmatrix} 0.3732 & -0.4816 & -0.4483E-01 \\ -0.4816 & 0.6214 & 0.5785E-01 \\ -0.4483E-01 & 0.5785E-01 & 0.5385E-02 \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                           | ÖZVEKTÖRLER                                                                                                |
|-----|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 2.852<br>0.5564E-16<br>-0.1300E-18   | ( 0.2938 , 0.1397 , 0.9456 )<br>( 0.8737 , 0.3619 , -0.3250 )<br>( -0.3876 , 0.9217 , -0.1571E-01)         |
| 3   | 4.890<br>0.1732E-15<br>-0.1732E-15   | ( 0.7352 , 0.5992 , -0.3170 )<br>( -0.2730 , 0.6897 , 0.6706 )<br>( -0.6205 , 0.4065 , -0.6706 )           |
| 4   | -0.6126E-17<br>-0.4449E-15<br>-7.743 | ( 0.1088E-01, -0.8431E-01, 0.9964 )<br>( 0.7916 , 0.6095 , 0.4293E-01)<br>( -0.6109 , 0.7883 , 0.7338E-01) |



## 4. ELEMENTER MOMENT TANSÖR:

|     |      |      |
|-----|------|------|
| .00 | .00  | .00  |
| .00 | .00  | 1.00 |
| .00 | 1.00 | .00  |



## 5. ELEMENTER KAYNAĞA AIT GEOMETRİK ve FİZİKSEL PARAMETRELER ;

Doğrultu=270. drc

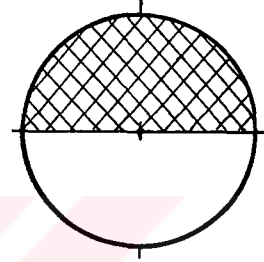
Eğim = 90. drc

Kayma =270. drc

Elementer moment(Mo)= .10E+20 N-m

## 5. ELEMENTER MOMENT TANSÖR:

|      |     |      |
|------|-----|------|
| .00  | .00 | 1.00 |
| .00  | .00 | .00  |
| 1.00 | .00 | .00  |



## 6. ELEMENTER KAYNAĞA AIT GEOMETRİK ve FİZİKSEL PARAMETRELER ;

Doğrultu= 90. drc

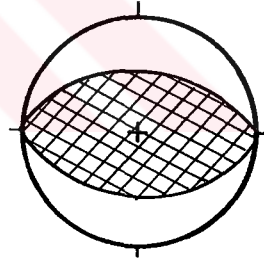
Eğim = 45. drc

Kayma = 90. drc

Elementer moment(Mo)= .10E+20 N-m

## 6. ELEMENTER MOMENT TANSÖR:

|       |     |      |
|-------|-----|------|
| -1.00 | .00 | .00  |
| .00   | .00 | .00  |
| .00   | .00 | 1.00 |



## K O M P L E K S M O M E N T T A N S Ö R

\*\*\*\*\*

Ölçek= .10E+20 (N-m)

M = 1.0 M1

+ 1.0 M2

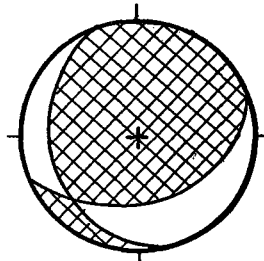
+ 1.0 M3

+ 1.0 M4

+ 1.0 M5

+ 1.0 M6

|      |      |      |
|------|------|------|
| 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.00 | .00  | 1.00 |
| 1.00 | 1.00 | 2.00 |



|             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|
| Mxx= 1.0000 | Myy= .0000  | Mzz= 2.0000 |
| Mxy= 1.0000 | Mxz= 1.0000 | Myz= 1.0000 |

# M O M E N T   T A N S Ö R   A N A L İ Z İ \*\*\*\*\*

## F A Y   D Ü Z L E M İ   Ç Ö Z Ü M Ü : \*\*\*\*\*

### ASAL EKSENLER;

|       |          |        |        |        |      |         |
|-------|----------|--------|--------|--------|------|---------|
| 1.(T) | ÖZDEĞER= | 3.214  | DALIM= | 49 drc | AZM= | 37 drc  |
| 2.(B) | ÖZDEĞER= | .4608  | DALIM= | 39 drc | AZM= | 198 drc |
| 3.(P) | ÖZDEĞER= | -.6751 | DALIM= | 10 drc | AZM= | 296 drc |

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 1.945

|      |           |         |       |        |        |         |
|------|-----------|---------|-------|--------|--------|---------|
| NP1: | DOĞRULTU= | 176 drc | EĞİM= | 66 drc | KAYMA= | 46 drc  |
| NP2: | DOĞRULTU= | 63 drc  | EĞİM= | 49 drc | KAYMA= | 147 drc |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRE UYGULANAN AYRIŞTIRMA İŞLEMLERİ: \*\*\*\*\*

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                 |
|------------|-----------------------------|
| 3.214      | ( .5207 , .3971 , .7558 )   |
| .4608      | ( .7392 , .2332 , -.6318 )  |
| -.6751     | ( -.4271 , .8877 , -.1721 ) |

## EN GENEL MOMENT TANSÖR AYRIŞIMI : \*\*\*\*\*

$$M = \begin{vmatrix} 1.000 & .0000 & .0000 \\ .0000 & 1.000 & .0000 \\ .0000 & .0000 & 1.000 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -.5392 & .0000 & .0000 \\ .0000 & -1.675 & .0000 \\ .0000 & .0000 & 2.214 \end{vmatrix}$$

## KAYNAĞIN SKALER MOMENTİ (Silver&Jordan,1982) ; \*\*\*\*\*

$$Mo = 2.345$$

## KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ; \*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= 3.000

MONOPOLE YÜZDESİ= % 50.0

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 25.6

CLVD YÜZDESİ= % 24.4

## NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ; ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= .2435

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 51.

CLVD YÜZDESİ= % 49.







## SİSMİK MOMENT TANSÖRE UYGULANAN AYRIŞTIRMA İŞLEMLERİ:

\*\*\*\*\*

| ÖZDEĞERLER |   | ÖZVEKTÖRLER |   |       |   |        |   |
|------------|---|-------------|---|-------|---|--------|---|
| 2.214      | ( | .5207       | , | .3971 | , | .7558  | ) |
| -.5392     | ( | .7392       | , | .2332 | , | -.6318 | ) |
| -1.675     | ( | -.4271      | , | .8877 | , | -.1721 | ) |

## EN GENEL MOMENT TANSÖR AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$M = \begin{vmatrix} -.3701E-16 & .0000 & .0000 \\ .0000 & -.3701E-16 & .0000 \\ .0000 & .0000 & -.3701E-16 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -.5392 & .0000 & .0000 \\ .0000 & -1.675 & .0000 \\ .0000 & .0000 & 2.214 \end{vmatrix}$$

## KAYNAĞIN SKALER MOMENTİ (Silver&amp;Jordan,1982) ;

\*\*\*\*\*

$$M_0 = 2.000$$

## KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

$$\text{ÖZDEĞERLER TOPLAMI} = -.1110E-15$$

$$\text{MONOPOLE YÜZDESİ} = \% .0$$

$$\text{DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ} = \% 51.2$$

$$\text{CLVD YÜZDESİ} = \% 48.8$$

## NANVOLUMETRIK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

$$\text{TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)} = .2435$$

$$\text{DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ} = \% 51.$$

$$\text{CLVD YÜZDESİ} = \% 49.$$



# M O M E N T   T A N S Ö R   A N A L İ Z İ \*\*\*\*\*

F A Y   D Ü Z L E M İ   ç ö z ü m ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

1.(T)    ÖZDEĞER=   7.083            DALIM=   0   drc            AZM=   50   drc  
 2.(B)    ÖZDEĞER= -2.000            DALIM=   90   drc            AZM=   180   drc  
 3.(P)    ÖZDEĞER= -5.083            DALIM=   0   drc            AZM=   320   drc  
 ENİYİ DOUBBLE-COUPLE; Mo=   6.083  
 NP1:    DOĞRULTU= 275   drc            EĞİM=   90   drc            KAYMA= 180   drc  
 NP2:    DOĞRULTU=   5   drc            EĞİM=   90   drc            KAYMA=   0   drc

SİSMİK MOMENT TANSÖRE UYGULANAN AYRIŞTIRMA İŞLEMLERİ:

\*\*\*\*\*

| ÖZDEĞERLER |   | ÖZVEKTÖRLER |   |        |   |       |   |
|------------|---|-------------|---|--------|---|-------|---|
| 7.083      | ( | .6464       | , | .7630  | , | .0000 | ) |
| -2.000     | ( | .0000       | , | .0000  | , | 1.000 | ) |
| -5.083     | ( | .7630       | , | -.6464 | , | .0000 | ) |

EN GENEL MOMENT TANSÖR AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

|    |  |       |       |       |  |   |        |       |        |       |  |
|----|--|-------|-------|-------|--|---|--------|-------|--------|-------|--|
| M= |  | .0000 | .0000 | .0000 |  |   | -2.000 | .0000 | .0000  |       |  |
|    |  | .0000 | .0000 | .0000 |  | + |        | .0000 | -5.083 | .0000 |  |
|    |  | .0000 | .0000 | .0000 |  |   |        | .0000 | .0000  | 7.083 |  |

KAYNAĞIN SKALER MOMENTİ (Silver&Jordan,1982) ;

\*\*\*\*\*

Mo =        6.325

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI=   .0000    (Sırf Deviyatrik Bileşen!)

