

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

**GÜNEY PASİFİK OKYANUSU BİSMARK LEVHALARINDAKİ  
BÜYÜK DEPREMLERİN KIRILMA VE GERİLME ANALİZLERİ  
VE ANADOLU JEODİNAMİĞİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Emrah BUDAKOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Murat UTKUCU**

**Haziran 2017**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEY PASİFİK OKYANUSU BİSMARK LEVHALARINDAKİ  
BÜYÜK DEPREMLERİN KIRILMA VE GERİLME ANALİZLERİ  
VE ANADOLU JEODİNAMİĞİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

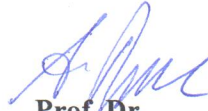
Emrah BUDAĞOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 29/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



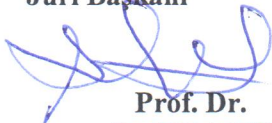
Prof. Dr.  
Murat UTKUCU  
Jüri Başkanı



Prof. Dr.  
Ali PINAR  
Üye



Prof. Dr.  
Gündüz HORASAN  
Üye



Prof. Dr.  
Şerif BARIŞ  
Üye



Yrd. Doç. Dr.  
Günay BEYHAN  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Emrah BUDAKOĞLU

07.07.2017

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca almış olduğum destek ve yardımlardan ötürü danışmanım Prof. Dr. Murat UTKUCU'ya teşekkür ederim. Tez sırasında yönlendirmeleriyle ve anlayışlı tavrıyla her zaman yanımda olan Prof. Dr. Ali PINAR'a, Yrd. Doç. Dr. Günay BEYHAN'a, Prof. Dr. Şerif BARIŞ'a ve Prof. Dr. Gündüz HORASAN'a teşekkür ederim. Kullandığım bilgisayar kodunun temini için Doç. Dr. Onur Tan ve desteklerini hep gördüğüm değerli büyüğüm Süleyman TUNÇ'a teşekkür ederim. Yükümün hafifletilmesi ve her daim manevi desteklerinden dolayı Hilal YALÇIN'a, yardımlarından ötürü Serap KIZILBUĞA ve Yavuz GÜNEŞ'e teşekkür ederim. Süreç içerisinde yaşadığım sıkıntılı ve zor günlerimde hem teknik hemde manevi desteklerini hiç esirgemeyen kardeşim gibi gördüğüm Ali SİLAHTAR'a teşekkürü bir borç bilirim. Lisans hayatımdan beri yanımda olarak bana abilik yapan, her türlü destek ve imkanı sağlayan değerli hocam ve abim Dr. Deniz ÇAKA'ya teşekkür ederim. Kendi imkânlarından fedakârlık yaparak bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan annem Mücella BUDAKOĞLU'na ve kardeşlerim Başak ÖZTATAR, Belma ATANUR ve Alican BUDAKOĞLU'na ne kadar teşekkür etsem azdır. Aynı zamanda sonradan hayatıma giren ve bana destek olan değerli büyüklerim Halime ve Zeki ŞEKER ve kardeşim Gülnihal ŞEKER'e teşekkür ederim.

Ve eşime... Sıkıntılı, stresli ve çekilmez bir insan olabildiğim çalışmalarım sürecinde her daim bana katlanan ve desteklerini hiç esirgemeyen, bana koşulsuz inanan hayat ve yol arkadaşıma sonsuz teşekkür ederim.

Ve tez sürecimin son yılında kaybettiğim babama... Bana göstermiş olduğun sabrın inancın ve desteğin, maddi ve manevi sunduğun imkanlar, şerefli bir soyad ve ahlak, karakterime işlediğin mücadele azmin ve merhametin için sana ne kadar teşekkür etsem azdır. Herşey için teşekkür ediyor ve rahmet diliyorum.



# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
TABLOLAR LİSTESİ .....	xxx
ÖZET .....	xxxvii
SUMMARY .....	xxxviii

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Amaç ve Kapsam .....	1
1.2. Yeni Gine Bölgenin Tektoniği ve Depremselliği .....	5
1.2.1. Levha düzenlerine genel bir bakış .....	5
1.2.2. Papua Yeni Gine'deki başlıca tektonik unsurlar .....	7
1.2.2.1. Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği .....	7
1.2.2.2. Güney Bismark Levhası ve Doğu kenarı-Pasifik Levhası sınırı .....	8
1.2.2.3. Yeni Britanya Hendeği .....	8
1.2.2.4. Solomon Denizi Levhası .....	9
1.2.2.5. Trobriand Çukuru .....	10
1.2.2.6. Woodlark Havzası .....	10
1.2.2.7. Avustralya ve Güney Bismark Levhaları sınırı .....	11
1.2.2.8. Ramu-Markham fay zonu .....	12
1.2.3. Levha kinematiki .....	12
1.2.4. Bölgenin depremselliği .....	14

## BÖLÜM 2.

YÖNTEM .....	19
2.1. Deprem Dalga Şekli Modellemesi .....	19
2.1.1. Kaynak zaman fonksiyonu .....	26
2.2. Sonlu Fay Analizi .....	27
2.2.1. Çalışmada kullanılan sonlu fay ters çözüm yöntemi .....	28
2.3. Coulomb Sattik Gerilme Değişimlerinin Modellenmesi .....	32
2.3.1. Coulomb yenilme kriteri .....	33

## BÖLÜM 3.

ANALİZ VE BULGULAR .....	40
3.1. Giriş .....	40
3.2. Sonlu Fay Analizleri .....	43
3.2.1. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) sonlu fay analizi .....	44
3.2.1.1. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) ..	44
3.2.1.2. Kullanılan telesismik veri .....	46
3.2.1.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	47
3.2.1.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	48
3.2.2. 23 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu fay analizi .....	52
3.2.2.1. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) ..	52
3.2.2.2. Kullanılan telesismik veri .....	54
3.2.2.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	55
3.2.2.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	56
3.2.3. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w = 6.7$ ) sonlu fay analizi .....	60
3.2.3.1. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w = 6.7$ )	60
3.2.3.2. Kullanılan telesismik veri .....	62
3.2.3.3. Sonlu fay parametrizasyonu .....	63
3.2.3.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	64

3.2.4. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu fay analizi .....	68
3.2.4.1. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) .....	68
3.2.4.2. Kullanılan telesismik veri .....	70
3.2.4.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	71
3.2.4.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	72
3.2.5. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları Depremi ( $M_w = 7.6$ ) sonlu fay analizi .....	76
3.2.5.1. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları Depremi ( $M_w = 7.6$ ) .....	76
3.2.5.2. Kullanılan telesismik veri .....	78
3.2.5.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	79
3.2.5.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	81
3.2.6. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 7.2$ ) sonlu fay analizi .....	86
3.2.6.1. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 7.2$ ) .....	86
3.2.6.2. Kullanılan telesismik veri .....	88
3.2.6.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	89
3.2.6.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	90
3.2.7. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) sonlu fay analizi .....	94
3.2.7.1. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) .....	94
3.2.7.2. Kullanılan telesismik veri .....	95
3.2.7.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	97
3.2.7.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	98
3.2.8. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 7.0$ ) sonlu fay analizi .....	101
3.2.8.1. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 7.0$ ) ...	101
3.2.8.2. Kullanılan telesismik veri .....	103
3.2.8.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	105
3.2.8.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	106

3.2.9. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) sonlu fay analizi .....	109
3.2.9.1. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) ...	109
3.2.9.2. Kullanılan telesismik veri .....	111
3.2.9.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	113
3.2.9.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	114
3.2.10. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 7.0$ ) sonlu fay analizi .....	118
3.2.10.1. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 7.0$ ) ..	118
3.2.10.2. Kullanılan telesismik veri .....	120
3.2.10.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	121
3.2.10.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	122
3.2.11. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) sonlu fay analizi .....	128
3.2.11.1. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) .....	127
3.2.11.2. Kullanılan telesismik veri .....	128
3.2.11.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	130
3.2.11.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	131
3.2.12. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 8.0$ ) sonlu fay analizi .....	135
3.2.12.1. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 8.0$ ) .....	135
3.2.12.2. Kullanılan telesismik veri .....	137
3.2.12.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	139
3.2.12.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	140
3.2.13. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 7.8$ ) sonlu fay analizi .....	145
3.2.13.1. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 7.8$ ) .....	145
3.2.13.2. Kullanılan telesismik veri .....	146
3.2.13.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	148

3.2.13.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	149
3.2.14. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 7.8$ )	
sonlu fay analizi .....	153
3.2.14.1. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi	
( $M_w \approx 7.8$ ) .....	153
3.2.14.2. Kullanılan telesismik veri .....	154
3.2.14.3. Sonlu-fay model parametrisasyon .....	156
3.2.14.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	157
3.2.15. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.7$ )	
sonlu fay analizi .....	162
3.2.15.1. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi	
( $M_w \approx 6.7$ ) .....	162
3.2.15.2. Kullanılan telesismik veri .....	165
3.2.15.3. Solu fay model parametrisasyonu .....	165
3.2.15.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	166
3.2.16. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu	
fay analizi .....	171
3.2.16.1. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları Depremi	
( $M_w \approx 6.7$ ) .....	171
3.2.16.2. Kullanılan telesismik veri .....	173
3.2.16.3. Sonlu fay model parametrisasyonu .....	174
3.2.16.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	175
3.2.17. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) sonlu fay	
analizi .....	179
3.2.17.1. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) ...	179
3.2.17.2. Kullanılan telesismik veri .....	180
3.2.17.3. Sonlu fay model parametrisasyonu .....	182
3.2.17.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	183
3.2.18. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.8$ )	
sonlu fay analizi .....	182
3.2.18.1. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi	
( $M_w \approx 6.8$ ) .....	187

3.2.18.2. Kullanılan telesismik veri .....	188
3.2.18.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	190
3.2.18.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	191
3.2.19. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) sonlu fay analizi .....	194
3.2.19.1. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ )	194
3.2.19.2. Kullanılan telesismik veri .....	195
3.2.19.3. Sonlu fay parametrizasyonu .....	197
3.2.19.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	198
3.2.20. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya Depremi ( $M_w = 6.7$ ) sonlu fay analizi .....	202
3.2.20.1. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya Depremi ( $M_w = 6.7$ ) ...	202
3.2.20.2. Kullanılan telesismik veri .....	203
3.2.20.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	204
3.2.20.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	205
3.2.21. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_w = 8.1$ ) sonlu fay analizi .....	208
3.2.21.1. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_w = 8.1$ )	208
3.2.21.2. Kullanılan telesismik veri .....	210
3.2.21.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	211
3.2.21.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	212
3.2.22. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu fay analizi .....	217
3.2.22.1. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) .....	217
3.2.22.2. Kullanılan telesismik veri .....	219
3.2.22.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	220
3.2.22.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	221
3.2.23. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) sonlu fay analizi .....	224
3.2.23.1. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) .....	224

3.2.23.2. Kullanılan telesismik veri .....	225
3.2.23.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	227
3.2.23.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	228
3.2.24. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.2$ ) sonlu fay analizi .....	230
3.2.24.1. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.2$ ) .....	231
3.2.24.2. Kullanılan telesismik veri .....	233
3.2.24.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	234
3.2.24.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	235
3.2.25. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.5$ ) sonlu fay analizi .....	239
3.2.25.1. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.5$ ) .....	239
3.2.25.2. Kullanılan telesismik veri .....	241
3.2.25.3. Solu fay model parametrizasyonu .....	242
3.2.25.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	243
3.2.26. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=7.5$ ) sonlu fay analizi .....	249
3.2.26.1. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=7.5$ ) .....	249
3.2.26.2. Kullanılan telesismik veri .....	250
3.2.26.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	252
3.2.26.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	253
3.2.27. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=6.7$ ) sonlu fay analizi .....	258
3.2.27.1. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=6.7$ ) .....	259
3.2.27.2. Kullanılan telesismik veri .....	259
3.2.27.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	260
3.2.27.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	261

3.2.28. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=6.8$ ) sonlu fay analizi .....	264
3.2.28.1. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=6.8$ ) .....	264
3.2.28.2. Kullanılan telesismik veri .....	265
3.2.28.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	266
3.2.28.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	267
3.2.29. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=7.5$ ) sonlu fay analizi .....	270
3.2.29.1. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=7.5$ ) .....	270
3.2.29.2. Kullanılan telesismik veri .....	271
3.2.29.3. Sonlu fay model parametrizasyonu .....	272
3.2.29.4. Modelleme sonuçları ve tartışma .....	273
3.3. Coulomb gerilme değişimleri analizleri .....	278
3.4. Tartışma .....	288
3.4.1. Pürüz örüntüleri ve gerilme etkileşimleri .....	288
3.4.2. İnceleme alanı ile Anadolu Jeodinamiğinin karşılaştırılması	294
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>SONUÇLAR</b> .....	300
<b>KAYNAKLAR</b> .....	304
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	319



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

*	: Konvolüsyon
$\Delta$	: Episantr ile istasyon arasındaki uzaklık
$\mu'$	: Efektif sürtünme katsayısı
Eps	: Episantr
$f(t)$	: Kaynak zaman fonksiyonu
$g(t)$	: Yol etkisi
ISC	: International Seismological Centre
$i(t)$	: Alet etkisi
Mo	: Sismik Moment
$M_w$	: Moment Mgnitüdü
P	: İlk gelen cisim dalgası
S	: İkincil gelen cisim dalgası
$s(t)$	: Kaynak etkisi
U	: Yer değiştirme
$u(t)$	: Sentetik sismogram
USGS	: United States Geological Survey
$V_p$	: P dalga hızı
$V_r$	:Kırılma hızı
$V_s$	: S dalga hızı
$\sigma_f^L$	: Sol yanal hareket için Coulomb gerilme değişimi
$\sigma_f^R$	: Sağ yanal hareket için Coulomb gerilme değişimi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Papua Yeni Gine bölgesinin tektonik unsurları .....	6
Şekil 1.2.	Yeni Britanya altında bulunan dalma-batma zonu düşey kesiti ....	9
Şekil 1.3.	Papua Yeni Gine bölgesindeki levhaların hareket yönleri miktarları.....	14
Şekil 1.4.	Papua Yeni Gine bölgesinde bulunan tektonik unsurlar üzerinde meydana gelmiş $M_w \geq 4.0$ depremler .....	15
Şekil 1.5.	1990 yılı ve sonrası için Papua Yeni Gine Bölgesinde meydana gelmiş $M_w \geq 6.0$ depremlerin mekanizma çözümler .....	16
Şekil 1.6.	Yeni Britanya Hendeği civarında meydana gelmiş $M_w \geq 4$ olan depremlerin derinliğe göre dış merkez dağılım haritası .....	18
Şekil 2.1.	P dalgası ışın yörüngesi ve modellemede kullanılan simgeler .....	23
Şekil 2.2.	Odaktan çıkıp istasyona ulaşan dalgaların şematik gösterimi .....	24
Şekil 2.3.	Kayma ( $\Delta u$ ) ve kayma hızı ( $\Delta \hat{u}(t)$ ) arasındaki çeşitli kaynak-zaman fonksiyonları üzerindeki zaman bağımlı ilişki .....	27
Şekil 2.4.	Kaynak parametrizasyonunu ifade eden temsili şema .....	30
Şekil 2.5.	Eksen sistemi Coulomb gerilmelerini optimum yenilme düzlemleri üzerinde hesaplanmasını ifade eder. Şekilde sıkışma ve sağ-yanal kayma gerilmesi fay düzlemi üzerinde pozitif olarak alınır .....	34
Şekil 2.6.	Coulomb gerilme değişiminin sağ-yanal bir ortam için denklem 2.32 uyarınca şematik gösterimi .....	37
Şekil 2.7.	Coulomb gerilme değişiminin $\sigma$ bölgesel sıkışma gerilmesi altında optimum yönelimli düzlemler üzerinde denklem 2.38 uyarınca şematik açıklaması .....	39
Şekil 3.1.	Çalışma bölgesine ait basitleştirilmiş sismotektonik harita .....	41

Şekil 3.2.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi dış merkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	45
Şekil 3.3.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı .....	47
Şekil 3.4.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	48
Şekil 3.5.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	51
Şekil 3.6.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	51
Şekil 3.7.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi (beyaz yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	52
Şekil 3.8.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi dış merkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	53
Şekil 3.9.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. ....	55
Şekil 3.10.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. ....	56
Şekil 3.11.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	58
Şekil 3.12.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	59
Şekil 3.13.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	60

Şekil 3.14.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi dış merkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizması çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar .....	61
Şekil 3.15.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı ..	63
Şekil 3.16.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	64
Şekil 3.17.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	67
Şekil 3.18.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	67
Şekil 3.19.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	68
Şekil 3.20.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi dış merkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	69
Şekil 3.21.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı ..	71
Şekil 3.22.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	72
Şekil 3.23.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	74
Şekil 3.24.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	75
Şekil 3.25.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	76