MONOPOLE YÖZDESİ= %   .0

DOUBLE-COUPLE YÖZDESİ= % 43.5

CLVD YÖZDESİ= % 56.5

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

\*\*\*\*\*

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)=   .2824

DOUBLE-COUPLE YÖZDESİ= % 44.

CLVD YÖZDESİ= % 56.

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+Mj.C+Mn.C ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

|    |       |  |   |   |   |  |   |       |  |         |       |       |  |
|----|-------|--|---|---|---|--|---|-------|--|---------|-------|-------|--|
| M= | .0000 |  | 1 | 0 | 0 |  | + | 7.083 |  | -0.1644 | .9864 | .0000 |  |
|    |       |  | 0 | 1 | 0 |  |   |       |  | .9864   | .1644 | .0000 |  |
|    |       |  | 0 | 0 | 1 |  |   |       |  | .0000   | .0000 | .0000 |  |

|          |         |        |       |
|----------|---------|--------|-------|
| + -2.000 | - .5822 | .4932  | .0000 |
|          | .4932   | -.4178 | .0000 |
|          | .0000   | .0000  | 1.000 |

| EMT | ÖZDEĞERLER               | ÖZVEKTÖRLER                                                                          |
|-----|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 7.083<br>.0000<br>-7.083 | ( .6464 , .7630 , .0000 )<br>( .0000 , .0000 , 1.000 )<br>( .7630 , -.6464 , .0000 ) |
| 3   | 2.000<br>.0000<br>-2.000 | ( .7630 , -.6464 , .0000 )<br>( .6464 , .7630 , .0000 )<br>( .0000 , .0000 , 1.000 ) |

## ELEMENTER FAY DOZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD, PLG)<br>( derece) |
|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| EMT2 | ( 5, 0)                      | ( 95, 0)                     | ( 180, 90)                   | ( 50, 0)                     | ( 320, 0)                    |
| NP1: | DOĞRULTU=                    | 275 drc                      | EĞİM= 90 drc                 | KAYMA= 180 drc               |                              |
| NP2: | DOĞRULTU=                    | 5 drc                        | EĞİM= 90 drc                 | KAYMA= 0 drc                 |                              |
| EMT3 | ( 320, 45)                   | ( 140, 45)                   | ( 50, 0)                     | ( 320, 0)                    | ( 180, 90)                   |
| NP1: | DOĞRULTU=                    | 50 drc                       | EĞİM= 45 drc                 | KAYMA= -90 drc               |                              |
| NP2: | DOĞRULTU=                    | 230 drc                      | EĞİM= 45 drc                 | KAYMA= -90 drc               |                              |

## ENİYİ ÇİFT KUVVET ÇİFTİ (Best Double-Couple) :

\*\*\*\*\*

|          |       |         |        |       |       |
|----------|-------|---------|--------|-------|-------|
| M= .0000 | 1 0 0 | + 1.000 | -.1644 | .9864 | .0000 |
|          | 0 1 0 |         | .9864  | .1644 | .0000 |
|          | 0 0 1 |         | .0000  | .0000 | .0000 |

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                |
|------------|----------------------------|
| 1.000      | ( .6464 , .7630 , .0000 )  |
| .0000      | ( .0000 , .0000 , 1.000 )  |
| -1.000     | ( .7630 , -.6464 , .0000 ) |

## ELEMENTER FAY DOZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD, PLG)<br>( derece) |
|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| EMT2 | ( 5, 0)                      | ( 95, 0)                     | ( 180, 90)                   | ( 50, 0)                     | ( 320, 0)                    |
| NP1: | DOĞRULTU=                    | 275 drc                      | EĞİM= 90 drc                 | KAYMA= 180 drc               |                              |
| NP2: | DOĞRULTU=                    | 5 drc                        | EĞİM= 90 drc                 | KAYMA= 0 drc                 |                              |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+DC+CLVD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 3.083 \begin{bmatrix} -.1644 & .9864 & .0000 \\ .9864 & .1644 & .0000 \\ .0000 & .0000 & .0000 \end{bmatrix} \\
 & + 2.000 \begin{bmatrix} .2534 & 1.480 & .0000 \\ 1.480 & .7466 & .0000 \\ .0000 & .0000 & -1.000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

| EM1 | ÖZDEĞERLER                | ÖZVEKTÖRLER                                                                          |
|-----|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 3.083<br>.0000<br>-3.083  | ( .6464 , .7630 , .0000 )<br>( .0000 , .0000 , 1.000 )<br>( .7630 , -.6464 , .0000 ) |
| 3   | 4.000<br>-2.000<br>-2.000 | ( .6464 , .7630 , .0000 )<br>( .7630 , -.6464 , .0000 )<br>( .0000 , .0000 , 1.000 ) |

## ELEMENTER FAY DOZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 5, 0)                     | ( 95, 0)                    | ( 180, 90)                  | ( 50, 0)                    | ( 320, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 275 drc           | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 180 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 5 drc             | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 0 drc                |                             |                             |
| EMT3 | ( 50, 45)                   | ( 230, 45)                  | ( 320, 0)                   | ( 50, 0)                    | ( 360, 90)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 140 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 320 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
|      | ( 5, 0)                     | ( 95, 0)                    | ( 180, 90)                  | ( 50, 0)                    | ( 320, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 275 drc           | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 180 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 5 drc             | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 0 drc                |                             |                             |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+DC+DC+DC ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 1.028 \begin{bmatrix} -.5822 & .4932 & .0000 \\ .4932 & -.4178 & .0000 \\ .0000 & .0000 & 1.000 \end{bmatrix} \\
 & + -4.055 \begin{bmatrix} .1644 & -.9864 & .0000 \\ -.9864 & -.1644 & .0000 \\ .0000 & .0000 & .0000 \end{bmatrix} \\
 & + 3.028 \begin{bmatrix} .4178 & .4932 & .0000 \\ .4932 & .5822 & .0000 \\ .0000 & .0000 & -1.000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER               | ÖZVEKTÖRLER                                                                          |
|-----|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 1.028<br>.0000<br>-1.028 | ( .0000 , .0000 , 1.000 )<br>( .6464 , .7630 , .0000 )<br>( .7630 , -.6464 , .0000 ) |
| 3   | 4.055<br>.0000<br>-4.055 | ( .6464 , .7630 , .0000 )<br>( .0000 , .0000 , 1.000 )<br>( .7630 , -.6464 , .0000 ) |
| 4   | 3.028<br>.0000<br>-3.028 | ( .6464 , .7630 , .0000 )<br>( .7630 , -.6464 , .0000 )<br>( .0000 , .0000 , 1.000 ) |

## ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 320, 45)                  | ( 140, 45)                  | ( 50, 0)                    | ( 180, 90)                  | ( 140, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 50 drc            | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= 90 drc               |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 230 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= 90 drc               |                             |                             |
| EMT3 | ( 5, 0)                     | ( 95, 0)                    | ( 180, 90)                  | ( 50, 0)                    | ( 320, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 275 drc           | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 180 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 5 drc             | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 0 drc                |                             |                             |
| EMT4 | ( 50, 45)                   | ( 230, 45)                  | ( 320, 0)                   | ( 50, 0)                    | ( 360, 90)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 140 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 320 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+CLVD+CLVD+CLVD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.000 & .0000 & .0000 \\ .0000 & -1.000 & .0000 \\ .0000 & .0000 & 2.000 \end{bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} .7466 & -1.480 & .0000 \\ -1.480 & .2534 & .0000 \\ .0000 & .0000 & -1.000 \end{bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} .2534 & 1.480 & .0000 \\ 1.480 & .7466 & .0000 \\ .0000 & .0000 & -1.000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER               |
|-----|------------|---------------------------|
| 2   | .6667      | ( 1.000 , .0000 , .0000 ) |

|   |        |   |       |   |        |   |       |   |
|---|--------|---|-------|---|--------|---|-------|---|
|   | .6667  | ( | .0000 | , | 1.000  | , | .0000 | ) |
|   | -1.333 | ( | .0000 | , | .0000  | , | 1.000 | ) |
| 3 | 1.694  | ( | .6464 | , | .7630  | , | .0000 | ) |
|   | 1.694  | ( | .0000 | , | .0000  | , | 1.000 | ) |
|   | -3.389 | ( | .7630 | , | -.6464 | , | .0000 | ) |
| 4 | 4.722  | ( | .6464 | , | .7630  | , | .0000 | ) |
|   | -2.361 | ( | .7630 | , | -.6464 | , | .0000 | ) |
|   | -2.361 | ( | .0000 | , | .0000  | , | 1.000 | ) |

## ELEMENTER FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 0, 45)                    | ( 180, 45)                  | ( 90, 0)                    | ( 0, 0)                     | ( 180, 90)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 90 drc            | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 270 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
|      | ( 90, 45)                   | ( 270, 45)                  | ( 0, 0)                     | ( 90, 0)                    | ( 270, 90)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 180 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 0 drc             | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
| EMT3 | ( 5, 0)                     | ( 95, 0)                    | ( 180, 90)                  | ( 50, 0)                    | ( 320, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 275 drc           | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 180 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 5 drc             | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 0 drc                |                             |                             |
|      | ( 320, 45)                  | ( 140, 45)                  | ( 50, 0)                    | ( 180, 90)                  | ( 140, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 50 drc            | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= 90 drc               |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 230 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= 90 drc               |                             |                             |
| EMT4 | ( 50, 45)                   | ( 230, 45)                  | ( 320, 0)                   | ( 50, 0)                    | ( 360, 90)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 140 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 320 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
|      | ( 5, 0)                     | ( 95, 0)                    | ( 180, 90)                  | ( 50, 0)                    | ( 320, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 275 drc           | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 0 drc                |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 5 drc             | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 180 drc              |                             |                             |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+VD+VD+VD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

|    |        |        |          |       |       |       |  |
|----|--------|--------|----------|-------|-------|-------|--|
| M= | .0000  | 1 0 0  | + -2.000 | .0000 | .0000 | .0000 |  |
|    |        | 0 1 0  |          | .0000 | .0000 | .0000 |  |
|    |        | 0 0 1  |          | .0000 | .0000 | 1.000 |  |
| +  | -5.083 | .5822  | -.4932   | .0000 |       |       |  |
|    |        | -.4932 | .4178    | .0000 |       |       |  |
|    |        | .0000  | .0000    | .0000 |       |       |  |
| +  | 7.083  | .4178  | .4932    | .0000 |       |       |  |
|    |        | .4932  | .5822    | .0000 |       |       |  |



| EMT | ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                |
|-----|------------|----------------------------|
| 2   | .0000      | ( 1.000 , .0000 , .0000 )  |
|     | .0000      | ( .0000 , 1.000 , .0000 )  |
|     | -2.000     | ( .0000 , .0000 , 1.000 )  |
| 3   | .0000      | ( .6464 , .7630 , .0000 )  |
|     | .0000      | ( .0000 , .0000 , 1.000 )  |
|     | -5.083     | ( .7630 , -.6464 , .0000 ) |
| 4   | 7.083      | ( .6464 , .7630 , .0000 )  |
|     | .0000      | ( .7630 , -.6464 , .0000 ) |
|     | .0000      | ( .0000 , .0000 , 1.000 )  |



## EK-G: DOĞRULTU ATIMLI SAĞ YÖNLÜ BİR FAYIN MOMENT TANSÖRÜ ve ANALİZ ÖZETİ

### 90/90/180 KAYNAĞINI TANIMLAYAN MOMENT TANSÖR ve ANALİZİ \*\*\*\*\*

KAYNAĞA AIT GEOMETRİK ve FİZİKSEL PARAMETRELER ;  
^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

Doğrultu= 90. drc  
Eğim = 90. drc  
Kayma =180. drc  
Elementer moment(Mo)= .60E+20 N-m

### M O M E N T T A N S Ö R \*\*\*\*\*

Ölçek= .60E+20 (N-m)

|      |      |     |
|------|------|-----|
| .00  | 1.00 | .00 |
| 1.00 | .00  | .00 |
| .00  | .00  | .00 |

|             |            |            |
|-------------|------------|------------|
| Mxx= .0000  | Myy= .0000 | Mzz= .0000 |
| Mxy= 1.0000 | Mxz= .0000 | Myz= .0000 |

### M O M E N T T A N S Ö R A N A L İ Z İ \*\*\*\*\*

### F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü : \*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

|        |                 |               |               |
|--------|-----------------|---------------|---------------|
| 1. (T) | ÖZDEĞER= 1.000  | DALIM= 0 drc  | AZİM= 45 drc  |
| 2. (B) | ÖZDEĞER= .0000  | DALIM= 90 drc | AZİM= 180 drc |
| 3. (P) | ÖZDEĞER= -1.000 | DALIM= 0 drc  | AZİM= 315 drc |

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 1.000

|      |                   |              |                |
|------|-------------------|--------------|----------------|
| NP1: | DOĞRULTU= 270 drc | EĞİM= 90 drc | KAYMA= 180 drc |
| NP2: | DOĞRULTU= 0 drc   | EĞİM= 90 drc | KAYMA= 0 drc   |

### KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ; \*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= .0000 (Sırf Deviyatrik Bileşen!)

MONOPOLE YÜZDESİ= % .0

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= %100.0

CLVD YÜZDESİ= % .0

### NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ; ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= .0000

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= %100.

CLVD YÜZDESİ= % 0.



## M

|      |      |       |
|------|------|-------|
| .96  | .96  | 1.45  |
| .96  | .96  | 1.45  |
| 1.45 | 1.45 | -1.92 |

|      |       |      |        |      |         |
|------|-------|------|--------|------|---------|
| Mxx= | .9623 | Myy= | .9623  | Mzz= | -1.9245 |
| Mxy= | .9623 | Mxz= | 1.4480 | Myz= | 1.4480  |

### M O M E N T   T A N S Ö R   A N A L İ Z İ

\*\*\*\*\*

F A Y   D Ö Z L E M İ   Ç Ö Z Ö M Ü :

\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

|       |          |            |        |        |      |         |
|-------|----------|------------|--------|--------|------|---------|
| 1.(T) | ÖZDEĞER= | 2.810      | DALIM= | 23 drc | AZN= | 45 drc  |
| 2.(B) | ÖZDEĞER= | -.1349E-15 | DALIM= | 0 drc  | AZN= | 315 drc |
| 3.(P) | ÖZDEĞER= | -2.810     | DALIM= | 67 drc | AZN= | 225 drc |

ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 2.810

|      |           |         |       |        |        |         |
|------|-----------|---------|-------|--------|--------|---------|
| NP1: | DOĞRULTU= | 135 drc | EĞİM= | 22 drc | KAYMA= | -90 drc |
| NP2: | DOĞRULTU= | 315 drc | EĞİM= | 68 drc | KAYMA= | -90 drc |

SİSMİK MOMENT TANSÖRE UYGULANAN AYRIŞTIRMA İŞLEMLERİ:

\*\*\*\*\*

| ÖZDEĞERLER |   | ÖZVEKTÖRLER |   |        |               |
|------------|---|-------------|---|--------|---------------|
| 2.810      | ( | .6490       | , | .6490  | , .3970 )     |
| -.1349E-15 | ( | -.7071      | , | .7071  | , -.5064E-07) |
| -2.810     | ( | -.2807      | , | -.2807 | , .9178 )     |

EN GENEL MOMENT TANSÖR AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$M = \begin{vmatrix} -.3410E-15 & .0000 & .0000 \\ .0000 & -.3410E-15 & .0000 \\ .0000 & .0000 & -.3410E-15 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} .2062E-15 & .0000 & .0000 \\ .0000 & 2.810 & .0000 \\ .0000 & .0000 & -2.810 \end{vmatrix}$$

KAYNAĞIN SKALER MOMENTİ (Silver&Jordan,1982) ;

\*\*\*\*\*

Mo = 2.810

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= -.1023E-14

MONOPOLE YÖZDESİ= % .0

DOUBLE-COUPLE YÖZDESİ= % 99.9

CLVD YÖZDESİ= % .1

NANVOLUMETRIK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

\*\*\*\*\*

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= .7336E-16

DOUBLE-COUPLE YÖZDESİ= %100.  
CLVD YÖZDESİ= % 0.

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, (  $1B+Mj.C+Mn.C$  ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.810 & & \\ & -2.810 & \\ & & -2.810 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} .7879E-01 & -.9212 & -.2576 \\ -.9212 & .7879E-01 & -.2576 \\ -.2576 & -.2576 & -.1576 \end{bmatrix}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                            | ÖZVEKTÖRLER                                                                                 |
|-----|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 2.810<br>-2.383E-16<br>-2.810         | ( .6490 , .6490 , .3970 )<br>( -.7071 , .7071 , -.5064E-07 )<br>( -.2807 , -.2807 , .9178 ) |
| 3   | .2062E-15<br>-.9715E-33<br>-.2062E-15 | ( -.7071 , .7071 , -.5064E-07 )<br>( -.2807 , -.2807 , .9178 )<br>( .6490 , .6490 , .3970 ) |

ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD, PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD, PLG)<br>( derece) |
|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| EMT2 | ( 45, 68)                    | ( 225, 22)                   | ( 315, 0)                    | ( 45, 23)                    | ( 225, 67)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 135 drc            | EĞİM= 22 drc                 | KAYMA= -90 drc               |                              |                              |
| NP2: | DOĞRULTU= 315 drc            | EĞİM= 68 drc                 | KAYMA= -90 drc               |                              |                              |
| EMT3 | ( 92, 16)                    | ( 358, 16)                   | ( 225, 67)                   | ( 315, 0)                    | ( 45, 23)                    |
| NP1: | DOĞRULTU= 182 drc            | EĞİM= 74 drc                 | KAYMA= -163 drc              |                              |                              |
| NP2: | DOĞRULTU= 88 drc             | EĞİM= 74 drc                 | KAYMA= -17 drc               |                              |                              |

ENİYİ ÇİFT KUVVET ÇİFTİ (Best Double-Couple) :

\*\*\*\*\*

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -.4441E-15 & & \\ & -.4441E-15 & \\ & & -.4441E-15 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} .7879E-01 & -.9212 & -.2576 \\ -.9212 & .7879E-01 & -.2576 \\ -.2576 & -.2576 & -.1576 \end{bmatrix}$$

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                     |
|------------|---------------------------------|
| .4441E-15  | ( .6490 , .6490 , .3970 )       |
| -.1334E-31 | ( -.7071 , .7071 , -.5064E-07 ) |
| -.4441E-15 | ( -.2807 , -.2807 , .9178 )     |

## ELEMENTER FAY DOZLEMI ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece)                   | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 45, 68)                                     | ( 225, 22)                  | ( 315, 0)                   | ( 45, 23)                   | ( 225, 67)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 135 drc EĞİM= 22 drc KAYMA= -90 drc |                             |                             |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 315 drc EĞİM= 68 drc KAYMA= -90 drc |                             |                             |                             |                             |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+DC+CLVD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 N = & \begin{bmatrix} -0.3410E-15 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.810 & -0.3424 & -0.3424 & -0.5153 \\ -0.3424 & -0.3424 & -0.5153 & -0.5153 \\ -0.5153 & -0.5153 & -0.5153 & 0.6848 \end{bmatrix} \\
 + & \begin{bmatrix} -0.2062E-15 & -0.7636 & 0.2364 & -0.7729 \\ 0.2364 & -0.7636 & -0.7729 & -0.7729 \\ -0.7729 & -0.7729 & 1.527 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                              | ÖZVEKTÖRLER                                                                                          |
|-----|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 2.810<br>-0.1349E-15<br>-2.810          | ( 0.6490 , 0.6490 , 0.3970 )<br>( -0.7071 , 0.7071 , -0.5064E-07 )<br>( -0.2807 , -0.2807 , 0.9178 ) |
| 3   | 0.2062E-15<br>0.2062E-15<br>-0.4123E-15 | ( -0.7352 , 0.6776 , -0.1761E-01 )<br>( 0.6170 , 0.6797 , 0.3966 )<br>( -0.2807 , -0.2807 , 0.9178 ) |

## ELEMENTER FAY DOZLEMI ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece)                    | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 45, 68)                                      | ( 225, 22)                  | ( 315, 0)                   | ( 45, 23)                   | ( 225, 67)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 135 drc EĞİM= 22 drc KAYMA= -90 drc  |                             |                             |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 315 drc EĞİM= 68 drc KAYMA= -90 drc  |                             |                             |                             |                             |
| EMT3 | ( 159, 40)                                     | ( 295, 41)                  | ( 48, 23)                   | ( 317, 1)                   | ( 225, 67)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 249 drc EĞİM= 50 drc KAYMA= -121 drc |                             |                             |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 25 drc EĞİM= 49 drc KAYMA= -58 drc   |                             |                             |                             |                             |
|      | ( 50, 68)                                      | ( 227, 22)                  | ( 317, 1)                   | ( 48, 23)                   | ( 225, 67)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 140 drc EĞİM= 22 drc KAYMA= -87 drc  |                             |                             |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 317 drc EĞİM= 68 drc KAYMA= -91 drc  |                             |                             |                             |                             |

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+DC+DC+DC ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -.9367 & & \\ & & \\ & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} .7879E-01 & -.9212 & -.2576 \\ -.9212 & .7879E-01 & -.2576 \\ -.2576 & -.2576 & -.1576 \end{pmatrix} \\
 + & 1.873 \begin{pmatrix} .3424 & .3424 & .5153 \\ .3424 & .3424 & .5153 \\ .5153 & .5153 & -.6848 \end{pmatrix} \\
 + & -.9367 \begin{pmatrix} -.4212 & .5788 & -.2576 \\ .5788 & -.4212 & -.2576 \\ -.2576 & -.2576 & .8424 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                   | ÖZVEKTÖRLER                                                                                 |
|-----|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | .9367<br>.2544E-16<br>-.9367 | ( .6490 , .6490 , .3970 )<br>( -.2807 , -.2807 , .9178 )<br>( -.7071 , .7071 , -.5064E-07 ) |
| 3   | 1.873<br>.2112E-16<br>-1.873 | ( .6490 , .6490 , .3970 )<br>( -.7071 , .7071 , -.5064E-07 )<br>( -.2807 , -.2807 , .9178 ) |
| 4   | .9367<br>.3573E-16<br>-.9367 | ( -.7071 , .7071 , -.5064E-07 )<br>( .6490 , .6490 , .3970 )<br>( -.2807 , -.2807 , .9178 ) |

ELEMENTER FAY DÜZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 92, 16)                   | ( 358, 16)                  | ( 225, 87)                  | ( 45, 23)                   | ( 315, 0)                   |
| NP1: | DÖĞRULTU= 182 drc           | EĞİM= 74 drc                | KAYMA= 163 drc              |                             |                             |
| NP2: | DÖĞRULTU= 88 drc            | EĞİM= 74 drc                | KAYMA= 17 drc               |                             |                             |
| EMT3 | ( 45, 68)                   | ( 225, 22)                  | ( 315, 0)                   | ( 45, 23)                   | ( 225, 87)                  |
| NP1: | DÖĞRULTU= 135 drc           | EĞİM= 22 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
| NP2: | DÖĞRULTU= 315 drc           | EĞİM= 68 drc                | KAYMA= -90 drc              |                             |                             |
| EMT4 | ( 157, 40)                  | ( 293, 40)                  | ( 45, 23)                   | ( 315, 0)                   | ( 225, 87)                  |
| NP1: | DÖĞRULTU= 247 drc           | EĞİM= 50 drc                | KAYMA= -121 drc             |                             |                             |
| NP2: | DÖĞRULTU= 23 drc            | EĞİM= 50 drc                | KAYMA= -59 drc              |                             |                             |