Şekil 3.26.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi dış merkez lokasyonunu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümünü ve bölgedeki tektonik unsurları gösteren harita .....	77
Şekil 3.27.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı ..	79
Şekil 3.28.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	80
Şekil 3.29.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	83
Şekil 3.30.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	84
Şekil 3.31.	Şekil 3.31. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için Park ve Mori (2007b) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması .....	86
Şekil 3.32.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi.....	86
Şekil 3.33.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi dış merkez lokasyonunu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümünü ve bölgeye ait tektonik unsurları gösteren harita .....	87
Şekil 3.34.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı ..	89
Şekil 3.35.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	90
Şekil 3.36.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	92
Şekil 3.37.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	92

Şekil 3.38.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	93
Şekil 3.39.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi dış merkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	94
Şekil 3.40.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı ..	96
Şekil 3.41.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	97
Şekil 3.42.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılımı modeli .....	100
Şekil 3.43.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	100
Şekil 3.44.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	101
Şekil 3.45.	16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi dış merkez lokasyonunu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümünü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	102
Şekil 3.46.	16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı .....	104
Şekil 3.47.	16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	105
Şekil 3.48.	16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılımı modeli .....	108
Şekil 3.49.	16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	108

Şekil 3.50.	16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	109
Şekil 3.51.	17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi dış merkez lokasyonu (siyah yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	110
Şekil 3.52.	17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı .....	112
Şekil 3.53.	17 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	113
Şekil 3.54.	17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	116
Şekil 3.55.	17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	117
Şekil 3.56.	17 Kasım 1999 Yeni Gine depremi (siyah yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	118
Şekil 3.57.	Şekil 3.57. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	119
Şekil 3.58.	19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	121
Şekil 3.59.	19 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	122
Şekil 3.60.	19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	125
Şekil 3.61.	19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	125

Şekil 3.62.	19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	126
Şekil 3.63.	29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi dışmerkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	127
Şekil 3.64.	29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	
Şekil 3.65.	29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	130
Şekil 3.66.	29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	133
Şekil 3.67.	29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	134
Şekil 3.68.	29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi	134
Şekil 3.69.	16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	136
Şekil 3.70.	16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	138
Şekil 3.71.	16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	139
Şekil 3.72.	16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	142
Şekil 3.73.	16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	142



Şekil 3.74.	16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için Park ve Mori (2007a) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması .....	143
Şekil 3.75.	16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	144
Şekil 3.76.	16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (yeşil yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	146
Şekil 3.77.	16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	148
Şekil 3.78.	16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	149
Şekil 3.79.	16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılımı modeli .....	151
Şekil 3.80.	16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	151
Şekil 3.81.	16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için Park ve Mori (2007a) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması .....	152
Şekil 3.82.	16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi (yeşil yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	152
Şekil 3.83.	17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi dış merkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	153
Şekil 3.84.	17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	156

Şekil 3.85.	17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	157
Şekil 3.86.	17 Kasım 2000 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	159
Şekil 3.87.	17 Kasım 2000 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	159
Şekil 3.88.	17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için Park ve Mori (2007a) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması .....	160
Şekil 3.89.	17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	161
Şekil 3.90.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi dış merkez lokasyonu (siyah yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	162
Şekil 3.91.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	165
Şekil 3.92.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	166
Şekil 3.93.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	168
Şekil 3.94.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	169
Şekil 3.95.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi (siyah yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	170

Şekil 3.96.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi (siyah yıldız) ve öncesindeki silsilenin diğer depremlerinin çalışmada kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	170
Şekil 3.97.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	172
Şekil 3.98.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	174
Şekil 3.99.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremini için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	174
Şekil 3.100.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılımı modeli .....	177
Şekil 3.101.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	177
Şekil 3.102.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	178
Şekil 3.103.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	179
Şekil 3.104.	31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	180
Şekil 3.105.	31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	182
Şekil 3.106.	31 Ekim 2001 Yeni Britanya depreminin için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	183
Şekil 3.107.	31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılımı modeli .....	185

Şekil 3.108. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	186
Şekil 3.109. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi ( $M_w=6.9$ ) (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	186
Şekil 3.110. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (kahverengi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	188
Şekil 3.111. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	190
Şekil 3.112. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	191
Şekil 3.113. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	193
Şekil 3.114. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	193
Şekil 3.115. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi (kahverengi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	194
Şekil 3.116. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	195
Şekil 3.117. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	197
Şekil 3.118. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	197

Şekil 3.119. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	200
Şekil 3.120. 1 Eylül 2006 depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması ..	200
Şekil 3.121. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	201
Şekil 3.122. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi (mavi yıldız) ve önceki yıllarda yakın konumda meydana gelmiş depremlerin kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	201
Şekil 3.123. 17 Ekim 2006 Solomon Yeni Britanya depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizması çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	202
Şekil 3.124. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	204
Şekil 3.125. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için ters çözüm için kullanılan sonlu-fay modeli .....	204
Şekil 3.126. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	206
Şekil 3.127. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	207
Şekil 3.128. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	207
Şekil 3.129. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	209
Şekil 3.130. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	210
Şekil 3.131. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için ters çözüm için kullanılan sonlu-fay modeli .....	211

Şekil 3.132. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	214
Şekil 3.133. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	214
Şekil 3.134. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için a) USGS-NEIC (2007) b) Biryol ve Beck (2007) ve c) bu çalışmada elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması .....	216
Şekil 3.135. 01 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	217
Şekil 3.136. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	218
Şekil 3.137. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	219
Şekil 3.138. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	220
Şekil 3.139. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	223
Şekil 3.140. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	223
Şekil 3.141. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	224
Şekil 3.142. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	225

Şekil 3.143. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	226
Şekil 3.144. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	226
Şekil 3.145. 26 Eylül 2007 depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	230
Şekil 3.146. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	230
Şekil 3.147. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	231
Şekil 3.148. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (beyaz yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	232
Şekil 3.149. 11 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	234
Şekil 3.150. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	234
Şekil 3.151. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	237
Şekil 3.152. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	237
Şekil 3.153. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi (beyaz yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	238
Şekil 3.154. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi (beyaz yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	239

Şekil 3.155. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (yeşil yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	240
Şekil 3.156. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	242
Şekil 3.157. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	243
Şekil 3.158. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	245
Şekil 3.159. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	245
Şekil 3.160. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için USGS-NEIC (2014) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması .....	246
Şekil 3.161. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi (yeşil yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	247
Şekil 3.162. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi (yeşil yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	248
Şekil 3.163. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	250
Şekil 3.164. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	252
Şekil 3.165. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	253
Şekil 3.166. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	255



Şekil 3.167. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	255
Şekil 3.168. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için USGS-NEIC (2015) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması .....	256
Şekil 3.169. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	257
Şekil 3.170. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (beyaz yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	258
Şekil 3.171. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	260
Şekil 3.172. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	260
Şekil 3.173. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	262
Şekil 3.174. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	263
Şekil 3.175. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi (beyaz yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	263
Şekil 3.176. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	264
Şekil 3.177. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	266

Şekil 3.178. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	266
Şekil 3.179. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	268
Şekil 3.180. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	269
Şekil 3.181. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	269
Şekil 3.182. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (yeşil yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir .....	270
Şekil 3.183. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları .....	272
Şekil 3.184. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli .....	273
Şekil 3.185. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli .....	275
Şekil 3.186. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması .....	275
Şekil 3.187. 05 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için USGS-NEIC (2015) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması .....	276
Şekil 3.188. 05 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi (yeşil yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi .....	277

Şekil 3.189. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 1993-1995 yılları arasındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları .....	280
Şekil 3.190. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 1996-1999 yılları arasındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları .....	282
Şekil 3.191. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 2000 yılındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları .....	284
Şekil 3.192. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 2001-2006 yılları arasındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları .....	285
Şekil 3.193. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 2006-2014 yılları arasındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları .....	286
Şekil 3.194. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 2015 yılındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları .....	287
Şekil 3.195. Yeni Britanya Hendeği'nin doğrultusu boyunca büküldüğü Yeni Britanya Adası güneyinde meydana gelmiş ve bu çalışmada incelenen depremlerin kayma dağılımlarının yüzey izdüşümlerini gösteren harita .....	291
Şekil 3.196. Çalışmada incelenen depremlerden Yeni Britanya Hendeği üzerinde oluşmuş ters faylanma mekanizmalı depremlerin (toplamda 27 deprem) en büyük pürüz alanlarının depremlerin büyüklüklerine göre değişimi .....	293

Şekil 3.197. Geç Kratese döneminde levhaların tasarlanan durumları .....	295
Şekil 3.198. Anadolu ve yakın çevresinin tektonik unsurları .....	296
Şekil 3.199. Anadolu ve civarında GPS hız vektörlerinin dağılımı .....	297
Şekil 3.200. Yeni Gine Bölgesi'nin tektonik unsurları ve GPS hız vektörlerinin dağılımı .....	298
Şekil 3.201. Anadolu ve yakın çevresinin Dewey ve Şengör (1979) tarafından önerilen Orta Miyosen'den günümüze tektonik evrimi .....	299

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Çalışmada sonlu fay analizi yapılan depremlerin ISC-GEM (Storchak ve ark., 2013) tarafından, ISC ve USGS kataloglarından derlenen odak parametreleri .....	42
Tablo 3.2.	Çalışmada sonlu-fay analizi yapılan tüm depremler için kullanılan kabuksal hız yapısı (Kikuchi, 1999) .....	44
Tablo 3.3.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	46
Tablo 3.4.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	47
Tablo 3.5.	13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	49
Tablo 3.6.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	53
Tablo 3.7.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	54
Tablo 3.8.	25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	57
Tablo 3.9.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	62
Tablo 3.10.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	62
Tablo 3.11.	18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	65
Tablo 3.12.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	69

Tablo 3.13.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	70
Tablo 3.14.	21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	73
Tablo 3.15.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için çeşitli kuruluş ve araştırmacılar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	78
Tablo 3.16.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	79
Tablo 3.17.	16 Ağustos 1995 Solomon Adaları Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	82
Tablo 3.18.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	87
Tablo 3.19.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	88
Tablo 3.20.	29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	91
Tablo 3.21.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	95
Tablo 3.22.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	96
Tablo 3.23.	14 Ekim 1996 Solomon Adaları Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	99
Tablo 3.24.	16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	103
Tablo 3.25.	16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	104
Tablo 3.26.	16 Mayıs 1996 Yeni Britanya Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	107
Tablo 3.27.	17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	111
Tablo 3.28.	17 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	112

Tablo 3.29. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	115
Tablo 3.30. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	119
Tablo 3.31. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	120
Tablo 3.32. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	123
Tablo 3.33. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	128
Tablo 3.34. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	129
Tablo 3.35. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	132
Tablo 3.36. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	137
Tablo 3.37. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	138
Tablo 3.38. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	141
Tablo 3.39. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	146
Tablo 3.40. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	147
Tablo 3.41. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	150
Tablo 3.42. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	154
Tablo 3.43. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	155

Tablo 3.44.	17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	158
Tablo 3.45.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	163
Tablo 3.46.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	164
Tablo 3.47.	18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	167
Tablo 3.48.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	172
Tablo 3.49.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	173
Tablo 3.50.	19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	176
Tablo 3.51.	31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	180
Tablo 3.52.	31 Ekim 2001 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	181
Tablo 3.53.	31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	184
Tablo 3.54.	11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	188
Tablo 3.55.	11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	189
Tablo 3.56.	11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	192
Tablo 3.57.	1 Eylül 2006 Yeni İrlanda depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	195
Tablo 3.58.	1 Eylül 2006 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	196



Tablo 3.59.	1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	199
Tablo 3.60.	17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	203
Tablo 3.61.	17 Ekim 2006 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	203
Tablo 3.62.	17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	205
Tablo 3.63.	1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	209
Tablo 3.64.	01 Nisan 2007 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	210
Tablo 3.65.	1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	213
Tablo 3.66.	28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	218
Tablo 3.67.	28 Haziran 2007 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	219
Tablo 3.68.	28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	222
Tablo 3.69.	26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	225
Tablo 3.70.	26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	226
Tablo 3.71.	26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	229
Tablo 3.72.	11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	233
Tablo 3.73.	11 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik stasyonlar ve dalga türleri .....	233
Tablo 3.74.	11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	236

Tablo 3.75.	19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	240
Tablo 3.76.	19 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	241
Tablo 3.77.	19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	244
Tablo 3.78.	29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	250
Tablo 3.79.	29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	251
Tablo 3.80.	29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	254
Tablo 3.81.	30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	259
Tablo 3.82.	30 Nisan 2105 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	259
Tablo 3.83.	30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	261
Tablo 3.84.	1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	265
Tablo 3.85.	1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan istasyonlar ve dalga türleri .....	265
Tablo 3.86.	1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	267
Tablo 3.87.	5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri .....	271
Tablo 3.88.	5 Mayıs 2105 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri .....	271
Tablo 3.89.	5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri .....	274
Tablo 3.90.	Gerilme değişimleri hesaplanacak depremlerin kırılma parametreleri ve faylanma alanı boyutları .....	279

Tablo 3.91. Literatürde kırılma alanları (A) için belirlenmiş amprik bağıntılar. L, kırılma uzunluğu ve W, kırılma genişliğidir. Bu çalışmada çıkarılan bağıntının en büyük pürüz alanlarından belirlendiğine dikkat ediniz .....	293
Tablo 4.1. Çalışmada incelenen depremler için belirlenen sismik moment, en büyük kayma genliği, ortalama kayma açısı ve kırılma süresi gibi kaynak parametreleri. Gri renkte taralı alan bu çalışma sonucunda hesaplanan değerleri göstermektedir .....	302

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Yeni Britanya Hendeği, Sonlu-Fay Modellemesi, Coulomb Gerilme Değişimi, Deprem Tetiklemesi

Bu çalışmada, Güney Pasifik Okyanusu Yeni Gine Bölgesi'nde 1993-2015 yılları arasında meydana gelmiş büyüklükleri  $M_w \geq 6.7$  olan 29 depremin sonlu-fay ters çözüm analizleri ve kosismik Coulomb gerilme değişim modellemeleri yapılmıştır. Genel olarak depremler 1999 (3 adet), 2000 (5 adet), 2007 (3 adet) ve 2015 (5 adet) silsileleri şeklinde Yeni Britanya Hendeği boyunca meydana gelmiştir. Elde edilen kayma modelleri, depremler için kayma heterojenitesinin derecesini göstermekte ve deprem büyüklüğü 7.0'nin üstüne doğru çıktıkça kayma dağılımları daha heterojen hale gelmektedir. Genel olarak deprem kırılmaları  $M_w < 7.0$  depremler için tek bir pürüzün ve  $M_w \geq 7.0$  depremler için ise 2 ya da 3 pürüzün yenilmesi ile kontrol edilmektedir. Bununla birlikte,  $M_w \geq 7.0$  depremler için en büyük pürüz baskın olarak kırılma sürecinin belirleyicisidir. Pürüzlerin uzaysal dağılımlarında iki farklı örüntü elde edilmiştir. Levhalar arası yüzeyde, farklı depremlerin pürüzleri özellikle de göreceli olarak yüksek kayma genlikli alanları bağlamında örtüşme göstermemektedirler.  $M_w \leq 7.0$  depremlerin kırılma alanlarının  $M_w \geq 7.3$  depremlerin kayma dağılımında kayma boşluğu olan fay alanlarında yerleşmiş olmaları belirlenen ikinci bir uzaysal örüntüdür. Yeni Britanya Hendeği üzerinde meydana gelmiş deprem kırılmaları karakteristik olmadığı belirlenmiştir. Yani, levha sınırının aynı kısmını kırmalarına ve kırılmaları büyük ölçüde örtüşmelerine rağmen pürüz bölgeleri yani kaymanın göreceli olarak yüksek olduğu alanlar örtüşmemektedir. Çalışmada incelenen depremler için elde edilen kosismik Coulomb gerilme değişimleri sonuçları genel olarak ardışık deprem kırılmalarında gerilme etkileşimlerinin katkısı olduğunu göstermiştir.

# **RUPTURE AND STRESS ANALYSIS OF LARGE BISMARCK PLATES EARTHQUAKES IN SOUTHERN PASIFIC OCEAN AND COMPARISON WITH ANATOLIAN GEODYNAMICS**

## **SUMMARY**

Keywords: New Britain Trench, Finite-Fault Modeling, Coulomb Stress Change, Earthquake Triggering

Finite-fault slip and coseismic Coulomb stress modellings of the 29 large interplate earthquakes ( $M_w \geq 6.7$ ) occurred between 1993 and 2015 along the plate boundaries between North and South Bismarck plates, between South Bismarck Plate and Solomon Sea Plate and between Solomon Sea Plate and Pacific Plate to the east of the Papua New Guinea in the South Pacific Ocean are studied. The earthquakes studied mainly occurred along the New Britain Trench with sequences in 1999 (3 earthquakes), 2000 (5 earthquakes), 2007 (3 earthquakes) and 2015 (4 earthquakes). Finite-fault slip models are obtained from the inversion of the teleseismic broadband P and SH waveforms. Obtained slip models indicate varying degree of slip heterogeneity for the earthquakes with the slip distributions getting more heterogeneous as the magnitude exceeding 7.0. In general, the earthquake ruptures are dominated by the failure of single asperity for the  $M_w < 7.0$  earthquakes and failure of 2 or 3 asperities  $M_w > 7.0$  earthquakes. However, the largest asperity for each  $M_w \geq 7.0$  earthquake is determined to dominate the rupture process overwhelmingly. When projected onto the plate interfaces, obtained slip models indicate two patterns in asperity distribution in space. First, the asperities belonging different earthquakes mainly do not overlap, particularly for their peak slip areas. The second pattern is that the asperities of  $M_w \leq 7.0$  earthquakes fall into the slip gaps of the  $M_w \geq 7.3$  earthquakes. It is concluded that asperities of the earthquakes that ruptured the same portion of the plate interface in different times do not overlap, indicating noncharacteristic feature of the asperity failures. Though there are cases for the next earthquake hypocenters to fall in to the stress shadows Coulomb stress modellings generally indicate role of the positive stress interactions in successive failure of the earthquakes, especially for the sequences.

# **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

## **1.1. Amaç ve Kapsam**

Dünyamız, tektonik kuvvetlere maruz kalarak çok eski zamanlardan beri şiddetli depremlere sahne olmuştur. Meydana gelen bu depremler insanoğluna, yaşadığı çevre ve medeniyetlere zarar getirdiğinden her dönemde merak edilmiş ve araştırılmalarına ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle son yıllarda dünyada meydana gelen büyük depremler birçok can ve mal kaybına neden olmuş bu doğrultuda depremlerin özelliklerinin en ince ayrıntısına kadar araştırılmasının önemi açık bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Günümüzde aktivitesini hala devam ettiren ve büyük depremlere sahne olan bölgelerden biri de Papua Yeni Gine bölgesidir (Benz ve ark., 2011; Storchak ve ark., 2013; Heidarzadeh ve ark., 2015). Bölgedeki hakim tektonik kuvvet Avustralya levhasının Pasifik levhasıyla çarpışması sonucu oluşur. Bu iki büyük plakanın yanında birçok küçük levhanın varlığı ve bunların birbirleriyle etkileşimleri tektonik açıdan bölgeyi hayli karmaşık bir hale getirmektedir. Bölge içinde bulunan Solomon Denizi levhasının Güney Bismark levhasının altına dalması ve burada oluşan Yeni Britanya hendeği, Kuzey Bismark ve Güney Bismark levhaları arasındaki sınırda bulunan sol yanal transform faylanma ve riftler şeklinde oluşan Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği, güney tarafta bulunan Woodlark Yayılma merkezi gibi başlıca tektonik unsurlar aktivitenin ve karmaşıklığın sebebi olarak gösterilebilir. Bunların sonucu olarak levha sınırlarında bulunan transform faylar, kıta etkileşimlerinin sonucu ortaya çıkan dalma batma zonları, rift vadileri ve hendekler (trench) bu bölge içinde gözlenmektedir.

Bölgede özellikle Yeni Britanya hendeği civarında çok sayıda büyük ve çeşitli derinliklerde depremler gözlenmektedir. Bu bağlamda çalışmada, Yeni Britanya hendeği ve yakınında 1990 yılı sonrasında meydana gelen büyüklüğü  $M_w \geq 6.7$  ve derinliği 50 km'den sığ olan (+5 km esnetilebilir) 29 adet deprem incelenmiştir. İlk olarak bu depremler kullanılarak kırılma süresi ve kayma dağılımları, faylanma alanının boyutları, en büyük ve ortalama yer değiştirme gibi kinematik parametrelere ulaşılmaya çalışılmıştır. Birçok araştırmacı depremlerde sonlu-fay parametrelerinin belirlenmesi için ters çözüm teknikleri geliştirmiş ve kırılmanın ayrıntılarını ortaya koymuşlardır (Hartzell ve Heaton, 1983; Beroza ve Spudich, 1988; Kikuchi ve Kanamori, 1991; Yoshida, 1996; Yagi ve Kikuchi, 2000; Zhou ve Chen, 2003; Yagi ve ark., 2012). Bu çalışmada sonlu-fay kayma dağılımları uzay ve zaman değişimlerinin modellenmesine olanak sağlayan bir ters çözüm tekniği tercih edilmiştir (Yagi ve Kikuchi, 2000; Mikumo ve ark., 2002; Fukuhata ve ark., 2003; Yagi ve ark., 2004; Tan, 2004). Bu ters çözüm tekniği Hartzell ve Heaton (1983), Kikuchi ve Kanamori (1991), Yoshida (1992) ve Ide ve Takeo (1997) tarafından tanımlanan yöntemde dayanmakta ve kırılmanın detayları ve kaynak özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler vermektedir.

Bir fay düzlemi üzerinde yerdeğiştirme miktarının göreceli olarak büyük olduğu bölgelere pürüz (asperity) adı verilmektedir. Pürüz bölgeleri bir depremin hasar verme potansiyeli ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle sonlu-fay analizleri yapılarak faylanma yüzeyi üzerindeki pürüz bölgelerinin belirlenmesi araştırılabilir ve pürüz dağılımları ile ilgili detaylı bilgilerin elde edilmesi önem taşımaktadır (Wald, 1992). Sonlu-fay analizleri ile kırılma süreci hakkında ayrıntılı bilgiler yakın alanlara konumlanmış kuvvetli yer hareketi kayıtçıları (strong motion) kullanılarak elde edilebilir (Trifunac, 1974; Gariel ve ark., 1990). Fakat birçok depremin kuvvetli yer hareketi kayıtçılarının uzağında meydana gelmesi (özellikle dalma-batma zonlarında) ve kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak yapılan modelleme çalışmalarında daha detaylı kabuksal hız yapısına ihtiyaç duyulması gibi nedenlerden ötürü Hartzell ve Heaton (1983) uzak-alan (telesismik) kayıtları kaymanın uzaysal dağılımının belirlenmesinde kullanmayı denemişlerdir. Bu amaçla 1979 yılında Kaliforniya'da meydana gelen Imperial Valley depremi hem uzak alan hem de yakın alan

kayıtçılarından elde edilen kayıtlarla modellenmiş ve karşılaştırma sonucunda çok büyük farklılıkların olmadığı gözlenmiştir. Bu olumlu sonuçların yanında gelişen kayıtçı ağı ve teknolojinin sayesinde dalma-batma zonlarında meydana gelen depremler de dahil bir çok olay kısa bir zaman içerisinde telesismik kayıtlar kullanılarak sonlu-fay analizleri yapılabilmektedir (Mendoza ve Hartzell, 1988; Mendoza, 1996; Abercrombie ve ark., 2001, Utkucu ve ark. 2002; Tan ve Taymaz, 2006). Aynı zamanda çeşitli jeodezik verilerde (GPS (Global Positioning System), InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), Trilateration Leveling, Triangulation) telesismik ve kuvvetli yer hareketi verileri ile birlikte kullanılarak sonlu fay analizleri yapılabilmektedir (Klotz ve ark., 1999; Wright ve ark., 1999; Wald ve Heaton, 1994; Wald, 1996; Konca ve ark., 2010).

Sonlu fay analizlerin bir diğer özelliği de dalma batma zonlarında meydana gelen depremlerin kayma miktarları ve kırılmanın levhalar arasında derinde gerçekleştiği boyutları hakkında detaylı bilgilerin elde edilmesine olanak sağlamasıdır. Dalma-batma zonları boyunca depremlerin sonlu fay analizleri yapılarak sismik boşluk bölgeleri, deformasyon birikiminin miktarı ve pürüzlerin etkileşimleri hakkında bilgiler sağlanmaktadır. Bu gibi çalışmalara en iyi örneklerden biri Meksika'nın batı bölgesinde bulunan dalma-batma zonundaki depremler için yapılan ve pürüz etkileşimlerinin ortaya konduğu sonlu fay analizi çalışmalarıdır (Mendoza, 1993). Yine Antolik ve ark. (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda odak derinliği 450 km'den daha büyük derin depremler incelenmiş ve bu tarz derin depremlerin moment boşalımının (moment rate function) genel olarak dalan levha içinde olduğunu aynı zamanda da derin deprem üreten faylanmaların oluşumunda sıcaklığın önemli bir rol oynadığı kanısına varmışlardır.

İkincil olarak da çalışmada, sismotektoniğin günümüzde güncel konularından olan statik Coulomb gerilme değişimi (Static Coulomb stress change) hesaplamaları yapılmıştır. Bir deprem yer içinde herhangi bir zamanda meydana gelir, yayılır ve sonlanır. Fakat bugün bile depremin neden, ne zaman ve nerede olacağıyla ilgili sorulara cevap vermek oldukça zordur. Son 50 yılda sismoloji alanındaki tüm gelişmelere rağmen, deprem mekanizmasının anlaşılmasında hala hazırda



çözülmemiş belirsizlikler vardır. Son yıllarda yapılan öncü depremler, ana şok ve artçı depremler ile bölgede diğer depremlerin oluşumunu kontrol eden gerilme dağılımları arasında yakın bir ilişki bulunduğuna ait çalışmalar bu belirsizliklerin bir kısmına ışık tutabilecek niteliğe ulaşmışlardır (Stein ve Lisowski, 1983; Hudnut ve ark., 1989; Reasenberg ve Simpson, 1992; Haris ve Simpson, 1992; Jaume ve Sykes, 1992; Stein ve ark., 1992; King ve ark., 1994; Deng ve Skyes, 1996; Stein ve ark., 1996; Nalbant ve ark., 1998; Stein, 1999; King ve Cocco, 2000; Nalbant ve ark., 2005; Steacy ve ark., 2005a; McCloskey ve Nalbant, 2009, Toda ve ark., 2012). Bu çalışmalar sonucunda, Coulomb kırılma kriteri kullanılarak gerilme alanının incelenmesinin bir bölgede meydana gelen deprem sonucunda etrafındaki faylar üzerindeki etki alanının araştırılması ve deprem üretme olasılığı artan ve azalan bölgelerin belirlenmesinde önemli bir yöntem olarak ilgi çekmiştir. Aynı zamanda gerilme değişiminin büyüklüğünü temel alarak, depremlerin birbirlerini tetikleme ve/veya normalde oluşacağı süreden daha önce meydana gelmesi gibi tahmin çalışmaları da gerçekleştirilmiştir.

Bir deprem sonucu bölgede bazı yerlerde gerilme artımı olurken bazı yerler de ise gerilme azalımı yani gerilme gölgesi olarak isimlendirilen bölgeler oluşmaktadır. Başka bir ifadeyle, büyük bir deprem sonucu meydana gelebilecek gerilme artışı veya azalışı o bölgenin yakınındaki bir alanda oluşabilecek depremin zamanını erken veya ileri bir tarihe alabilir. İşte bu gibi durumların ortaya koyduğu bilimsel gerçekler neticesinde depremlerin birbirleriyle olan etkileşimleri incelenerek deprem oluşum sürecinin anlaşılmasında önemli bulgular sağlanabilmektedir.

Büyük ve yıkıcı bir depremden sonraki en önemli kaygılardan biri yıkıcı büyük bir artçıdepremin (veya artçı depremlerin) olup olmayacağı ve nerede olacağıdır (McGallagher ve ark., 1999; McCloskey ve Nalbant, 2009). Bu durum anaşok gerilme değişimleri ile artçıdeprem lokasyonları arasındaki korelasyonun irdelendiği birçok çalışmanın (King ve ark., 1994; Toda ve ark., 1998; Anderson ve Johnson, 1999; Stein, 1999 ve 2003; Rajput ve ark., 2005; Steacy ve ark., 2005b; King, 2007; Lasocki ve ark., 2009; Toda ve ark., 2012) yapılmasına yol açmış ve genel bir korelasyonun olduğu ve artçıdepremlerin daha çok gerilme artışı olan yerlerde

olduğu görülmüştür. Örnek olarak 2011 Van depremi anaşoku için yapılan bir Coulomb gerilme analizi çalışması artçıdepremlerin uzaysal dağılım örüntüleri arasındaki ilişkinin yanısıra faylanma mekanizmaları arasındaki ilişkiyi de ortaya koymuştur (Utkucu ve ark., 2013). Anaşok gerilme değişimleriyle artçıdeprem lokasyonları arasındaki bu pozitif korelasyon, deprem zararlarının azaltılması amaçlı olarak bir anaşok sonrası yapılacak Coulomb gerilme modellemesi yoluyla anaşoka etkilenen bölgede artçıdepremlerin özellikle de uzak artçıdeprem (off-fault aftershock) meydana gelme potansiyeli yüksek olan yerlerin gerçek-zaman yakınında belirlenmesi çalışmalarını gündeme getirmiştir (Steacy ve ark., 2004; Chan ve Ma, 2004; Toda, 2008; McCloskey ve Nalbant, 2009; Catalli ve Chan, 2012; Parsons ve ark., 2014).

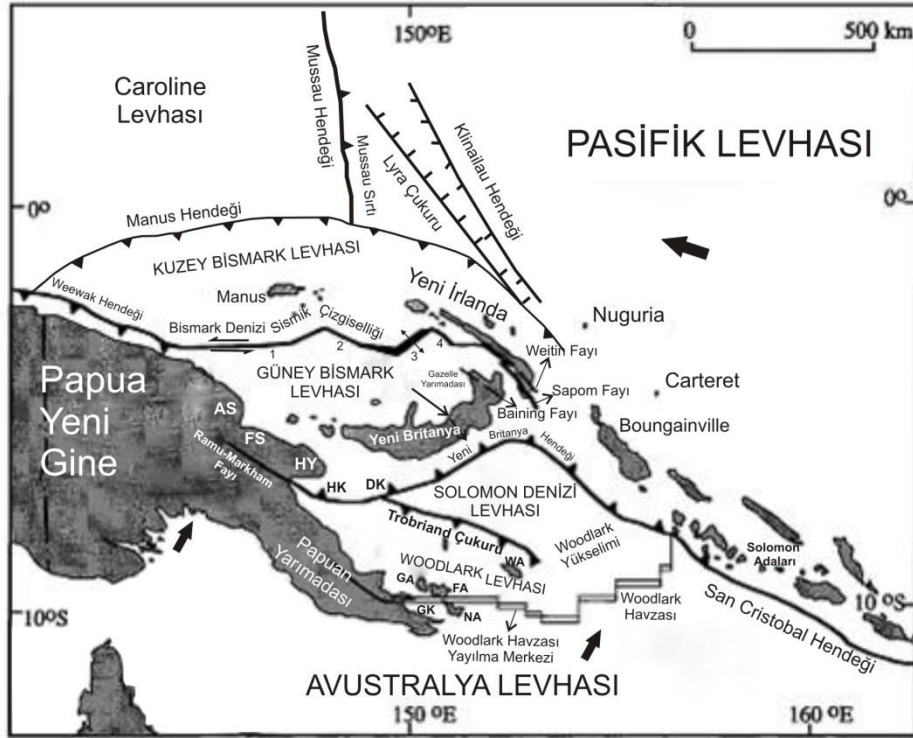
Sonuç olarak bu çalışma kapsamında Yeni Britanya Hendeği civarında meydana gelmiş büyük ve orta büyüklükteki depremlerin sonlu-fay kırılma modelleri elde edilmeye çalışılacaktır. Sonrasında ise Coulomb gerilme değişimleri elde edilen kırılma modelleri sonuçları kullanılarak hesaplanacaktır. Böylece bölgeye ait güncel kırılma modelleri ve gerilme değişimleri ortaya konularak deprem oluşumları ve etkileşimleri ile ilgili yorumlar yapılabilecektir.

## **1.2. Yeni Gine Bölgenin Tektoniği ve Depremselliği**

### **1.2.1. Levha düzenlerine genel bir bakış**

Dünyanın büyük depremler üretebilen bölgelerinden biri olan Papua Yeni Gine, Pasifik Levhasının yaklaşık 110 mm/yr ile göreceli olarak B-GB yönlü Avustralya plakasına göre yakınsaması sonucu karmaşık yapıda bir tektonizmaya sahiptir (Wallace ve ark., 2004). Bu iki büyük levhanın yakınsaması dörtten fazla küçük levhayı ortaya çıkarmaktadır (Şekil 1.1.). Bölge için, jeoloji ve depremselliğe dayalı çok sayıda levha tektoniği modeli öne sürülmüştür (Johnson ve Molnar, 1972; Curtis, 1973; Krause, 1973; Hamilton, 1979; Davies ve ark., 1984, Taylor ve ark., 1991). Bu modeller benzer özellikler sergilemesine rağmen, küçük levhaların yeri ve sayısı bağlamında aralarında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bölgede, levha

hareketlerini anlamada ve levha sınırlarının yerlerinin neresi olduğu hakkında birçok soru işareti mevcuttur.