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+CLVD+CLVD+CLVD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} .5000 & -1.500 & .1074E-06 \\ -1 & & \\ & & \end{pmatrix}$$



|   |        |        |        |        |  |
|---|--------|--------|--------|--------|--|
|   |        | .2636  | 1.264  | .7729  |  |
| + | .9367  | 1.264  | .2636  | .7729  |  |
|   |        | .7729  | .7729  | -.5273 |  |
|   |        |        |        |        |  |
|   |        | -.7636 | .2364  | -.7729 |  |
| + | -.9367 | .2364  | -.7636 | -.7729 |  |
|   |        | -.7729 | -.7729 | 1.527  |  |

| EMT | ÖZDEĞERLER                           | ÖZVEKTÖRLER                                                                                        |
|-----|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | .4495E-16<br>.4495E-16<br>-.8990E-16 | ( .3581E-07, -.3581E-07, -1.000 )<br>( .7071, .7071, -.1474E-15 )<br>( -.7071, .7071, -.5064E-07 ) |
| 3   | 1.873<br>-.9367<br>-.9367            | ( .6490, .6490, .3970 )<br>( -.4221, -.1269, .8976 )<br>( -.6329, .7501, -.1916 )                  |
| 4   | .9367<br>.9367<br>-1.873             | ( -.6901, .7237, .1027E-01 )<br>( .6671, .6305, .3968 )<br>( -.2807, -.2807, .9178 )               |

## ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 315, 45)                  | ( 135, 45)                  | ( 225, 0)                   | ( 138, 90)                  | ( 315, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 45 drc            | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= 90 drc               |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 225 drc           | EĞİM= 45 drc                | KAYMA= 90 drc               |                             |                             |
|      | ( 270, 0)                   | ( 360, 0)                   | ( 134, 90)                  | ( 225, 0)                   | ( 315, 0)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 360 drc           | EĞİM= 90 drc                | KAYMA=-180 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 270 drc           | EĞİM= 90 drc                | KAYMA= 0 drc                |                             |                             |
| EMT3 | ( 89, 8)                    | ( 355, 25)                  | ( 197, 64)                  | ( 45, 23)                   | ( 310, 11)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 179 drc           | EĞİM= 82 drc                | KAYMA= 155 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 85 drc            | EĞİM= 65 drc                | KAYMA= 9 drc                |                             |                             |
|      | ( 67, 66)                   | ( 216, 21)                  | ( 310, 11)                  | ( 45, 23)                   | ( 197, 64)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 157 drc           | EĞİM= 24 drc                | KAYMA= -62 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 306 drc           | EĞİM= 69 drc                | KAYMA=-102 drc              |                             |                             |
| EMT4 | ( 155, 41)                  | ( 292, 40)                  | ( 43, 23)                   | ( 134, 1)                   | ( 225, 67)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 245 drc           | EĞİM= 49 drc                | KAYMA=-122 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 22 drc            | EĞİM= 50 drc                | KAYMA= -59 drc              |                             |                             |
|      | ( 42, 68)                   | ( 224, 22)                  | ( 134, 1)                   | ( 43, 23)                   | ( 225, 67)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 132 drc           | EĞİM= 22 drc                | KAYMA= -92 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 314 drc           | EĞİM= 68 drc                | KAYMA= -89 drc              |                             |                             |

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜ, ( 1B+VD+VD+VD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} .2062E-15 \\ .2062E-15 \\ .2062E-15 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .5000 & -.5000 & .3581E-07 \\ -.5000 & .5000 & -.3581E-07 \\ .3581E-07 & -.3581E-07 & .2565E-14 \end{bmatrix} \\
 & + 2.810 \begin{bmatrix} .4212 & .4212 & .2576 \\ .4212 & .4212 & .2576 \\ .2576 & .2576 & .1576 \end{bmatrix} \\
 & + -2.810 \begin{bmatrix} .7879E-01 & .7879E-01 & -.2576 \\ .7879E-01 & .7879E-01 & -.2576 \\ -.2576 & -.2576 & .8424 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                           | ÖZVEKTÖRLER                                                                                           |
|-----|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | .2062E-15<br>.1005E-45<br>-.1233E-31 | ( -.7071 , .7071 , -.5064E-07 )<br>( -.1292E-07, .5869E-07, 1.000 )<br>( .7071 , .7071 , -.3236E-07 ) |
| 3   | 2.810<br>.6992E-18<br>-.5621E-16     | ( .6490 , .6490 , .3970 )<br>( -.6716 , .7339 , -.1017 )<br>( -.3573 , -.2006 , .9122 )               |
| 4   | -.5225E-17<br>-.5029E-16<br>-2.810   | ( .9589 , -.4108E-01, .2807 )<br>( -.4108E-01, .9589 , .2807 )<br>( -.2807 , -.2807 , .9178 )         |

# **EK-J: 13 Mart 1992 ERZİNCAN DEPREMİ İÇİN HRVD TARAFINDAN KESTİRİLEN MOMENT TANSÖR ve ANALİZİ**

" 13.03.1992 Erzincan " OLAYININ M O M E N T T A N S Ö R A N A L İ Z İ  
\*\*\*\*\*

MOMENT TANSÖR : (HRVD)  
\*\*\*\*\*

Mrr= -.1200 Mtt= -.9900 Mff= 1.120  
Mrt= .4000E-01 Mrf= -.1500 Mtf= -.4600

F A Y D Ü Z L E M İ Ç Ö Z Ü M Ü :  
\*\*\*\*\*

ASAL EKSENLER;

1.(T) ÖZDEĞER= 1.234 DALIM= 7 drc AZM= 78 drc  
2.(B) ÖZDEĞER= -.1377 DALIM= 83 drc AZM= 263 drc  
3.(P) ÖZDEĞER= -1.086 DALIM= 1 drc AZM= 168 drc  
ENİYİ DOUBLE-COUPLE; Mo= 1.160  
NP1: DOĞRULTU= 213 drc EĞİM= 85 drc KAYMA= 4 drc  
NP2: DOĞRULTU= 123 drc EĞİM= 86 drc KAYMA= 175 drc

SİSMİK MOMENT TANSÖRE UYGULANAN AYRIŞTIRMA İŞLEMLERİ:  
\*\*\*\*\*

MOMENT TANSÖRÜN MATRİS FORMU ;

|           |        |           |
|-----------|--------|-----------|
| -.9900    | -.4600 | .4000E-01 |
| -.4600    | 1.120  | -.1500    |
| .4000E-01 | -.1500 | -.1200    |

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                   |
|------------|-------------------------------|
| 1.234      | ( -.2032 , .9725 , -.1138 )   |
| -.1377     | ( -.1447E-01, .1132 , .9935 ) |
| -1.086     | ( .9790 , .2035 , -.8934E-02) |

EN GENEL MOMENT TANSÖR AYRIŞIMI :  
\*\*\*\*\*

|    |                       |   |                    |
|----|-----------------------|---|--------------------|
| M= | .3333E-02 .0000 .0000 | + | -.1410 .0000 .0000 |
|    | .0000 .3333E-02 .0000 |   | .0000 -1.089 .0000 |
|    | .0000 .0000 .3333E-02 |   | .0000 .0000 1.230  |

KAYNAĞIN SKALER MOMENTİ (Silver&Jordan,1982) ;

\*\*\*\*\*

Mo = 1.166

KAYNAĞIN DURUM GÖSTERGE DEĞERLERİ ;

\*\*\*\*\*

ÖZDEĞERLER TOPLAMI= .1000E-01

MONOPOLE YÜZDESİ= % .3

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 76.8

CLVD YÜZDESİ= % 22.9

NANVOLUMETRİK BİLEŞEN İÇİN DURUM ;

\*\*\*\*\*

TERS DURUM GÖSTERGE KATSAYISI (Eps.)= .1146

DOUBLE-COUPLE YÜZDESİ= % 77.

CLVD YÜZDESİ= % 23.

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+Mj.C+Mn.C ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$M = \begin{bmatrix} .3333E-02 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} + 1.230 \begin{bmatrix} -.9172 & -.3969 & .3187E-01 \\ -.3969 & .9043 & -.1088 \\ .3187E-01 & -.1088 & .1286E-01 \end{bmatrix}$$

$$+ -.1410 \begin{bmatrix} -.9583 & -.2009 & -.5628E-02 \\ -.2009 & -.2862E-01 & .1143 \\ -.5628E-02 & .1143 & .9869 \end{bmatrix}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                    | ÖZVEKTÖRLER                                                                                   |
|-----|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | 1.230<br>-.2441E-17<br>-1.230 | ( -.2032 , .9725 , -.1138 )<br>( -.1447E-01, .1132 , .9935 )<br>( .9790 , .2035 , -.8934E-02) |
| 3   | .1410<br>-.4755E-18<br>-.1410 | ( .9790 , .2035 , -.8934E-02)<br>( -.2032 , .9725 , -.1138 )<br>( -.1447E-01, .1132 , .9935 ) |

ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 123, 5)                   | ( 33, 4)                    | ( 263, 83)                  | ( 78, 7)                    | ( 168, 1)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 213 drc           | Eğim= 85 drc                | KAYMA= 4 drc                |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 123 drc           | Eğim= 86 drc                | KAYMA= 175 drc              |                             |                             |
| EMT3 | ( 342, 44)                  | ( 175, 45)                  | ( 78, 7)                    | ( 168, 1)                   | ( 263, 83)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 72 drc            | Eğim= 46 drc                | KAYMA= -81 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 265 drc           | Eğim= 45 drc                | KAYMA= -99 drc              |                             |                             |

## ENİYİ ÇİFT KUVVET ÇİFTİ (Best Double-Couple) :

\*\*\*\*\*

$$M = \begin{bmatrix} .3333E-02 & 1 & 0 & 0 \\ & 0 & 1 & 0 \\ & & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} .7384E-01 & - .9172 & - .3969 & .3187E-01 \\ & - .3969 & .9043 & - .1088 \\ & & .3187E-01 & - .1088 & .1286E-01 \end{bmatrix}$$

| ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                    |
|------------|--------------------------------|
| .7384E-01  | ( - .2032 , .9725 , - .1138 )  |
| -.6263E-18 | ( - .1447E-01, .1132 , .9935 ) |
| -.7384E-01 | ( .9790 , .2035 , -.8934E-02)  |

## ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 123, 5)                   | ( 33, 4)                    | ( 263, 83)                  | ( 78, 7)                    | ( 168, 1)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 213 drc           | EĞİM= 85 drc                | KAYMA= 4 drc                |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 123 drc           | EĞİM= 86 drc                | KAYMA= 175 drc              |                             |                             |

## SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( İB+DC+CLVD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$M = \begin{bmatrix} .3333E-02 & 1 & 0 & 0 \\ & 0 & 1 & 0 \\ & & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} .9483 & - .9172 & - .3969 & .3187E-01 \\ & - .3969 & .9043 & - .1088 \\ & & .3187E-01 & - .1088 & .1286E-01 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} .1410 & - .8761 & - .5929 & .6936E-01 \\ & - .5929 & 1.837 & - .3319 \\ & & .6936E-01 & - .3319 & - .9612 \end{bmatrix}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER | ÖZVEKTÖRLER                    |
|-----|------------|--------------------------------|
| 2   | .9483      | ( - .2032 , .9725 , - .1138 )  |
|     | -.2360E-17 | ( - .1447E-01, .1132 , .9935 ) |
|     | -.9483     | ( .9790 , .2035 , -.8934E-02)  |
| 3   | .2820      | ( - .2032 , .9725 , - .1138 )  |
|     | -.1410     | ( - .6373E-02, .1149 , .9934 ) |
|     | -.1410     | ( .9791 , .2026 , - .1715E-01) |

## ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

| X<br>(TRD,PLG) | Y<br>(TRD,PLG) | B<br>(TRD,PLG) | T<br>(TRD,PLG) | P<br>(TRD,PLG) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

|      |                   |              |                |          |            |
|------|-------------------|--------------|----------------|----------|------------|
| EMT2 | ( 123, 5)         | ( 33, 4)     | ( 263, 83)     | ( 78, 7) | ( 168, 1)  |
| NP1: | DOĞRULTU= 213 drc | E&İM= 85 drc | KAYMA= 4 drc   |          |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 123 drc | E&İM= 86 drc | KAYMA= 175 drc |          |            |
| EMT3 | ( 123, 5)         | ( 33, 4)     | ( 267, 83)     | ( 78, 7) | ( 168, 1)  |
| NP1: | DOĞRULTU= 213 drc | E&İM= 85 drc | KAYMA= 4 drc   |          |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 123 drc | E&İM= 86 drc | KAYMA= 175 drc |          |            |
|      | ( 259, 38)        | ( 77, 52)    | ( 168, 1)      | ( 78, 7) | ( 267, 83) |
| NP1: | DOĞRULTU= 349 drc | E&İM= 52 drc | KAYMA= -89 drc |          |            |
| NP2: | DOĞRULTU= 167 drc | E&İM= 38 drc | KAYMA= -92 drc |          |            |

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+DC+DC+DC ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} .3161 \\ .1041E-16 \\ -.3161 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -.9583 & -.2009 & -.5628E-02 \\ -.2009 & -.2862E-01 & .1143 \\ -.5628E-02 & .1143 & .9869 \end{bmatrix} \\
 + & -.7732 \begin{bmatrix} .9172 & .3969 & -.3187E-01 \\ .3969 & -.9043 & .1088 \\ -.3187E-01 & .1088 & -.1286E-01 \end{bmatrix} \\
 + & .4571 \begin{bmatrix} .4109E-01 & -.1960 & .3749E-01 \\ -.1960 & .9329 & -.2231 \\ .3749E-01 & -.2231 & -.9740 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                    | ÖZVEKTÖRLER                                                                               |
|-----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | .3161<br>.1041E-16<br>-.3161  | ( -.1447E-01, .1132, .9935 )<br>( -.2032, .9725, -.1138 )<br>( .9790, .2035, -.8934E-02 ) |
| 3   | .7732<br>-.1860E-17<br>-.7732 | ( -.2032, .9725, -.1138 )<br>( -.1447E-01, .1132, .9935 )<br>( .9790, .2035, -.8934E-02 ) |
| 4   | .4571<br>.1748E-17<br>-.4571  | ( -.2032, .9725, -.1138 )<br>( .9790, .2035, -.8934E-02 )<br>( -.1447E-01, .1132, .9935 ) |

ELEMENTER FAY DOZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 342, 44)                  | ( 175, 45)                  | ( 78, 7)                    | ( 263, 83)                  | ( 168, 1)                   |
| NP1: | DOĞRULTU= 72 drc            | E&İM= 46 drc                | KAYMA= 99 drc               |                             |                             |

|      |                   |              |                |
|------|-------------------|--------------|----------------|
| NP2: | DOĞRULTU= 265 drc | EĞİM= 45 drc | KAYMA= 81 drc  |
| EMT3 | ( 123, 5)         | ( 33, 4)     | ( 263, 83)     |
| NP1: | DOĞRULTU= 213 drc | EĞİM= 85 drc | KAYMA= 4 drc   |
| NP2: | DOĞRULTU= 123 drc | EĞİM= 86 drc | KAYMA= 175 drc |
| EMT4 | ( 259, 38)        | ( 78, 52)    | ( 168, 1)      |
| NP1: | DOĞRULTU= 349 drc | EĞİM= 52 drc | KAYMA= -89 drc |
| NP2: | DOĞRULTU= 168 drc | EĞİM= 38 drc | KAYMA= -91 drc |

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+CLVD+CLVD+CLVD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -.4589E-01 & -.9994 & -.4913E-02 & -.4312E-01 \\ -.4913E-02 & -.9616 & .3374 & \\ -.4312E-01 & .3374 & 1.961 & \end{bmatrix} \\
 + & \begin{bmatrix} -.3620 & 1.875 & .5978 & -.2624E-01 \\ .5978 & -.8757 & -.5455E-02 & \\ -.2624E-01 & -.5455E-02 & -.9998 & \end{bmatrix} \\
 + & \begin{bmatrix} .4112 & -.8761 & -.5929 & .6936E-01 \\ -.5929 & 1.837 & -.3319 & \\ .6936E-01 & -.3319 & -.9612 & \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                           | ÖZVEKTÖRLER                                                                                          |
|-----|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | .4589E-01<br>.4589E-01<br>-.9178E-01 | ( .9584 , -.2815 , .4604E-01 )<br>( .2849 , .9529 , -.1044 )<br>( -.1447E-01, .1132 , .9935 )        |
| 3   | .3620<br>.3620<br>-.7240             | ( -.2036 , .9790 , -.8467E-02 )<br>( .7023E-02, .1011E-01, .9999 )<br>( .9790 , .2035 , -.8934E-02 ) |
| 4   | .8224<br>-.4112<br>-.4112            | ( -.2032 , .9725 , -.1138 )<br>( .1484E-01, .1192 , .9928 )<br>( .9790 , .2001 , -.3866E-01 )        |