Şekil 1.1. Papua Yeni Gine (PNG) bölgesinin tektonik unsurları (Johnson ve Molnar, 1972, Taylor, 1975 ve Tregoning ve ark., (1998)'den düzenlenmiştir). AS, Adelbert Silsilesi; FS, Finisterre Silsilesi; HY, Huon Yarımadası; HK, Huon Körfezi; DK, 149°D Körfezi; GA, Goodenough Körfezi; FA, Ferguson Adaları; GK, Goodenough Körfezi; NA, Normanby Adaları; WA, Woodlark Adası

Papua Yeni Gine (PNG), tektonik açıdan dünyanın en aktif bölgelerinden biridir. Aktif levha sınırları; deprem episantr dağılımı ve deniz morfolojisi bilgilerinden yararlanılarak çizilmiştir. Bölge için farklı sayıda levha düzenleri önerilmiştir. Önerilen tüm modeller Avusturalya ve Pasifik Levhaları arasında en az iki küçük levhayı içerir. Bunlar Güney Bismark ve Solomon Denizi Levhalarıdır. Johnson ve Molnar (1972) üçüncü bir levha önermişlerdir ve bu levha Kuzey Bismark Levhasıdır (Şekil 1.1.). Bu levha sonraki diğer modellerde de önemli bir role sahiptir. Hamilton, (1979) ve Davies ve ark., (1984) dördüncü bir levha önermişlerdir. Bu da Woodlark Levhasıdır. Bu levha Solomon Denizinde Woodlark Baseninde konumlanmıştır. Davies ve ark., (1984) beşinci bir levhanın varlığından bahsetmiştir ve bu levha Papuan Yarımadasının doğusunda bulunmaktadır. Tüm bahsi geçen modeller Pasifik ve Avustralya Levhalarına ek olarak Caroline, Kuzey Bismark,

Güney Bismark, Solomon Denizi, Trobriand ve Woodlark Levhaları düzenlerini içermektedir.

Tregoning ve ark., (1998); 1990-1993 yılları arasında ve tekrar 1996 yılında çeşitli Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) istasyonlarıyla gözlemlerde bulunmuşlardır. Bu çalışma sonunda bölgede bulunan küçük çaptaki levhaların sayısı ve güncel hareketleri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlardan belirlenen levha modeline göre PNG bölgesinin kinematığını beş farklı levha oluşturur: Avustralya, Pasifik, Solomon Denizi, Woodlark ve Güney Bismark Levhaları (Şekil 1.1.). Kuzey Bismark Levhası hakkında Tregoning ve ark., (1998) yaptıkları araştırmalarda var olduğuna ait kesin bir kanıt bulamadıklarını belirtmişlerdir. Daha sonra Tregoning (2002)'de levha kinematığının belirlenmesi çalışmaları yapmış ve GPS hızlarının verdiği sonuçlar neticesinde Kuzey Bismark Levhasının varlığı ortaya çıkmıştır. McCaffrey (1996) fay düzlemi çözümlerini baz alarak, Caroline/Pasifik sınırı levhaların geometrisi nedeniyle gerilme yoğunlaşma bölgesi olabileceğini belirtmişler ve varsayılan Caroline Levhasının hareketinin Pasifik Levhasından ayrı olamayacağı sonucuna varmışlardır.

## **1.2.2. Papua Yeni Gine'deki başlıca tektonik unsurlar**

### **1.2.2.1. Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği**

Güney Bismark Levhasının güney kenarı Denham (1969) tarafından Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği adlı bir sismisite bandıyla çizilmiştir (Şekil 1.1.). Bu zon batıda Papua Yeni Gine'nin kuzey kıyısına, doğuda ise Yeni Britanya'nın kuzey doğusundaki ucunun yakın bir noktasına kadar uzanır. İlgili sismisitenin baskın odak mekanizması çözümleri doğrultu atımlı faylanmayı işaret etmektedir. Taylor (1975, 1979) (Şekil 1.1.) bu çizgiselliği 4 ana coğrafik bölüme ayırmıştır. Her bir bölüm farklı transform fay segmentleriyle ilişkilidir. Bu transform faylar üzerindeki hareket sol yanal olarak tanımlanmıştır. En batıdaki bölüm (Şekil 1.1.) üzerindeki fay düzlemleri doğu-batı yönlüdür. İkinci bölüm için fay düzlemleri KB-GD yönelimlidir. Üçüncü bölüm aktif olarak açılma karakterli ve KD-GB yönelimli bir

bölümdür. Manyetik alan anomali verilerinden elde edilenlere göre açılma oranı yılda  $100 \text{ mm/yr}^{-1}$  nin üzerindedir (Martinez ve Taylor, 1993). Dördüncü ve en doğudaki bölüm KB-GD doğrultuludur. Bu sınırın yüzeydeki ifadeleri Gazelle Yarımadasında bulunan Baining, Sapom ve Weitin Fayları ve ayrıca Yeni İrlanda' dadır (D'Addario ve ark., 1976) (Şekil 1.1.).

#### **1.2.2.2. Güney Bismark Levhası ve Doğu kenarı-Pasifik Levhası sınırı**

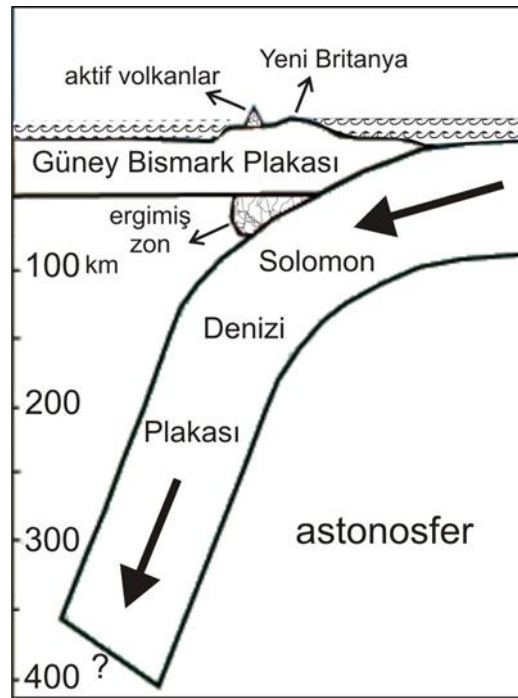
Güney Bismark Levhası, kuzeyde Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği ve güneyde Yeni Britanya Hendeği ile sınır oluşturmaktadır (Şekil 1.1.). Bu levhanın doğu sınırı çizgiselliğin devamı olabileceğine işaret eden sol yönlü faylar var olmasına rağmen iyi tanımlanamamıştır. Yine de Nuguria ve Carteret adalarının batısının sınır olduğu düşünülmektedir. Batı sınırı ise Finisterre Silsilesi altında ve Ramu-Markham Fayı üzerinde meydana gelen kıta-ada yayı çarpışmasıdır (Tregoning ve ark., 1998).

Sismik olarak aktif Weitin Fayı, Güney Bismark Levhasının doğu kenarını oluşturan bir tektonik unsur olarak yorumlanmıştır (Hamilton, 1979; Mori, 1989). Mori (1989), bu bölgede 1985 yılında meydana gelmiş büyüklüğü  $M_s=7.2$  olan KD eğimli bindirme karakterli deprem tanımlamıştır. Artçışok lokasyonları (çoğu sol-yanal doğrultu atımlı) KB-GD yönelimli 50 km uzunluğunda bir kırık belirtir. Anaşokun bindirme odak mekanizması levhanın sol-yanal transform sınırıyla tutarlı değildir ve böylece bölgenin sismisitesi karmaşık tektonik yapının bir göstergesi olabilir (Mori 1989). Güney Bismark Levhası Doğu Kenarı – Pasifik Levha sınırı Yeni İrlanda'nın güney ucunun altında belirsizdir (Davies ve ark., 1984; Eguchi ve ark., 1989; Taylor ve ark., 1991). Bu bölge yakın geçmişe kadar çok büyük depremlere sahne olmuş ve bu nedenle araştırmacıların ilgisini çekmektedir.

#### **1.2.2.3. Yeni Britanya Hendeği**

Yeni Britanya Hendeği, Solomon Denizinin kuzey kenarını oluşturur (Şekil 1.1.). Yeni Britain Hendeği, Ramu-Markham fay zonunun denize doğru girmesi ile başlar ve Trobriand Çukuruyla bir kavşak oluşturur. Doğuda Woodlark Havzası Açılma

Merkezi ve San Cristobal Hendeğiyle oluşan üçlü ekleme doğru uzanır (Şekil 1.1.). Yeni Britanya Hendeği 149°D boylamında Trobriand Çukuru ile kavşak oluşturur. (Engdahl ve ark., 1998; Cooper and Taylor, 1987 a,b). Tipik bir dalma-batma zonu kuşağı sonucu oluşan Yeni Britanya Hendeği, Solomon Denizi levhasının Güney Bismark levhası altına dalmasını temsil eder (Şekil 1.2.). Bölgedeki en büyük deprem etkinliği Yeni Britanya Hendeği civarında gözlenmektedir. Fay düzlemi çözümleri yakınsamanın genellikle hendeğin eksenine dik bir yönde gerçekleştiğini gösterir. Hendekte yakınsamanın tahmini  $92-125 \text{ mm/yr}^{-1}$  arasında değişir (Johnson, 1979).



Şekil 1.2. Yeni Britanya altında bulunan dalma-batma zonu düşey kesiti (Johnson, 1976 'dan derlenmiştir)

#### 1.2.2.4. Solomon Denizi Levhası

Solomon Denizi Levhası, Trobriand Çukuru ve Yeni Britanya Hendeği yardımıyla Güney Bismark ve Avustralya Levhalarının altına dalmaktadır. Dalım, Yeni Britanya'ya doğru hala devam etmekte, fakat aktivite Trobriand Çukurluğu üzerinde kesilmiştir (Kirchoff-Stein, 1992). Trobriand Çukurunun güney okyanus litosferi (Woodlark Levhası), 153°D boylamında  $\sim 14^\circ$  azimutla  $\sim 80 \text{ mm/yr}^{-1}$  mutlak hızla sahiptir, dolayısıyla Solomon Denizi Levhası'na benzer oranda bir hızla hareket etmektedir.

### 1.2.2.5. Trobriand Çukuru

Solomon Denizi Levhası ve Woodlark Levhası arasındaki güneybatı sınırı Trobriand Çukurluğu ile temsil edilmektedir. Hamilton (1979), Solomon Denizi litosferinin Trobriand platformu altına daldığını ve Trobriand Çukurluğunun hendek şekilli bir görünümde olduğunu önermektedir. Davies ve ark., (1984) Trobriand çukurunun halen aktif olduğunu belirtmektedir. Pegler ve ark., (1995) Papuan Yarımadası altındaki deprensellik dağılımının güneye doğru eğimli Benioff zonuyla uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Davies ve ark., (1984) ve Lock ve ark., (1987) Trobriand Çukurunun güneye doğru eğimli kalın bir çökel dizisiyle dolu olduğunu belirtmişlerdir.

### 1.2.2.6. Woodlark Havzası

Woodlark Havzası kuzey doğuda Solomon Yay'ı, kuzeybatıda Woodlark yükselimi ve güneydoğuda ise Pocklington çukuru tarafından sınırlandırılmıştır. Havzanın ana özellikleri, iki topografik yükselimi (kuzeyde Woodlark yükselimi ve güneyde Pocklington Levhası ve yükselimi) ve bir aktif yayılma zonundan (Woodlark Havzası Yayılma Merkezi) oluşmuştur. Sığ depremler Woodlark Yükseliminin kuzey kenarı boyunca zayıf bir aktivite zonu belirlemiştir ve bu Solomon Denizi Levhası ve Woodlark Levhası arasında bir levha sınırı olabileceği tartışmalarına yol açmıştır (Davies ve ark., 1984). Fakat bu yorum tek bir sağ-yanal doğrultu atımlı depremin (Weissel ve ark., 1982) fay mekanizması temel alınarak yapılmıştır ve bu nedenle önemli kanıtlardan yoksundur.

Woodlark Havzası doğusunda, deniz tabanı yayılması kuzey güney transformlarla ve doğu batı eğimli rift segmenti ile karakterize edilmiştir (Taylor, 1987). Yayılma merkezi yüksekliği ve genişliği doğudan batıya doğru azalan eksenli bir rift vadisi tarafından temsil edilmiştir (Taylor and Exon, 1987). Sismik yansıma ve manyetik anomali verileri açık bir şekilde yayılma ekseninin yaklaşık 151°D ve 157°D boylamları arasında olduğunu göstermektedir (Benes ve ark., 1994). Manyetik terslenmelerden, Benes ve ark., (1994) ortalama yayılma hızını 153°D ve 152°D

boylamlarında sırasıyla 26 ve 20 mm/yr<sup>-1</sup> olduğunu tahmin etmektedir. Benes ve ark., (1994), Avusturalya Levhasına göre Solomon Denizi Levhasının göreceli dönme kutbunun 9°30'G - 148°56'D noktasında 5.6° Myr<sup>-1</sup> dönme oranında olduğunu hesaplamışlardır. Yayılma, riftin kuzey kenarı üzerinde güney kenarı üzerinde olduğundan daha hızlıdır (Weissel ve ark., 1982). 151°D boylamının batısında, rift daha az belirgin olmaya başlar. Papuan Yarımadası ve D'Entrecasteaux Adaları arasında, sınır uzaklaşmanın belirleyici unsurları olan sedimanlarla dolu grabenler ve horst blok serileri ortaya çıkar. Sığ depremlerin dağılım zonu Ferguson ve Normanby Adaları arasında batıya doğru eğilimlidir ve riftin burada olabileceğini öneren petrolojik kanıtlar vardır (Smith, 1976).

#### **1.2.2.7. Avustralya ve Güney Bismark Levhaları sınırı**

Avustralya ve Güney Bismark Levhaları, Ramu-Markham fayı boyunca çarpışma karakterli bir temas halindedir (Johnson, 1979). Taylor (1979), Güney Bismark, Pasifik ve Avustralya Levhasının Euler vektörlerinin kapanmasını baz alarak; Avustralya ve Güney Bismark arasındaki göreceli kaymanın kuzeydoğu yönünde 144°D boylamında, 65 mm/yr<sup>-1</sup> olduğu tahmininde bulunmuştur. Ancak Johnson (1979), Taylor'ın öne sürdüğü levha vektörlerin kapanmasının ile ilgili tezin doğru olmayabileceğini belirtmiş dolayısıyla iki levha arasındaki göreceli hareket tahminini geçersiz olduğunu belirtmiştir. Pegler ve ark. (1995) Yeni Gine Dağlık Bölgesi ve Finisterre Silsilesi altında ters çevrilmiş U şekilli bir sismik zon tanımlamıştır. Bu zon Pegler ve ark. (1995) tarafından Solomon Denizi Levha litosferine çift yönlü dalan bir kama (wedge) olarak yorumlanmıştır. Bu; Ripper (1982), Davies ve ark. (1984) ve Cooper ve Taylor (1987a)'ın sonuçlarını desteklemiştir. Onlara göre; Yeni Gine doğu parçasının altındaki güneye eğimli levha, Trobriand Çukurunun altına sürüklenen Solomon Denizi Levhasının bir kalıntısıdır. Dewey ve Bird (1970), Karig (1972), Hamilton (1973), Cooper ve Taylor (1987a) tarafından bu bölgede dalmanın ters-dönmesi olayının meydana geldiği öne sürülmüş ve böylece Papua ve Huon Yarımadaı altına kuzeye ve güneye doğru sürüklenen levhaların varlığı açıklanmıştır. Johnson ve Jaques (1980)'ın iddiasına göre, güney eğimli levha için ikna edici sismik bir delil ve Huon Yarımadası'nın kuzeyinde aktif



bir denizaltı hendeği için batimetrik bir kanıt yoktur. Onların inandığı, polarite değişiminin gerçekleşmediği; ancak dalan Avustralya litosferinin, kıta çarpışmasının bir sonucu olarak dikey şekilde askıda kalmış olmasıdır. Abbott (1995), Ramu-Markham Fayı'nın kuzeyindeki Adelbert ve Finisterre Silsileleri içinde gelişen birikim kamaları içindeki Avustralya Levhasından gelen sedimanların güneye doğru olan bir dalıma kanıt olmadığını, geçmişte Avustralya levhasının bu yükseltiler altına kaymış olduğunu belirtmiştir. ~144°D ve 148°D boylamları arasındaki hem deprensellik dağılımları hem de deprem odak mekanizmaları, yakınsamanın kıta kabuğunun bindirmesi ile sağlandığını göstermektedir. Deformasyonun çoğu Ramu-Markham Fay zonu üzerinde gözlenmektedir.

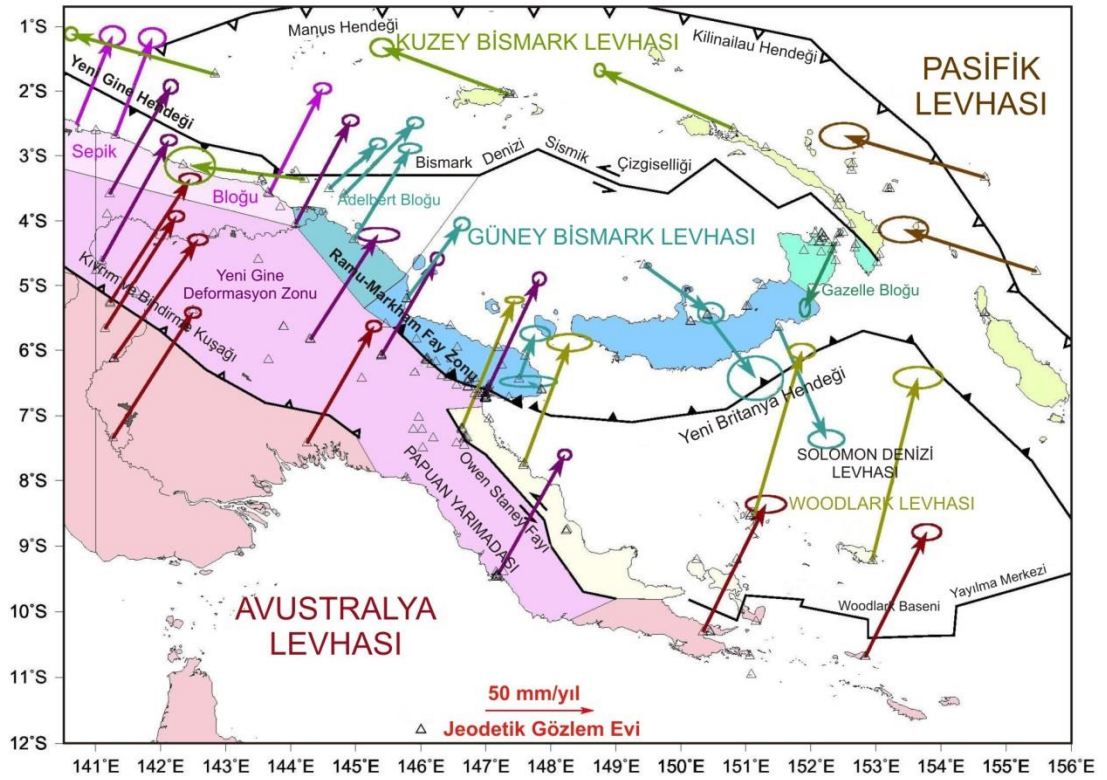
#### **1.2.2.8. Ramu-Markham fay zonu**

Ramu-Markham Fay zonu (RMFZ), Yeni Britanya hendeğinin batıya doğru uzanan ve Papua Yeni Gine'nin karasal kısmında kendini gösteren bir fay zonudur (Şekil 1.1.). Avustralya plakası ve Finisterre Dağ Silsilesi arasındaki suture zonu olarak da bilinir. RMF'nin karakteristiği araştırmacılar arasında yoğun bir şekilde tartışılmıştır (Cullen ve Pigott, 1989; Sari, 1991; Abers ve McCaffrey, 1994, Pegler ve ark., 1995). Jeolojik araştırmalar Ramu Markham vadisi boyunca eğimi çok fazla olan bir dizi düşey bindirmeler ortaya koymuştur (Abbott ve Silver, 1991). Genellikle bu bölgede meydana gelen depremlerin mekanizma çözümleri eğimi yüksek bir faylanmaya işaret ederler (Pegler ve ark., 1995). RMF, dik rampalar şeklinde Markham vadisi boyunca yüzeye ulaşmaktadır. Yaklaşık 20 km'lik bir derinlikte diklik kaybolmaktadır. Fakat kuzeye doğru ortalama yaklaşık 30°'lik bir eğim vardır. 146° D boylamında 90 km'lik bir derinliğe kadar uzanmaktadır.

#### **1.2.3. Levha kinematiği**

1990'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başlangıcında Papua Yeni Gine bölgesinde GPS çalışmaları hız kazanmış ve bu çalışmaların büyük bir kısmı Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri ve Papua Yeni Gine'deki enstitüler tarafından yürütülmüştür (McClusky ve ark., 1994; Mobbs, 1997; Stevens ve ark., 1998;

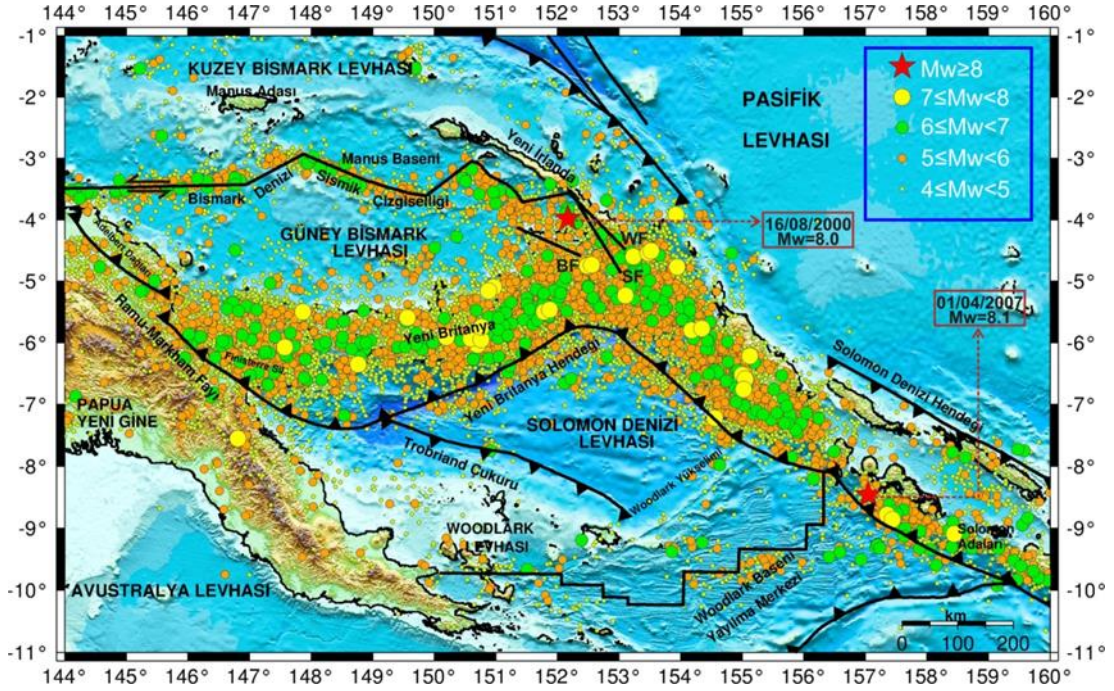
Tregoning ve ark., 1998, 1999, 2000; Tregoning, 2002, Wallace ve ark., 2004). Şekil 1.3.'de Stanaway, (2008) tarafından belirlenen levha hareket yönleri ve yıllık olarak miktarları gösterilmektedir. Avustralya Levhası yaklaşık 60 mm/yıl hız ile Yeni Gine deformasyon zonuna doğru kuzey-kuzeydoğu yönelimle ilerlemektedir. Bu yönelim Yeni Gine de bulunan dağlık kıvrım ve bindirme kuşağı boyunca gerçekleşmektedir. Stanaway, (2008)'e göre Kuzey Bismark Levhası Yeni Gine hendeği boyunca Sepik Bloğunun altına oblik olarak dalmaktadır. Daha doğuda, Yeni Gine Dağlık bölgesi Ramu Markham Fay Zonu boyunca Adelbert ve Güney Bismark Levhasıyla çarpışmaktadır. Burada Güney Bismark Levhasının batı kısmı Yeni Gine Dağlık bölgesine bindirmesi sürmektedir. Çarpışma Ramu Markham fay zonu boyunca güney-güneydoğuya doğru yayılmaktadır. Burada Güney Bismark levhası saat yönünde döner ve büyük depremler oluşur. Bu rotasyon kuzeyde Manus baseninde Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği boyunca gelişen doğrultu atımlı hareket ve yatay yayılmayla açılmaya neden olur. Güneyde ise Yeni Britanya Hendeği boyunca Solomon Denizi Levhası kuzeybatıya doğru dalım yapmaktadır. Bu hızlı dalım Yeni Britanyada bir dizi yıkıcı volkanların oluşmasını sağlamaktadır. Bölgenin güney kesimlerinde Solomon Denizi Levhasının Trobriand Çukurluğu boyunca Woodlark plakası altına dalmaktadır. Fakat bu bölgenin dalımının oldukça yavaş ve aktif olmadığı düşünülmektedir. Bu sebeple Woodlark ve Solomon Denizi Levhalarının tek parça olabileceği düşüncesi de mevcuttur. Woodlark Levhası Papuan Yarımadasının doğu kısmında kıtasal rift şeklinde oluşan Woodlark Baseni Yayılma Merkezi boyunca Avustralya Levhasından uzaklaşacak biçimde saatin tersi yönünde açılmaktadır (Şekil 3.1.). Kuzeyde Woodlark Levhası Yeni Britanya Hendeği ve Solomon Ada yaylarının güneyinde bulunan San Cristobal Hendeği boyunca Pasifik Levhasının altına kuzeydoğuya doğru dalmaktadır. Pasifik Levhası yaklaşık 80-90 mm/yıl gibi hızlı sayılabilecek bir hızla batı-kuzeybatıya doğru hareket etmektedir. Bu bölgede sol yanal Weitin Fayı bulunmaktadır. Bu fay Güney Bismark ile Pasifik Levhasının sınırını oluşturmaktadır. Aynı zamanda Pasifik Levhası Manus ve Kilinaliau Hendekleri boyunca Kuzey Bismark plakasının altına dalmaktadır.



Şekil 1.3. Papua Yeni Gine bölgesindeki levhaların hareket yönleri ve miktarları (Stanaway, 2008'den değiştirilmiştir)

#### 1.2.4. Bölgenin depremselliği

Papua Yeni Gine bölgesi depremsellik bakımından dünyanın en aktif bölgelerinden biridir. Depremsellik bölgenin önemli tektonik unsurları olan Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği, Yeni İrlanda Bölgesi ve Yeni Britanya Hendeği boyunca yoğunlaşmaktadır (Şekil 1.4.).

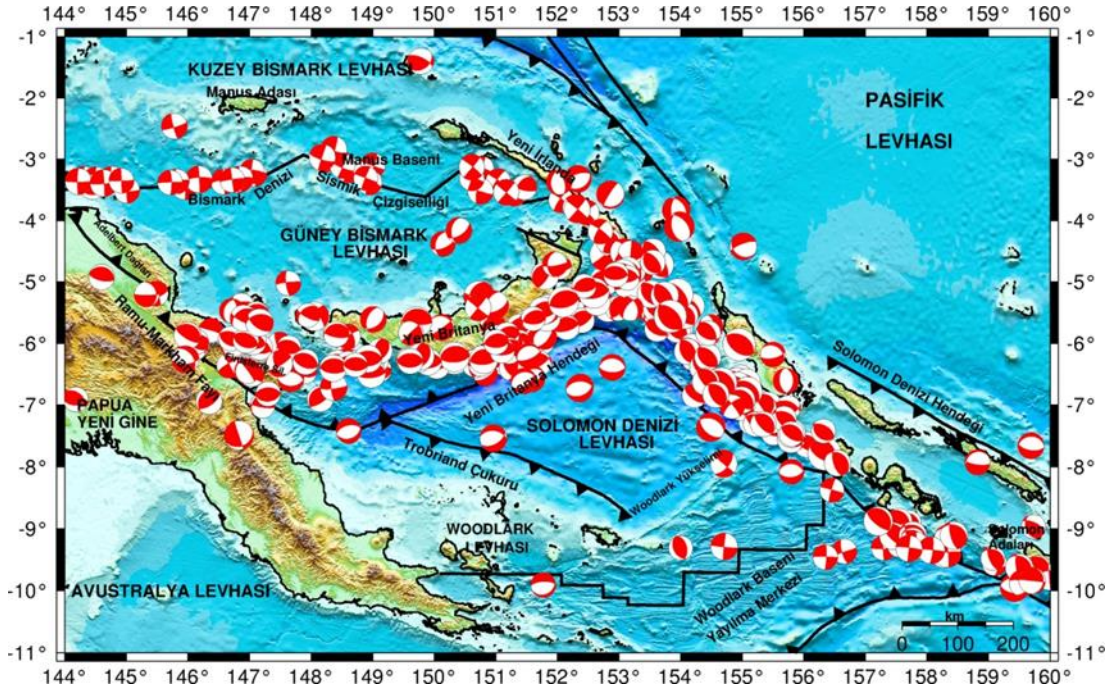


Şekil 1.4. Papua Yeni Gine bölgesinde bulunan tektonik unsurlar üzerinde meydana gelmiş  $M_w \geq 4.0$  depremler. Deprem lokasyonları Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). BF: Baining Fayı, SF: Sapom Fayı, WF: Weitin Fayı

Solomon Denizi Levhasının Güney Bismark Denizi ve Pasifik Levhaları altına daldığı bölge olan Yeni Britanya Hendeği üzerinde çok sayıda büyük magnitüdü depremler meydana gelmiştir (Şekil 1.4.). 1990 yılından günümüze kadar çoğu Yeni Britanya hendeği civarında bulunan büyüklüğü  $M_w \geq 6.0$  toplam 242 adet deprem meydana gelmiştir. Bunların 28 tanesinin magnitüdü 7 ve 8 büyüklüğü arasındadır. Büyük depremlerin çoğu Yeni Britanya Hendeği civarı ve Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği etrafında toplanmıştır. Depremselliğe katkısı olan diğer tektonik unsurlar ise Yeni İrlanda bölgesinde bulunan Baining, Sapom ve Weitin faylarıdır. Bölgedeki en büyük magnitüdü depremlerden biri 16 Kasım 2000 tarihinde Yeni İrlanda'nın güneyi ve Yeni Britanya Adaları arasında bulunan Weitin-Kamdarı Fayı ile ilişkilendirilen  $M_w=8.0$  büyüklüğündeki depremdir (Park ve Mori, 2007a) (Şekil 1.4.). Bu deprem sonrasında Weitin-Kamdarı Fayı üzerinde 8 m üzerinde sol yanal hareket gözlenmiştir (Tregoning ve ark., 2005). Bu depremin ardından, yaklaşık üç saat sonra, Yeni Britanya Hendeği boyunca  $M_w=7.8$  büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiştir. Aynı büyüklükte bir üçüncü deprem de Yeni İrlanda depreminden yaklaşık 40 saat sonra Yeni Britanya Hendeği bölgesinde oluşmuştur. Diğer bir büyük depremden Solomon Adaları civarında 1 Nisan 2007 tarihinde meydana gelmiş



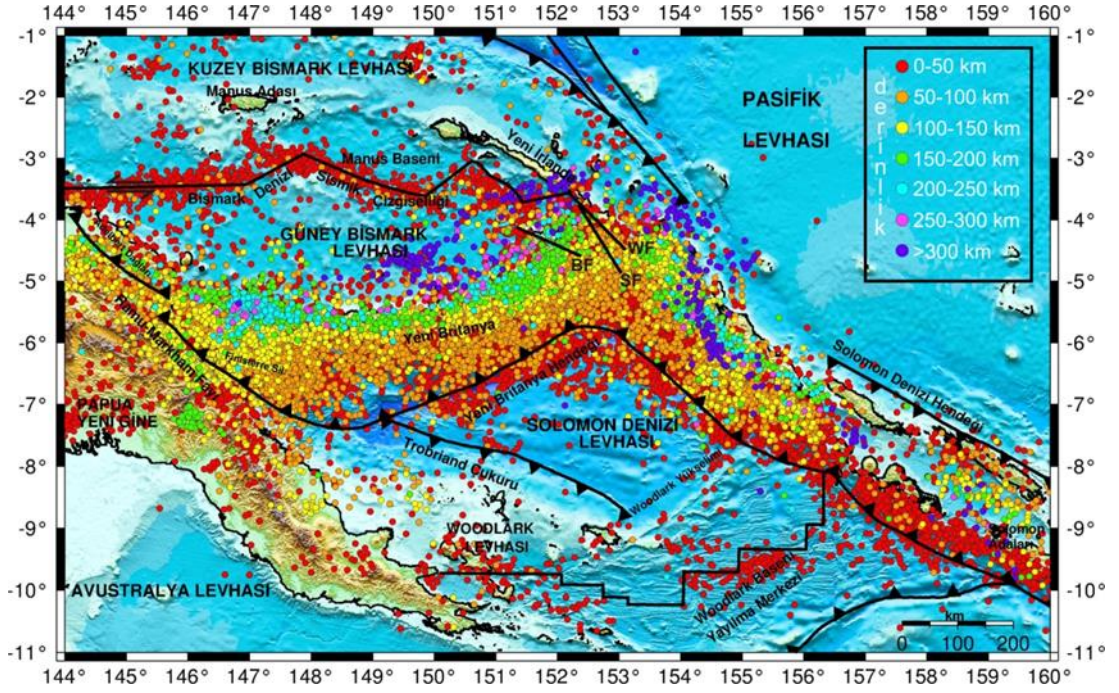
$M_w=8.1$  büyüklüğündeki depremdir (Şekil 1.4.). Bu depremin ardından tsunami meydana gelmiştir. Yeni Britanya civarında arka arkaya ve sürekli meydana gelen bu depremler için akla gelen önemli sorulardan biri bu depremlerin birbirleri ile herhangi bir etkileşiminin olup olmadığıdır. Bu açıdan ilgi çekici olan bu bölge birçok araştırmacının yoğun ilgisi altında kalmıştır.