ELEMENTER FAY DÖZLEMİ ÇÖZÜMLERİ :

|      | X<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | Y<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | B<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | T<br>(TRD,PLG)<br>( derece) | P<br>(TRD,PLG)<br>( derece) |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EMT2 | ( 10, 47)                   | ( 202, 42)                  | ( 107, 6)                   | ( 16, 3)                    | ( 263, 83)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 100 drc           | EĞİM= 43 drc                | KAYMA= -81 drc              |                             |                             |
| NP2: | DOĞRULTU= 292 drc           | EĞİM= 48 drc                | KAYMA= -98 drc              |                             |                             |
|      | ( 284, 39)                  | ( 110, 51)                  | ( 16, 3)                    | ( 107, 6)                   | ( 263, 83)                  |
| NP1: | DOĞRULTU= 14 drc            | EĞİM= 51 drc                | KAYMA= -93 drc              |                             |                             |

|      |                                                     |              |                 |
|------|-----------------------------------------------------|--------------|-----------------|
| NP2: | DOĞRULTU= 200 drc                                   | EĞİM= 39 drc | KAYMA= -86 drc  |
| EMT3 | ( 123, 1) ( 213, 0) ( 305, 89) ( 78, 0) ( 168, 1)   |              |                 |
| NP1: | DOĞRULTU= 213 drc                                   | EĞİM= 89 drc | KAYMA= 0 drc    |
| NP2: | DOĞRULTU= 303 drc                                   | EĞİM= 90 drc | KAYMA= -179 drc |
|      | ( 348, 44) ( 169, 46) ( 78, 0) ( 305, 89) ( 168, 1) |              |                 |
| NP1: | DOĞRULTU= 78 drc                                    | EĞİM= 46 drc | KAYMA= 91 drc   |
| NP2: | DOĞRULTU= 259 drc                                   | EĞİM= 44 drc | KAYMA= 89 drc   |
| EMT4 | ( 123, 6) ( 33, 3) ( 277, 83) ( 78, 7) ( 168, 2)    |              |                 |
| NP1: | DOĞRULTU= 213 drc                                   | EĞİM= 84 drc | KAYMA= 3 drc    |
| NP2: | DOĞRULTU= 123 drc                                   | EĞİM= 87 drc | KAYMA= 174 drc  |
|      | ( 260, 38) ( 76, 51) ( 168, 2) ( 78, 7) ( 277, 83)  |              |                 |
| NP1: | DOĞRULTU= 350 drc                                   | EĞİM= 52 drc | KAYMA= -87 drc  |
| NP2: | DOĞRULTU= 166 drc                                   | EĞİM= 39 drc | KAYMA= -94 drc  |

SİSMİK MOMENT TANSÖRÜN, ( IB+VD+VD+VD ) ŞEKLİNDE AYRIŞIMI :

\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{bmatrix} .3333E-02 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -.1410 & .2093E-03 & -.1638E-02 & -.1437E-01 \\ -.1638E-02 & .1281E-01 & .1125 & .1125 \\ -.1437E-01 & .1125 & .9870 & .9870 \end{bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} -1.089 & .9585 & .1993 & -.8746E-02 \\ .1993 & .4143E-01 & -.1818E-02 & -.1818E-02 \\ -.8746E-02 & -.1818E-02 & .7981E-04 & .7981E-04 \end{bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} 1.230 & .4130E-01 & -.1976 & .2312E-01 \\ -.1976 & .9458 & -.1106 & -.1106 \\ .2312E-01 & -.1106 & .1294E-01 & .1294E-01 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

| EMT | ÖZDEĞERLER                        | ÖZVEKTÖRLER                                                                                      |
|-----|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | .4347E-18<br>.5802E-20<br>-.1410  | ( -.4602E-01, .9924, -.1138 )<br>( .9988, .4737E-01, .9150E-02 )<br>( -.1447E-01, .1132, .9935 ) |
| 3   | .2103E-18<br>-.2103E-18<br>-1.089 | ( -.1377, .6936, .7071 )<br>( -.1501, .6910, -.7071 )<br>( .9790, .2035, -.8934E-02 )            |
| 4   | 1.230<br>.6948E-17<br>-.8810E-20  | ( -.2032, .9725, -.1138 )<br>( .9774, .2084, .3536E-01 )<br>( -.5809E-01, .1040, .9929 )         |



## EK - K: SIKIŞTIRILMIŞ LİNEER VEKTÖR DİPOL (CLVD)

Sıkıştırılmış Lineer Vektör Dipol, matematik olarak, 2 ikili kuvvet-çiftinin (DC) toplamı şeklinde açıklanabilir (Geller, 1976). Dolayısıyla, matris normunda  $M = \lambda v$  şeklinde de tanımlanabilen böyle bir moment tansörü,

$$\lambda v = \lambda^{(1)} v + \lambda^{(2)} v \quad (K.1)$$

şeklinde ayrıştırmak da mümkündür. Burada  $\lambda$ ,  $M$ 'nin özdeğerlerini;  $v$ , özvektörlerini gösterir.  $\lambda^{(1),(2)}$  ise herbiri ikili kuvvet-çifti olan 2 elementer moment tansörün özdeğerleridir.

Örnek olarak;

$$M = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (K.2)$$

tansörü bir CLVD tanımlar. Yukarıdaki yaklaşıma göre  $\lambda^{(1)}$  ve  $\lambda^{(2)}$ , Tablo K.1'deki gibi alınır.

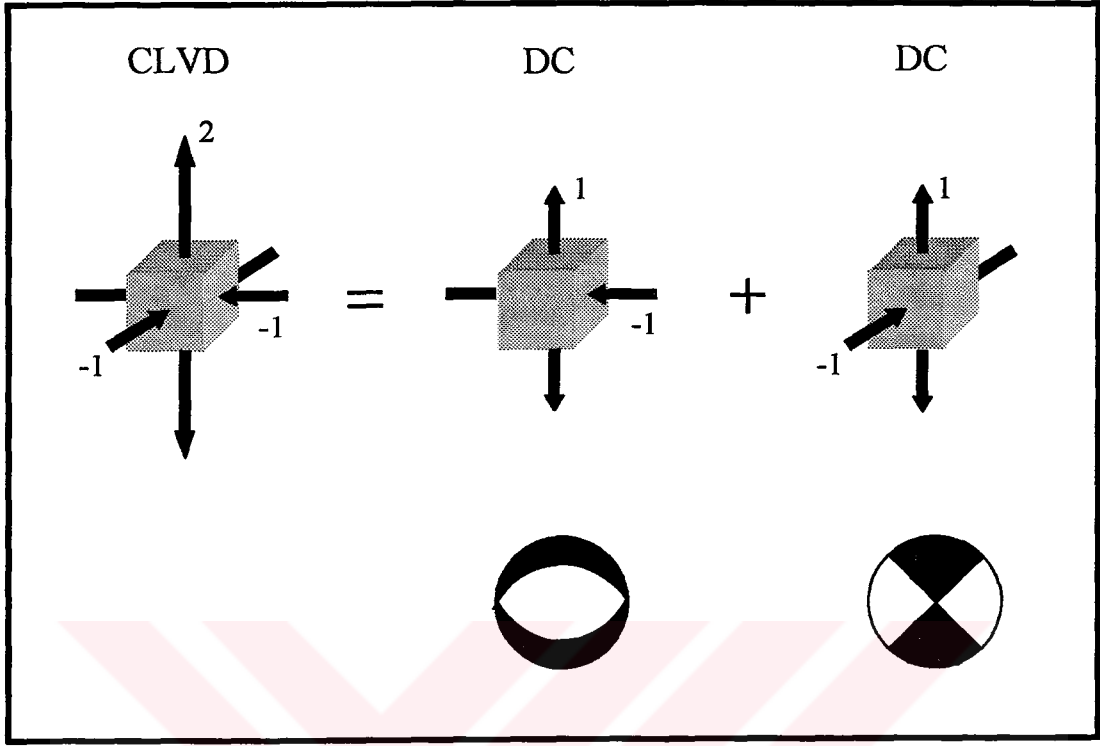
Tablo K.1 (K.2) eşitliğinde verilen moment tansöre ait özdeğer ve özvektörler ile herbiri ikili kuvvet-çifti olarak tanımlanan ayrışımın özdeğerleri.

| ÖZDEĞERLER  |                   |                   | ÖZVEKTÖRLER |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------|
| $\lambda_i$ | $\lambda_i^{(1)}$ | $\lambda_i^{(2)}$ | $v_i$       |
| 2           | 1                 | 1                 | (1, 0, 0)   |
| -1          | 0                 | -1                | (0, 1, 0)   |
| -1          | -1                | 0                 | (0, 0, 1)   |

Böylece, (K.2) eşitliği ile verilmiş olan moment tansör,

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (K.3)$$

şekline dönüşmüş olur. Bunun, kuvvet bileşenleri anlamında şematik görünümü ise Şekil K.1'de verilir.