Şekil 1.5. 1990 yılı ve sonrası için Papua Yeni Gine Bölgesinde meydana gelmiş  $M_w \geq 6.0$  depremlerin mekanizma çözümleri. Odak mekanizması çözümleri Harvard-CMT (<http://www.globalcmt.org/>) kataloglarından elde edilmiştir. Kaynak mekanizma toplamının büyüklükleri depremin magnitüdüyle doğru orantılıdır

Dalma batma zonlarında çeşitli karakteristikte depremler meydana gelebilmektedir. Dalan levha ile üstteki levha arasındaki yüzeyin yırtılmasıyla oluşan sığ levha arası bindirme depremleri, üst levha içerisinde deformasyon sebebiyle meydana gelen sığ depremler, dalan okyanusal levha içerisinde 40 ile 700 km derinliklerde bulunan depremler ve başlıca dalan levhanın fiksürlenmesi ve aynı zamanda levha sıkışması, levhanın eğilmesi sonucu oluşan depremler bunların başlıcalarıdır (Christensen ve Rulf, 1988; Byrne ve ark., 1988). Dalan levhanın üst kısımlarında sığ normal faylanmalı depremler meydana gelirken diğer levha üzerinde sığ normal ve ters faylanmalı depremler gözükülebilmektedir. Dalan levha boyunca ise levhanın eğilmesi kaynaklı hem normal hem de ters faylanma depremleri oluşabilmektedir. Daha derinler de düşük açılı depremler meydana gelmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında

adeta doğal bir yer bilimleri laboratuvarı örneği olan Yeni Britanya dalma batma zonu yukarıda bahsi geçen bütün faylanma türlerini üzerinde barındırmaktadır. Bu bölgede meydana gelmiş depremlerin odak mekanizması çözümleri Şekil 1.5.'de gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri dikkate alındığında dalma batma zonuna yakın kesimlerde genellikle baskın olarak ters faylanmalı bir deprem karakteristiği söz konusudur. Bölgede tipik bir dalma batma zonu karakteristiği sonucu olarak dalan levhanın eğilmesi kaynaklı sığ ve derin normal faylarda gözükmemektedir. Hendekten uzaklaştıkça dalan levhanın derin kısımlarında meydana geldiği düşünülen düşük açılı normal ve ters faylanmalı depremler dikkati çekmektedir. Yeni İrlanda bölgesinde bulunan ve Güney Bismark Levhası ile Pasifik Levhası sınırına karşılık gelen Sapom, Weitin ve Baining fayları ürettikleri doğrultu atım karakteristikli depremler ile bölge de kendilerini göstermektedir. Bu faylar zaman zaman bölgede yıkıcı ve şiddetli depremler üretme potansiyeliyle tanınmaktadır (Park ve Mori, 2007a,b). Diğer bir transform faylanma karakteristiği ise Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği üzerindeki depremler de gözlemlenmektedir. Özellikle bu bölgede birbirleriyle uyum içerisinde dizilmiş ve faylanma özelliklerini tam anlamıyla yansıtan bir deprem yoğunlaşması gözlemlenmiştir. Yeni Britanya Hendeğinin batı kısımdaki uzantısı olan Ramu Markham Fay zonu üzerinde de bindirme neticesinde ters faylanma özellikli depremler bulunmaktadır. Geçmiş 10 yıl içerisinde bu fay üzerinde önemli depremler meydana gelmiştir (Meunier ve ark., 2007). Aynı zamanda bölgedeki  $M_w \geq 4$  depremlerin derinlik dağılımları incelenmiştir (Şekil 1.6.). Sığ depremler genellikle Solomon Denizi Plakasının Güney Bismark ve Pasifik Plakaları altına daldığı bölgede ve transform faylanma karakteri gösteren Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Solomon Denizi Levhası Güney Bismark ve Pasifik Levhası altına doğru dalımına devam ettikçe depremlerin derinlikleri artmaktadır.



Şekil 1.6. Yeni Britanya Hendeği civarında meydana gelmiş  $M_w \geq 4$  olan depremlerin derinliğe göre dış merkez dağılım haritası. Deprem odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar-Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiş (USGS-NEIC) ve derinliklerine göre çeşitli renklerle sınıflandırılmıştır

## **BÖLÜM 2. YÖNTEM**

### **2.1. Deprem Dalga Şekli Modellemesi**

Sismolojik anlamada gerçekleştirilen güncel çalışmaların büyük bir çoğunluğu depremlerin kaynak özelliklerinin incelenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bir deprem ele alındığında oluşumuna neden olan kaynak olarak faylar gösterilebilirler. Bu faylar üzerinde oluşan kırılmalar depremlere neden olurlar. Bu bağlamda kırılmaların yani deprem kaynak özelliklerinin iyi belirlenmesi hangi süreçlerin depreme neden olduğunu ve deprem oluş süreçlerinin nasıl geliştiğini resmetmek için önemli katkılar sağlarlar. Deprem esnasında meydana gelen kırılma süreçlerini en iyi ortaya koyan ise deprem kayıtları yani sismogramlardır. Sismogramlar detaylı bir şekilde analiz edildiğinde her bir sinyal ve bu sinyaller üzerinde bulunan özellikler depremin kırılmasına adeta bir ayna gibidir. Bu aşamada olayı bir örnekle açıklamaya çalışalım. Herhangi bir bölgede meydana gelmiş büyük bir deprem kırılma esnasında büyük bir kaymaya dolayısıyla da etkin bir sismik moment boşalımını meydana getirir. Bu durum ise depreme ait sismogramdaki genliklerin yüksek ve kayıt uzunluğunun da artmasına neden olmaktadır. Depremin gerçekleştiği ortamlarda mevcut kırılma yüzeyleri üzerinde bulunan pürüzler (asperity) sismogramların yüksek frekans içeriğine etki etmektedirler. Bazı durumlarda zaman ve uzay ortamlarında birbirinde ayrı gözükken iki farklı pürüzün kırılması sonucu oluşmuş depremler meydana gelir. Bu durum sismogramlarda aralarında zaman farkı bulunan iki farklı sismik enerji varışı olarak gözlemlenir.

Deprem bilimi araştırmacıları (sismologlar) çalışmalarının önemli bir kısmını deprem kayıtlarını yorumlamak ve detaylı analizlerini yapılabilmesi için çeşitli teknikler geliştirmeye ayırmışlardır. Bir sismogramı yalnızca kırılma yani kaynak özellikleri tarafından etkilenen zaman serisi olarak düşünmemek gerekir. Kırılmanın



özelliklerini, deprem kaynağı ile kayıt istasyonu arasındaki yol etkisi (path effect) ve alet tepkisi (instrument response) kontrol eden diğer unsurlardır. Bu durumda sismometreler tarafından kayıt edilmiş bir sismogramların modellenmesinde üç filtre bulunmaktadır (Lay ve Wallace,1995).

$$W(t)=u(t)*Q(t)*I(t) \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte “\*” simgesi konvolüsyonu,  $W(t)$  sentetik (hesaplanan) sismogramı,  $u(t)$  deprem kaynağındaki yer değiştirmeyi,  $Q(t)$  yol etkisini ve  $I(t)$  ise alet etkisini temsil etmektedir. Bu etkilerden en karmaşık olanı  $Q(t)$ 'dir. Yapılan çalışmalar sonucunda  $u(t)$  ve  $Q(t)$  olarak ifade edilen iki etkinin modellenmesine olanak sağlamıştır.  $I(t)$  ise günümüz teknolojisinde üretilen cihazlar için iyi bilinen bir özelliktir. Bu bilgiler ışığında herhangi bir istasyonda üretilen sentetik sismogramlar ile gözlenmiş sismogramların karşılaştırması olayına sismoloji biliminde deprem dalga şekli modellemesi adı verilmektedir. Hartzell (1978) tarafından dalga şekli modellemesinde gözlenmiş dalga şekillerinin Green's fonksiyonlarının kullanımı önerilmiştir. Green's fonksiyonlarının yapay olarak hesaplanması yerine analizi yapılan büyük bir depremin yakınında ve hemen hemen aynı mekanizmaya sahip depremin kaydı Green's fonksiyonu olarak kullanılır (Udias, 1999). Green's fonksiyonları genellikle yapay olarak hesaplanmakta ve elastodinamik kavramı içerisinde zaman ve uzay anlamında impulsif rastgele yönelimdeki bir birim kuvveti karşılayan yerdeğiştirmeleri temsil etmektedir (Aki ve Richards, 1980; Udias ve Buforn, 1996; Udias, 1999).

Dalga şekli modellemesi yapılacak olan depremler için istasyon dış merkez uzaklıkları genel olarak  $30^{\circ} \leq \Delta \leq 90^{\circ}$  arasında değişmektedir (Udias, 1999). Bu durumun çeşitli sebepleri vardır. Dış merkez uzaklığı  $30^{\circ}$ 'den daha az olan istasyonların uzak alan (telesismik) kayıtlarında bölgedeki kabuk yapısındaki değişimler nedeniyle kabuk-manto arasında kırılan-yansıyan fazlar yorumlama zorlukları ortaya çıkarmaktadır.  $90^{\circ}$ 'den daha uzak istasyonlar için ise P ve S fazları çekirdek fazları ile karışmaktadır. Bir başka dikkat edilmesi gereken husus ise dalga

şekli modellenmesi yapılırken kaynak zaman fonksiyonu ve ilgili depremin odak derinliği seçimidir. Örneğin odak derinliğinin fazla ve kaynak zaman fonksiyonun kısa seçildiği bir durumdaki modelleme ile odak derinliğinin yüzeye yakın (sığ) ve kaynak zaman fonksiyonun uzun olduğu modelleme sonuçları birbirine oldukça benzeyebilir (Lay ve Wallace, 1995). Bu durum önemli bir hatayı da beraberinde getirmektedir. Bu problem günümüzde gelişen geniş-bant istasyonlar ve iyi bir azimutal dağılıma sahip istasyonların verisinin kullanılmaya başlanmasıyla halledilebilmiştir.

Herhangi bir yüzey boyunca yerdeğiştirme ve gerilmeye görülen süreksizliklere dislokasyon denir. Green's fonksiyonlarının türevleri ( $G_{nk,l}$ ) cinsinden ortamdaki herhangi bir nokta için  $[u_n(x_s,t)]$  temsil fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki eşitlik yazılabilir (Aki ve Richards, 1980; Udias, 1999).

$$u_n(x_s, t) = \int_{-\infty}^{\infty} d\tau \int_{\Sigma} \Delta u_i(\xi_s, \tau) C_{ijkl} G_{nk,l}(x_s, t; \xi_s, \tau) n_j(\xi_s) dS \quad (3.2)$$

Eşitlikte bahsi geçen  $n_j$   $\Sigma$  yüzeyi boyunca her noktaya normal birim vektördür ve  $C_{ijkl}$  ortamda bulunan elastik sabitleri temsil etmektedir. Tüm bunların sonucunda bir sismik kaynak  $\Sigma$  yüzeyi üzerinde kayma vektörü  $\Delta u$  ile belirtilen yerdeğiştirmede süreksizlikle ifade edilmektedir. Buradaki  $\Delta u$  bir fay üzerindeki iki düzlemin birbirlerine göre göreceli hareketini temsil etmektedir. Yukarıda verilen denklem (3.2)'de sadece doğrultusu belirli olan tek kuvvet için çözüm vermektedir. Birim iğnecik kuvvet tarafından  $j$  doğrultusunda ortaya çıkan  $u_{ij}$  yerdeğiştirmesi şu şekilde yazılabilir.

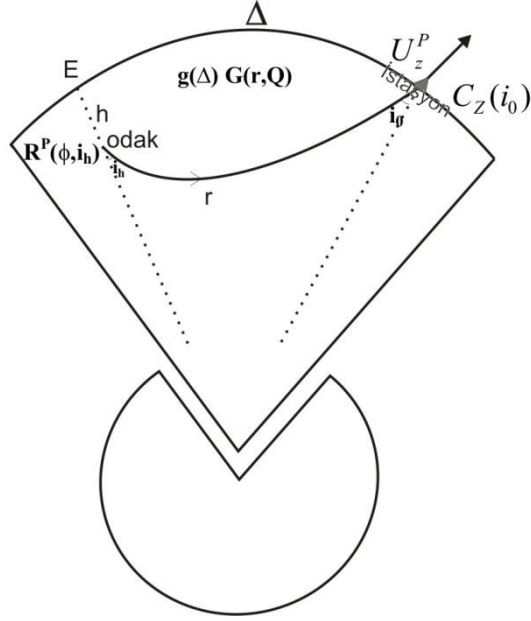
$$u_{ij} = \frac{1}{4\pi\rho} \left[ \frac{1}{r^3} (3\gamma_i\gamma_j - \delta_{ij}) \int_{r/\alpha}^{r/\beta} \tau \delta(t - \tau) d\tau + \frac{1}{r\alpha^2} \gamma_i\gamma_j \delta\left(t - \frac{r}{\alpha}\right) - \frac{1}{r\beta^2} (\gamma_i\gamma_j - \delta_{ij}) \delta\left(t - \frac{r}{\beta}\right) \right] \quad (2.3)$$

Denklem genel olarak P ( $\alpha$ ) ve S ( $\beta$ ) dalga hızlarına sahip bir ortamda bulunan yer değiştirmelerin Green's fonksiyonları kullanılarak tanımlanmasıdır. Burada  $j$  mevcut olan kuvvetin yönünü ifade etmektedir. Kaynak bölgesinden başlayıp gözlem noktasına olan doğrunun doğrultu cosinüslerini (  $\gamma_i = (x_i/r)=\partial r/\partial x_i$  )  $\gamma$  simgesi, uzaklığı ise  $r$  temsil etmektedir. Denklem uzaklıkla azalma oranına uzak yada yakın alan durumlarını ifade eder. Denklem son iki terimi  $1/r$  ile azaldığından kaynak bölgesinden uzakta bulunan yerdeğiştirmeleri,  $1/r^3$  ile azalan terim (daha hızlı bir azalma var) kaynağın yakınında bulunan (yakın alan) yer değiştirmelerine daha duyarlıdır (Udias, 1999). Bu nedenden ötürü uzak alan kayıtları kullanılarak yapılan çalışmalarda denklemde bulunan son iki terim kullanılır (Utkucu, 2002).

Uzak-alan yayılımında P dalgalarının düşey bileşeni, denklem (2.3)'de bulunan parametreler uyarınca bir nokta kaynak için yeryüzündeki bir kayıt noktasındaki formülüzasyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir (Aki ve Richards, 1980; Udias ve Boforn, 1996; Udias, 1999).

$$U_z^P = \frac{M_0 f(t-r/\alpha)}{4\pi\rho\alpha^3 r} R^P(\phi, \delta, \lambda, i_h) g(\Delta) C_Z(i_0) \quad (2.4)$$

Eşitlikte,  $f(t-r/\alpha)$  kaynak zaman fonksiyonuna,  $M_0$  sismik momente,  $\rho$  yoğunluk,  $i_h$  ışının odağı terkediş açısına,  $\alpha$  P dalgası hızına,  $R^P(\phi, \delta, \lambda, i_h)$  P dalgası yayılım örüntüsüne (radiation pattern),  $i_0$  ışının istasyona geliş açısına,  $g(\Delta)$  dalga cephesinin geometrik yayılımına,  $\Delta$  episantr uzaklığına,  $C_Z(i_0)$  yerin serbest yüzeyinin dalga genliği etkisine karşılık gelmektedir (Udias, 1999) (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. P dalgası ışın yörüngesi ve modellemde kullanılan simgeler (Udias, 1999'dan değiştirilmiştir)

Buradan yola çıkarak uzak-alan nokta kaynak yerdeğiştirme olayının SH dalgaları için olan ve  $\beta$ 'nin S dalgası hızını,  $R^{SH}(\phi, \delta, \lambda, i_h)$  SH dalgası yayılım örüntüsünü temsil ettiği formülüzasyon aşağıdaki şekildedir.

$$U^{SH} = \frac{M_0 f(t - r/\beta)}{4\pi\rho\beta^3 r} R^{SH}(\phi, \delta, \lambda, i_h) g(\Delta) C_Z(i_0) \quad (2.5)$$

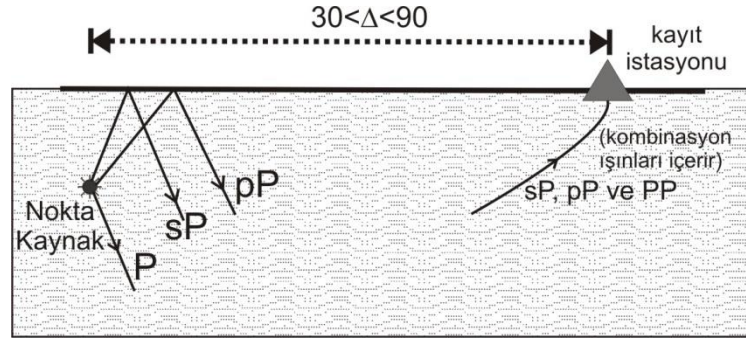
Aynı şekilde P, SV ve SH dalgaları için yayılım örüntülerini içeren formüller denklem (2.6), (2.7) ve (2.8)'de ayrı ayrı verilmiştir (Lay ve Wallace, 1995). Eşitlikte bulunan  $\phi$ ,  $\phi = \phi_f - \phi_s$  ( $\phi_f$  fayın azimutu,  $\phi_s$  istasyonun) formülü ile verilebilir. Aynı zamanda  $\delta$ , fayın eğimini ve  $\lambda$  ise kayma vektörü (rake) açısına karşılık ile temsil edimiştir.

$$\begin{aligned} R^P &= \cos \lambda \sin \delta \sin^2 i_h \sin 2\phi - \cos \lambda \cos \delta \sin 2i_h \cos \phi \\ &+ \sin \lambda \sin 2\delta (\cos^2 i_h - \sin^2 i_h \sin^2 \phi) \\ &+ \sin \lambda \cos 2\delta \sin 2i_h \sin \phi \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} R^{SV} &= \sin \lambda \cos 2\delta \cos 2i_h \sin \phi - \cos \lambda \cos \delta \cos 2i_h \cos 2\phi \\ &+ 1/2 \cos \lambda \sin \delta \sin 2i_h \sin 2\phi \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$-1/2 \sin \lambda \sin 2\delta \sin 2i_h (1 + \sin^2 \phi)$$

$$\begin{aligned} R^{SH} = & \cos \lambda \cos \delta \cos i_h \sin \phi + \cos \lambda \sin \delta \sin i_h \cos 2\phi \\ & + \sin \lambda \cos 2\delta \cos i_h \cos \phi \\ & - 1/2 \sin \lambda \sin 2\delta \sin i_h \sin 2\phi \end{aligned} \quad (2.8)$$



Şekil 2.2. Odaktan çıkıp istasyona ulaşan dalgaların şematik gösterimi (Langston ve Helmberger, 1975'den düzenlenmiştir)

Şekil 2.2.'de  $h$  kadar derin bir odaktan çıkıp istasyonda kaydedilen dalgalar gösterilmektedir. P dalgası doğrudan gelen dalgaları ifade eder. pP ve sP ise dalgaları yüzeyden yansıyıp gelen derinlik fazlarıdır. Bu durumda (2.4) denklemi P, pP ve sP dalga fazlarının toplamı cinsinden denklem (2.7) ile ifade edilebilir (Langston ve Helmberger, 1975; Helmberger, 1983; Udias, 1999).

$$u_z^p(t) = \frac{M_0}{4\pi\rho_h\alpha_h^3r} g(\Delta)G(r,Q)C_z(i_0) \left[ \begin{aligned} & R^P(\phi, i_h) f(t-t_p) + \\ & R^P(\phi, \pi - i_h) V_{pP} f(t-t_p - \Delta t_{pP}) \\ & + R^S(\phi, \pi - j_h) V_{sP} f(t-t_p - \Delta t_{sP}) \end{aligned} \right] \quad (2.9)$$

Eşitlik dikkatli bir şekilde incelenirse köşeli parantez içine alınan kısımda üç farklı toplam gözükmemektedir. Bunlarda ilk olanı P dalgasına, ikincisi pP fazına ve sonuncusu da sP fazına karşılık gelmektedir.

Eşitlikte normalize edilmiş P ve SV dalgaları yayılım örüntüleri sırasıyla  $R^P$  ve  $R^S$  ile ifade edilmiştir. pP ve sP fazları için odağı terkediş açısı sırasıyla  $\pi - i_h$  ve  $\pi - j_h$  olarak kabul edersek snell yasası uyarınca  $\sin j_h = (\beta_h/\alpha_h) \sin i_h$  olur. pP ve sP dalga fazları için serbest yüzeyde yansıyan dalgaların yansıma sabitleri  $V_{pP}$  ve  $V_{sP}$  ile temsil

edilmiştir.  $t_p = r/\alpha$ 'ya eşittir. Burada  $t_p$ , P dalgasının varış zamanıdır.  $\Delta t_{pP}$  pP dalgalarının ve  $\Delta t_{sP}$  ise sP dalgalarının doğrudan gelen P dalgasına ( $t_p$ 'ye göre) gecikme zamanlarıdır.  $\Delta t_{pP}$  ve  $\Delta t_{sP}$  'ye ait bağıntılar aşağıdaki gibidir (Udias, 1999).

$$t_{pP} = t_p + \frac{2h \cos i_h}{\alpha_h} \quad (2.10)$$

$$t_{sP} = t_p + h \left( \frac{\cos j_h}{\beta_h} + \frac{\cos i_h}{\alpha_h} \right) \quad (2.11)$$

P, pP ve sP dalga fazı toplamına karşılık gelen P dalgası teorik yerdeğiştirmeleri ( $U_z^P$ ) her bir istasyon için yukarıdaki eşitlikler göz önünde tutularak hesaplanabilir. Daha sonra bulunan teorik yerdeğiştirmeler gözlenmiş sismogramlarla kıyaslanmadan evvel alet tepkisi  $I(t)$  ve sönüm faktörü  $Q(t)$  ile konvole edilerek bu etkiler içerilmelidir. Bu çalışmada alet tepkisi gözlenmiş dalga şekillerinden giderilmiştir.

Sönüm dalga şekli modellemesi çalışmalarında önemli bir yer tutar. Yerin iç bölgeleri tam elastik değildir. Bunun sonucu olarak da dalgalar sönüme uğrarlar. Cisim dalgalarının modellenmesinde konvolüsyon işlemi ile sönüm etkisi giderilmeye çalışılır (Lay ve Wallace, 1995; Hartzell ve ark., 1991; Mendoza ve ark., 1994). Konvolüsyona tabii tutulan parametre sönüm operatörü olan  $t^*$ 'dir.  $t^*$ ,  $t^* = t/Q$  formülü ile elde edilir. Burada  $t$  dalga yayılma zamanını,  $Q$  ise kalite faktörünü temsil etmektedir.  $Q$  parametresi yer içinde derinliğin (ve frekansın) bir fonksiyonu olarak değişir. En düşük  $Q$  değerlerine (en fazla sönüm) üst manto içinde karşılaşılmaktadır.  $t^*$  bir yol (path) integrali olarak formül ile ifade edilebilir.

$$t^* = \int_{\text{yol}} \frac{dt}{Q} = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{Q_i} \quad (2.12)$$

Burada  $i$  indisi tabaka sayısını belirtmektedir. 1 sn büyük periyotlu cisim dalgaları söz konusu olduğunda  $30^\circ < \Delta < 90^\circ$  arası telesismik uzaklıklarda  $t^*$  sönüm operatörü

yaklaşık sabittir. Yine bu aralıkta P dalgaları için  $t^* \approx 1$  ve S dalgaları için de  $t^* \approx 4$  değerlerini almaktadır.  $t^*$  parametresini de içeren sönüm denklemi aşağıda ifade edilmiştir (Lay ve Wallace, 1995; Udias, 1999).

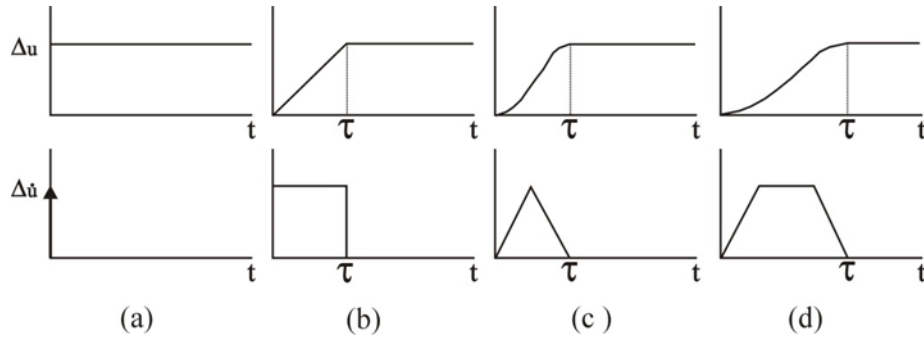
$$A=A_0e^{-\pi ft^*} \quad (2.13)$$

Denklem (2.13) incelendiğinde, S dalgalarının P dalgalarına göre çok daha hızlı sönümlendiği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle P dalgaları kırılmanın ayrıntısına çok daha fazla duyarlıdır.  $t^*$  sönüm operatörü değeri yüzeydeki bir kaynak için 0.1-5 Hz frekans aralığında P dalgaları için 1-0.5 aralığında bulunmaktadır (Choy ve Cormier, 1986). S dalgaları için ise bu değerden aynı frekans aralığında 4.5 kat daha büyük bir değer almaktadır.

### 2.1.1. Kaynak zaman fonksiyonu

Kaynak zaman fonksiyonu sismik dalga şekli modellemesi yapılırken dikkatle seçilmesi gereken önemli bir unsurdur.  $f(t)$  olarak bilinen kaynak zaman fonksiyonu (source time function), kaymanın ( $\Delta u$ ) zaman bağımlı olduğunu ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar (Aki ve Richards, 1980; Udias, 1999) yerdeğiştirmenin kayma yerine kayma hızına ( $\Delta \dot{u}(t)$ ) bağımlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum kaynağın sadece hareket durumundayken enerji yaydığını ve sabit durumdayken herhangi bir enerji çıkışının bulunmadığına işaret etmektedir. Böylece kaynak zaman fonksiyonunun kayma hızının zaman bağımlılığını ifade ettiğini açıkça söyleyebiliriz. Şekil 2.3.'de çalışmalarda karşımıza çıkan ve sıklıkla kullanılan kaynak zaman fonksiyonları ve bunların türevleri görülmektedir. Tüm fonksiyonlarda kayma  $t=0$  anında başlamakta ve  $\Delta u$ 'ya (en büyük değere) ulaştıktan sonra sabit kalmakta olduğu yani fayın eski durumuna dönmediği kabulü yapılmıştır. Şekil 2.3.a.'da  $\Delta u(t)$  basamak-fonksiyonu (step function) şeklinde olarak gözükmektedir.  $t=0$ 'da kayma anlık olarak en büyük değerine ulaşmakta ve kayma hızı impulsifdir. Şekil 2.3.b.'de  $\Delta u(t)$ ,  $t=0$ 'dan  $t=\tau$ 'ya kadar doğrusal olarak yükselmektedir.  $\tau$  anında en büyük değerine ulaşmaktadır. Burada artık yükselme zamanı (rise-time)  $\tau$  adında kaynağa ait yeni bir parametre ortaya çıkmaktadır.

Yükselim-zamanı ( $\tau$ ) kaymanın en büyük değerine ulaşması için geçen süre olarak ifade edilebilir. Şekil 2.3.c.'de gerçeğe daha yakın bir kaynak zaman fonksiyonu ortaya konulmuştur. Kaynak-zaman fonksiyonunun belirttiği kırılma olayı  $\tau/2$  gibi eşit bir yükselime (rise) ve düşüme (fall) sahiptir. Yine kayma hızı sıfırdan başlar ve en büyük değerine yükselmektedir.  $t=\tau$ 'da tekrar sıfıra doğru inişe geçmektedir. Son olarak Şekil 2.3.d.'de kayma hızı en büyük değerine ulaştıktan sonra bu konumunu belli bir süre sürdüren ve ardından tekrar sıfıra azalan bir yamuk (trapezoid) kaynak zaman fonksiyonu gösterilmektedir. Burada kaynak sürecinin uzatıldığı bir durum söz konusudur.



Şekil 2.3. Kayma ( $\Delta u$ ) ve kayma hızı ( $\Delta \dot{u}(t)$ ) arasındaki çeşitli kaynak-zaman fonksiyonları üzerindeki zaman bağımlı ilişki a) impulsif, b) " $\tau$ " süreli dikdörtgen, c) " $\tau$ " süreli ikizkenar üçgen ve d) " $\tau$ " süreli yamuk kaynak zaman fonksiyonları. Ayrıntı için metne bakınız (Udias, 1999)

Bilindiği üzere depremleri oluşturan kaynak süreci oldukça karmaşıktır. Bu durumda az önce bahsi geçen tüm kaynak zaman fonksiyonları deprem kaynağının tanımlanmasında basit kalabilir. Çözüm olarak üçgen ve/veya yamuk kaynak zaman fonksiyonlarının toplamından oluşan bir birleşim deprem kaynağını tanımlama da yeterli bir yaklaşım olabilecektir.

## 2.2. Sonlu Fay Analizi

Bir deprem, çok genel bir tanımla fay parçaları (sub-faults) olarak isimlendirilen birçok düzensiz fakat ölçekli olan kırılmaların meydana gelmesiyle oluşur. Depremlerin kaynağı, olayın kinematiki incelendiğinde fay düzlemi üzerindeki yer değiştirmelerin (kayma) dağılımı olarak kabul edilebilir. Fay düzlemi üzerindeki her bir küçük fay parçası bir öncekinden belirli bir süre ve miktarda hareket etmektedir.



Böylece tüm fay alanındaki kırılma evrimi tasvir edilmeye çalışılır. Depremlere neden olan faylanma alanının küçük fay parçalarına bölünmesi bilinmeyen sayısının fazlalaşmasına ve bunun sonucunda da ters çözüm işleminin duyarsızlaşmasına sebep olmaktadır. Bu gibi durumlardan kaçınmak ve problemin doğrusal hale getirilebilmesi için çeşitli araştırmacılar (Hartzell ve Heaton, 1983; Takeo, 1992 ve Yoshida, 1992) tarafından bazı kabuller yapılarak ters çözüm işlemleri yapılmıştır. Hartzell ve Heaton (1983), kırılmanın odaktan başladığını ve dairesel bir zaman penceresinde aynı hızda ilerlediği kabulünü yapmışlardır. Diğer araştırmacılar Takeo (1992) ve Yoshida (1992) ise ters çözümün duraylı bir hale gelebilmesi için çeşitli sınırlandırmalar ve yuvarlatmaların yanında her bir fay parçası için miktarı ( $L$ ) ve yarı genişliği ( $\tau$ ) önceden belirlenmiş ikizkenar üçgenlerin bir araya gelmesiyle oluşan ve çoklu zaman penceresi ters çözümü olarak adlandırılan kaynak zaman fonksiyonu tanımlamışlardır. Bu yaklaşımın en önemli avantajı kaynak zaman fonksiyonu tipinin önceden belirlenmesi ve her hücre için sabit bir değer kabul edilmesi durumunu ortadan kaldırmasıdır.

Kayma dağılımlarının (yer değiştirmelerin) belirlenmesi için faya ait doğrultu, eğim, kayma açısı ve derinlik parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametrelerden faya ait doğrultu ve eğim açıları sabit tutulurken kayma açısı ister sabit tutulur isteğe göre de  $\pm 45^\circ$  içinde serbest bırakılabilir. Kayma açısının serbest bırakılması modelleme esnasında bilinmeyen sayısının fazlalaşmasına ve ters çözümün yapılamaması gibi durumlara yol açabilir. Bu nedenle değişken kayma açısı seçeneği ile modelleme yapılacağı durumlarda bu hususun varlığı bilinerek hareket edilmesi gerekmektedir.

### **2.2.1. Çalışmada kullanılan sonlu fay ters çözüm yöntemi**

Tez çalışmasında kullanılan ters çözüm tekniği Hartzell ve Heaton (1983), Kikuchi ve Kanamori (1991), Yoshida (1992), Yoshida ve ark. (1996), Ide ve Takeo (1997) gibi çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş yöntemleri temel almaktadır.