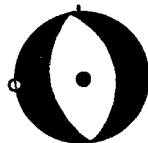
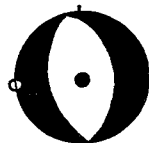
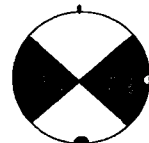
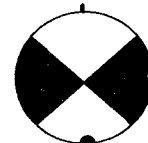
**Şekil K.1** Bir Sıkıştırılmış Lineer Vektör Dipolün (CLVD), 2 ikili kuvvet-çiftinin (DC) toplamı olarak şematik görünümü.

CLVD'nin fiziksel anlamına gelince, bir akışkan üzerine uygulanan basınç/çekme kuvvetlerine akışkanın tepkisi olarak açıklanabilir (bkz: Sipkin, 1986). Yani, buradaki fizik mekanizma, sıvıların sıkıştırılamazlığına dayanır. O halde, bir akışkanın olabilmesi için bir erimenin olması, erimenin olması için ise yüksek bir ısıdan söz edilmesi gerekir. Buna göre, yüksek bir CLVD bileşeninin varlığı, sıcak bir ortamla ilgili olunduğu anlamına gelir. Kaynağın salt bir dislokasyonla meydana gelmediğinin işaretidir. Dolayısıyla bu tür oluşumların da ya jeotermal alanlarda yada volkanik bölgelerde beklenmesi gerekir. Batini ve diğ. (1995), böyle bir örneği gösterir.

## EK-L: YERKABUĞU MODELİ DENEMELERİ

Bu denemelerin temel amacı, Lineer Moment Tansör Ters Çözüm sonuçları üzerinde çeşitli kabuk kalınlıklarının olası etkisinin ne düzeyde olabileceği sorusuna cevap aramaktır. Türkiye'nin Batı ve Doğu uçlarını simgeleyen bölgelerdeki, yaygın ve kabul edilebilir güncel kalınlıklar dikkate alınarak (örneğin; Batı Anadolu için 28-32 km, Doğu Anadolu için 36-38 km) bir irdeleme yapılmıştır. Bu irdelemede, her iki bölge için, önce **güncel** kabuk kalınlıkları, sonra yaklaşık 10 km kalınlık ilaveli **abartılı** kalınlık modelleri denenmiştir. Bu deneme sonuçlarının özeti, aşağıda Tablo L.1'de gösterilmiştir.

**Tablo L.1** Lineer Moment Tansör Ters Çözümleri Açısından, Türkiye'nin batısı ile doğusu arasındaki Yerkabuğu modellerinin karşılaştırılması.

|                                                  |  | BATI ANADOLU (Karaburun)                                                            |                     |               |                                                                                     |                 |                     | DOĞU ANADOLU (Bingöl)                                                                |                      |               |                                                                                       |                 |                      |                |  |
|--------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|----------------|--|
|                                                  |  | Güncel Kabuk Modeli                                                                 |                     |               | Abartılı Kabuk Modeli                                                               |                 |                     | Güncel Kabuk Modeli                                                                  |                      |               | Abartılı Kabuk Modeli                                                                 |                 |                      |                |  |
|                                                  |  | $h(km)$                                                                             | $\alpha(km/sn)$     |               | $h(km)$                                                                             | $\alpha(km/sn)$ |                     | $h(km)$                                                                              | $\alpha(km/sn)$      |               | $h(km)$                                                                               | $\alpha(km/sn)$ |                      |                |  |
|                                                  |  | 1                                                                                   | 5.0                 |               | 2                                                                                   | 5.0             |                     | 2                                                                                    | 5.0                  |               | 1                                                                                     | 5.0             |                      |                |  |
|                                                  |  | 5                                                                                   | 6.0                 |               | 8                                                                                   | 6.0             |                     | 8                                                                                    | 6.0                  |               | 5                                                                                     | 6.0             |                      |                |  |
|                                                  |  | 22                                                                                  | 6.8                 |               | 28                                                                                  | 6.8             |                     | 28                                                                                   | 6.8                  |               | 22                                                                                    | 6.8             |                      |                |  |
|                                                  |  | -----                                                                               | 7.8                 |               | -----                                                                               | 7.8             |                     | -----                                                                                | 7.8                  |               | -----                                                                                 | 7.8             |                      |                |  |
|                                                  |  | $\Sigma h_i=28$                                                                     |                     |               | $\Sigma h_i=38$                                                                     |                 |                     | $\Sigma h_i=38$                                                                      |                      |               | $\Sigma h_i=28$                                                                       |                 |                      |                |  |
| Fay Düzlemi Çözümleri                            |  | Parametreler                                                                        | Dalım( $^{\circ}$ ) |               | Azimut( $^{\circ}$ )                                                                |                 | Dalım( $^{\circ}$ ) |                                                                                      | Azimut( $^{\circ}$ ) |               | Dalım( $^{\circ}$ )                                                                   |                 | Azimut( $^{\circ}$ ) |                |  |
|                                                  |  | T                                                                                   | 0                   |               | 263                                                                                 |                 | 0                   |                                                                                      | 263                  |               | 0                                                                                     |                 | 83                   |                |  |
|                                                  |  | B                                                                                   | 0                   |               | 173                                                                                 |                 | 0                   |                                                                                      | 353                  |               | 90                                                                                    |                 | 308                  |                |  |
|                                                  |  | P                                                                                   | 90                  |               | 43                                                                                  |                 | 90                  |                                                                                      | 113                  |               | 0                                                                                     |                 | 177                  |                |  |
|                                                  |  | Parametreler                                                                        | $\phi$              | d             | $\lambda$                                                                           | $\phi$          | d                   | $\lambda$                                                                            | $\phi$               | d             | $\lambda$                                                                             | $\phi$          | d                    | $\lambda$      |  |
|                                                  |  | NP1                                                                                 | 173 $^{\circ}$      | 45 $^{\circ}$ | -90 $^{\circ}$                                                                      | 173 $^{\circ}$  | 45 $^{\circ}$       | -90 $^{\circ}$                                                                       | 132 $^{\circ}$       | 90 $^{\circ}$ | 180 $^{\circ}$                                                                        | 128 $^{\circ}$  | 90 $^{\circ}$        | 180 $^{\circ}$ |  |
|                                                  |  | NP2                                                                                 | 353 $^{\circ}$      | 45 $^{\circ}$ | -90 $^{\circ}$                                                                      | 353 $^{\circ}$  | 45 $^{\circ}$       | -90 $^{\circ}$                                                                       | 222 $^{\circ}$       | 90 $^{\circ}$ | 0 $^{\circ}$                                                                          | 218 $^{\circ}$  | 90 $^{\circ}$        | 0 $^{\circ}$   |  |
| Fay Mekanizması Diyagramları                     |  |  |                     |               |  |                 |                     |  |                      |               |  |                 |                      |                |  |
| Eşdeğer Kuvvet Bileşenlerinin Katkı Oranları (%) |  | Kaynak                                                                              | Monopole            | 69.6          |                                                                                     |                 | 67.4                |                                                                                      |                      | 14.5          |                                                                                       |                 | 15.7                 |                |  |
|                                                  |  |                                                                                     | DC                  | 17.4          |                                                                                     |                 | 17.5                |                                                                                      |                      | 69.7          |                                                                                       |                 | 64.7                 |                |  |
|                                                  |  |                                                                                     | CLVD                | 13.0          |                                                                                     |                 | 15.1                |                                                                                      |                      | 15.8          |                                                                                       |                 | 19.6                 |                |  |
|                                                  |  | Deviyatrik Bileşen                                                                  | DC                  | 57            |                                                                                     |                 | 54                  |                                                                                      |                      | 82            |                                                                                       |                 | 77                   |                |  |
|                                                  |  |                                                                                     | CLVD                | 43            |                                                                                     |                 | 46                  |                                                                                      |                      | 18            |                                                                                       |                 | 23                   |                |  |

Tablo L.1'in **titizlikle** incelenmesinden, gayet açık olarak görölmektedir ki Türkiye'nin doğu-batı doğrultusundaki iki ucunda kabul gören kabuk modellerindeki **toplam kalınlık** farklılığı, sözkonusu çözümlerde kayda değer bir **saçılma** yaratmamaktadır.



## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet UTKU, 1960 Atça (Aydın) doğumludur. 1977 yılında Nazilli Lisesi'nden mezun olduktan sonra, 1983 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Bölümü'nü bitirdi. 1985 yılında aynı üniversiteden Master derecesini aldı. Aynı yıl İ.T.Ü. Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. TÜBİTAK tarafından Yurtiçi Doktora bursuna lâayık görüldü. 1988 yılında Almanya Bilimler Akademisi'nde UNESCO 9. Uluslararası Eğitim Kursu'na katıldı.