Ters çözümde tüm faylanma alanına ait kırılma davranışının belirlenmesi için fay alanı her bir parçası kaynak olarak düşünülen küçük fay parçalarına ayrılır. Her bir fay parçası nokta kaynak olarak düşünülerek kırılmanın davranışı belirlenmeye çalışılır. Tüm bu bilgiler doğrultusunda faylanma alanı XX ve YY genişliğinde  $M \times N$  adet fay parçasına bölünmüştür (Şekil 2.4.). Her bir fay parçası üzerindeki kırılmanın zaman içerisindeki değişimi (kaynak zaman fonksiyonu),  $\tau$  yarı genişliğinde,  $L$  adet ikiz kenar üçgen ile tanımlanmıştır. Kayma vektörü faylanma alanını oluşturan her bir fay parçası üzerinde isteğe göre sabit ya da değişken alınabilir. Değişken olarak alınması durumunda her bir vektörün bileşkesi hesaplanır ve bu bileşkelerin değişimi ile fay parçasının kayma vektörü elde edilir. Bahsi geçen parametreler ile  $j$  istasyonundaki dalga şekli

$$W_j^{\text{obs}}(t_i) = \sum_{mnlk} X_{mnlk} g_{mnkj}(t_i - (l-1)\tau - T_{mn}) + e \quad (2.14)$$

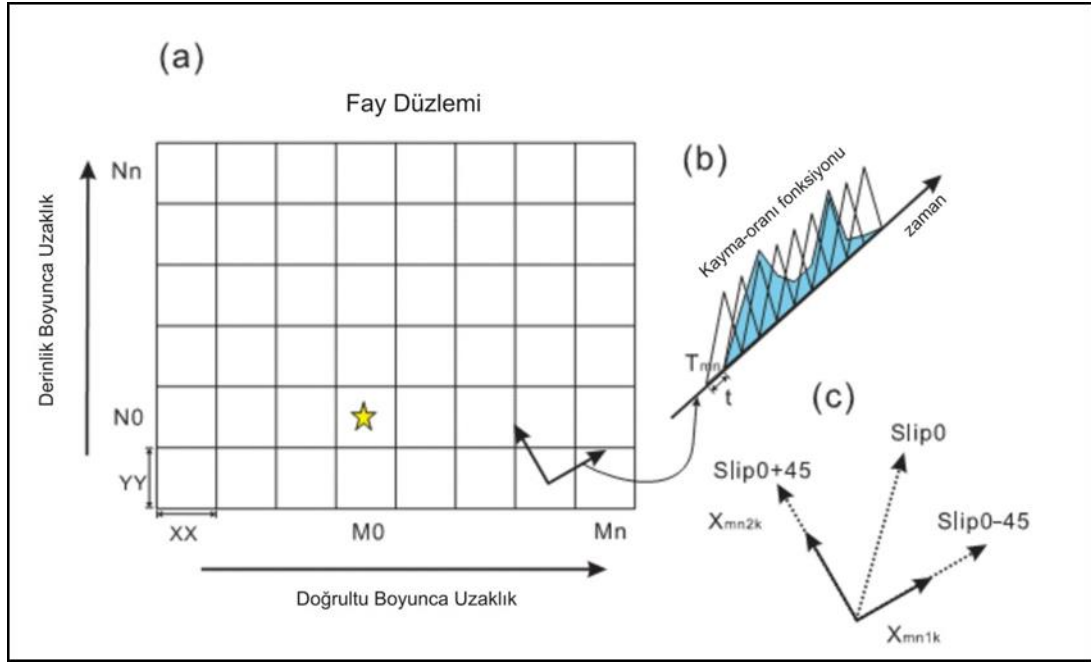
ile tanımlanır. Burada  $X_{mnlk}$ ,  $l$ -inci zaman adımında  $mn$ ' inci fay parçasındaki  $k$ 'nci kayma vektörü bileşeni;  $g_{mnkj}(t)$ , Green fonksiyonu (birim kaymalı  $mn$  fay parçasındaki bir nokta kaynaktan gelen başlangıç dalgası);  $T_{mn}$ , fay parçasındaki kaynak zaman fonksiyonu başlangıç zamanı;  $e$ , varsayılan Gaussian hata bileşeni şeklinde açıklanabilir. Telesimik kayıtların modellenenebilmesi için kullanılan Green fonksiyonu Kikuchi ve Kanamori (1991) metoduna göre hesaplanmıştır. Yukarıda eşitlik (2.14)'de verilen denklem vektörel şekilde yazılmak istenirse

$$y = Ax + e \quad (2.15)$$

halinde yazılabilir. Burada  $A$ , jakobiyen matrisidir (veri sayısı  $\times$  model parametre sayısı boyutunda). Veriler için değişinti kavramı ( $\sigma_j$ ) genel anlamda en büyük dalga genliğinin ( $DG_{maks}$ ) %10'u kadar tercih edilir ve istasyon ağırlandırmaları  $1/(DG_{maks} \times \sigma_j)$  şeklinde olur.

Deprem oluşumundaki kırılmanın ayrıntılı bir şekilde ortaya koyulabilmesi için faylanma alanı daha küçük fay parçalarına bölünebilir ve her bir fay parçasına ait kaynak zaman fonksiyonundaki ikizkenar üçgenlerden oluşan eleman sayısı

çoğaltılabilir. Kayma açısının sabit tutulması sonucu  $M \times N \times L$  adet bilinmeyen ortaya çıkar. Değişken tutulması durumunda ise  $M \times N \times L \times 2$  bilinmeyen ortaya çıkacaktır. Görüldüğü gibi bilinmeyen sayısı fazlalaşmaktadır ve bu nedenle ters çözüm duraylılığını yitirebilir. Bu gibi sorunların önüne geçebilmek amacıyla zaman ve uzay ortamında düzgünleştirme (smoothness) işlemi uygulanabilir.



Şekil 2.4. Kaynak parametrisasyonunu ifade eden temsili şema (Yagi, ve ark., 2004). a) Fay düzlemi, fay parçalarına bölünmüştür. b)  $M_n$  fay parçası için moment fonksiyonunun parametresi.  $T_{mn}$  maksimum kırılma hızı tarafından belirlenen her bir fay parçasındaki kaynak zaman fonksiyonunun başlangıç zamanını verir. c) Kayma vektörünün bileşenlerini gösterir

Örneğin, Hartzell ve Heaton (1983), faylanma alanını daha küçük parçalara ayırarak düzgünleştirme oranını artırılmasının daha doğru bir yaklaşım olduğunu savunmuşlardır. Zaman ortamındaki düzgünleştirme işlemi

$$0 = X_{mnk(l-1)} - 2X_{mnkl} + X_{mnk(l+1)} + e_t, \quad 2 \leq l \leq L-1 \quad (2.16)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $e$  Gaussian hata birimidir ve vektörel anlamada aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$0 = Tx + e_t \quad (2.17)$$

Uzay ortamı için Laplace sonlu farklar operatörü kullanılarak

$$0 = \sum_l [X_{(m-1)nl} + X_{(m+1)nl} + X_{m(n-1)l} + X_{m(n+1)l} - 4X_{mnl}] + e_d \quad (2.18)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $e_d$  Gaussian hata birimidir ve vektörel anlamda basit bir şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$0 = Dx + e_d \quad (2.19)$$

Eğer kırık yüzeye ulaşıyorsa, yüzeye en yakın konumdaki faylar için

$$0 = \sum_l [X_{(m-1)nl} + X_{(m+1)nl} + X_{m(n-1)l} - 3X_{mnl}] + e_d, \quad n=N \quad (2.20)$$

işlemi uygulanır. Tüm bunların yanında kayma açılarının başlangıç seviyelerinde olaması için yumuşaklaştırma işleminin uygulanması gerekmektedir. Bu sebeple kayma açısı için,

$$0 = X_{m1l} - X_{mn2l} + e_v \quad (2.21)$$

Burada  $e_v$  Gaussian hata birimidir. Bu, aşağıdaki basit vektör biçiminde yeniden yazılabilir.

$$0 = Vx + e_v \quad (2.22)$$

Gözlenmiş veriler ve yumuşaklaştırma operatörleri kullanılarak rezidüellerin karelerinin ( $S_w$ ) en aza indirgeyecek model parametreleri vektörel anlamda aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$S_w = (x, \beta_t, \beta_d, \beta_v) = \|y - Ax\|^2 + \beta_t^2 \|Tx\|^2 + \beta_d^2 \|Dx\|^2 + \beta_v^2 \|Vx\|^2 \quad (2.23)$$

Eşitlikte verilen  $\beta_t, \beta_d, \beta_v$  sırasıyla kaynak zaman fonksiyonu, kayma dağılımı ve her bir fay parçasındaki kayma açısı değeri için yumuşatma operatörlerinin göreceli ağırlıklarının tersini ifade etmektedir.  $\beta$ 'nin yüksek değerde olması kaynak zaman fonksiyonunu ve kayma dağılımını daha fazla yuvarlatma etkisine sahip iken, kayma açısının ise başlangıç seviyelerindeki değerlerine yakın olmasını sağlar.

Ters çözüm işleminde negatif olmayan en küçük kareler yaklaşım (nonnegative least squares, NNLS) metodu kullanılmaktadır. Bunun sebebi fay düzlemi üzerindeki kayma dağılımının hesaplanması aşamasında kullanılan parametrelerin hiçbir tanesinin değeri negatif (ters yönde) olmamalıdır. Kayma dağılımı değerinin negatif değer alması bahsi geçen fay parçasında meydana gelen kırılmanın ters yönde gerçekleştiği anlamını taşımaktadır ki bu durum fiziksel olarak mantıklı değildir. Bunun yanında kırılmanın sürecide geriye doğru işleyemez. Bu gibi fiziksel olarak imkanı bulunmayan durumlar ters çözümde duraysızlığa neden olmaktadır.

### 2.3. Coulomb Statik Gerilme Değişimlerinin Modellenmesi

Deprem oluşumu esnasında kırılan faylar boyunca kayma gerilmesinin azaldığı bilinmektedir. Bununla birlikte yalnızca depremler esnasında kırılan fayların uçlarında kayma gerilmesinin yükselmediği aynı zamanda kırılmanın gerçekleştiği çevre bölgelerde de kayma gerilmesinin yükseldiği anlaşılmıştır (Chinnery, 1963). Bu görüş 1980'li yıllarda meydana gelen depremler sonrasında ilgili bölgelerde biriken artçı deprem dağılımlarının kayma (Das ve Scholz, 1981) veya Coulomb (Stein ve Lisowski, 1983) gerilmelerindeki ufak artışların yaşandığı alanlara denk gelmesiyle daha kuvvetli bir şekilde benimsenmiştir (Stein, 1999). Normal gerilme ve sürtünme katsayısının da kayma gerilmesinin yanında hesaplamalara katılarak teorik deneyler yapılmasıyla Coulomb yenilme kriteri ortaya konmuştur (King ve ark., 1994). Böylece yer kabuğunda meydana gelen kırılmalar tatmin edici bir şekilde açıklanmıştır.

Herhangi bir bölgede meydana gelen büyük bir depremin, etrafında bulunan faylar üzerinde ne kadar etkisinin olduğu ve bir sonraki adımda hangi bölgeler de deprem

üretme ihtimalini azalttığı veya arttırdığı gibi sorulara cevap bulma konusunda Coulomb yenilme kriteri kullanılarak hesaplanan gerilme alanı değişimleri incelemeleri önemli katkılar sağlamaktadır. Çeşitli araştırmacılar (King ve ark., 1994; Stein ve ark., 1996; Stein ve ark., 1997; Harris, 1998; Stein, 1999; Stein, 2003; Toda ve Stein, 2003; Toda ve ark., 2005; Nalbant ve ark., 2006) deprem sonrasında çevre bölgelerde gerilme artımı ve azalımının olabileceğini, bu değişimlerin meydana gelebilecek başka bir depremi olması gereken zamandan önce veya daha sonraya kaydırabileceğini ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda bu değişimler sonucu bölge de bulunan başka faylar da tetiklenebilmektedir. Geçmişte yapılan çalışmalar incelenirse (King ve ark., 1994; Nalbant ve ark., 1996; Steacy ve ark., 2005b; Utkucu ve ark., 2013) bir deprem Coulomb yenilme kriteri ile analiz edildiğinde sonrasında meydana gelen artçı deprem aktivitesinin yenilme gerilmesindeki değişim ile ilişkili olduğu ve artçı deprem dışmerkezlerinin gerilme değişimlerinde artış olan bölgelerde kümелendiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak, Coulomb gerilme değişimleri hesaplamaları yapılarak anaşok ve artçı depremlere bağlı olarak gelişen gerilme artışı ve azalışına maruz kalan bölgeler belirlenebilmektedir. Bunun yanında depremler ile mevcut faylar arasında ilişkiler kurulabilir ve gelecekte deprem oluşma potansiyeline sahip bölgeler tespit edilebilmektedir.

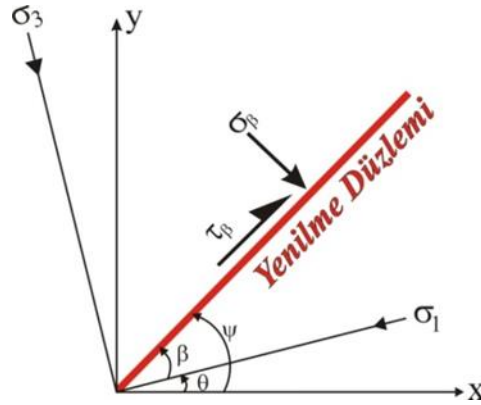
### **2.3.1. Coulomb yenilme kriteri**

Yarı uzay bir ortamda olduğu varsayılan boyutları belirli bir fay düzlemi üzerinde oluşan yer değiştirme nedeniyle yer kabuğu deforme olmaktadır. Bunun sonucunda Coulomb gerilme değişimi meydana gelir (Okada, 1985; Okada, 1992). Yenilmenin meydana geldiği kayaçlar üzerinde şartları belirlemek için çeşitli kıstaslar kullanılmıştır. Coulomb yenilme kriteri bu kıstaslardan en yaygın olarak kullanılanıdır. Coulomb yenilme kriteri aşağıda takip eden formülasyonlarla açıklanmıştır (King ve ark., 1994). Bir düzlem üzerinde yenilmenin ortaya çıkması için Coulomb gerilmesi ( $\sigma_f$ )'nin belirli bir değerin üzerine çıkması gerekmektedir (Denklem 2.24).

$$\sigma_f = \tau_\beta - \mu(\sigma_\beta - p) \quad (2.24)$$

Yukarıdaki eşitlikte;  $\tau_\beta$  yenilme düzleminde bulunan kayma gerilmesini,  $\mu$  sürtünme katsayısını,  $\sigma_\beta$  normal gerilme,  $p$  boşluk suyu basıncı (gözenek sıvı basıncı) ifade etmektedir.  $\tau_\beta$ 'nin değeri daima pozitif olması gerekmektedir. Fakat  $\tau_\beta$ , bir düzlem üzerinde gerilmenin incelenmesi işleminde kayma potansiyelinin sağ yada sol yanal olup olmadığına bağlı olarak negatif yada pozitif değerler alabilir. Bu nedenle eşitlikte önemli bir husus  $\tau_\beta$ 'nin uygun bir değer seçilmesi noktasıdır.

Şekil 2.5.'de gösterildiği gibi yenilme düzlemi,  $\sigma_1$  (en büyük asal gerilme) ekseninden  $\beta$  kadar yönlendiği zaman uygulanan gerilme bileşenleri  $\sigma_\beta$  ve  $\tau_\beta$ 'yi asal gerilmeler  $\sigma_1$  ve  $\sigma_3$  asal gerilmeler türünden denklem 2.25 ve 2.26'da ortaya koyabiliriz.



Şekil 2.5. Eksen sistemi Coulomb gerilmelerini optimum yenilme düzlemleri üzerinde hesaplanmasını ifade eder. Şekilde sıkışma ve sağ-yanal kayma gerilmesi fay düzlemi üzerinde pozitif olarak alınır (King ve ark., 1994)

$$\sigma_\beta = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\beta \quad (2.25)$$

$$\tau_\beta = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\beta \quad (2.26)$$

Eşitlikte,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_3$  sırasıyla en büyük asal gerilme eksen ve en küçük asal gerilme eksenlerini ifade etmektedir. Bu durumda 2.24 denklemi asal gerilmeler türünden şu şekilde yazılabilir.

$$\sigma_f = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)(\sin 2\beta - \mu \cos 2\beta) - \frac{1}{2}\mu(\sigma_1 + \sigma_3) + \mu p \quad (2.27)$$

Coulomb yenilme gerilmesinde maksimum değişimin ( $\sigma_f^{max}$ ), en büyük asal gerilme eksen ile yenilme düzlemi ile arasındaki açıyı belirten  $\beta$  'nın,  $\tan 2\beta = \pm \frac{1}{\mu'}$  olduğunda meydana gelir (King ve ark., 1994).

Gözenek sıvı basıncı ( $p$ ), denklem 2.24'de belirtildiği üzere yenilme düzlemi karşısında etkin normal gerilmeyi değiştirmektedir. Kaya parçaları gerildiklerinde akış sayesinde değişebilen sıvı basıncından çok daha hızlı şekilde değişebilmektedir. Bu durumda gözenek sıvı basıncı ( $p$ ), değeri 0 ile 1 arasında değişebilen Skempton katsayısı  $B$  tarafından kayada hapsedilen gerilme ile ilişkilendirilebilir. Yani  $\sigma_\beta$  'nın düzlem üzerindeki normal gerilme yanı sıra hapsedilen gerilmeyi de temsil ettiği varsayımı ortaya konmuştur. Bu bilgiler neticesinde 2.24 denklemi ve yukarıda yazılmış eşitlikler tekrar yazılabilir (Denklem 2.28) (Simpson ve Reasenberg, 1994; Harris, 1998).

$$\sigma_f = \tau_\beta - \mu' \sigma_\beta \quad (2.28)$$

Eşitlikte  $\mu'$  efektif sürtünme katsayısı olarak tanımlanır.  $\mu' = \mu(1 - B)$  şeklinde ise formülize edilir.  $\mu'$  'nün değeri ile ilgili çeşitli görüşler bulunmaktadır. Stein (1999), 0.2 ile 0.8 aralığında değiştiğini, King ve ark. (1994) ve Steacy ve ark. (2004) ise hesaplamalarda  $\mu'$  değeri ile ilgili seçimin, modellemelerde Coulomb yenilme gerilmesi üzerindeki değişimi önemli bir şekilde etkilemediğini ortaya koymuşlardır. Orta asal gerilme  $\sigma_2$  yenilme durumunun olduğu koşulda herhangi bir etkiye sahip değildir. Bu nedenle yenilme şartı iki boyutlu olarak alınmaktadır. Bu adımdan sonraki süreçlerin tümünde anlatımlar iki boyutlu olarak tasvir edilecektir.



Tasarlanan sistemde,  $x$  ve  $y$  eksenleri ve fay yer değiştirmeleri yatay, fay düzlemleri ise düşeydedir. Bu durumda Şekil 2.5.  $x$  ekseninden  $\psi$  miktarında bir açıda bulunan düzlem üzerindeki gerilmesi aşağıdaki eşitliklerle tanımlanır.

$$\sigma_{11} = \sigma_{xx} \cos^2 \psi + 2\sigma_{xy} \sin \psi \cos \psi + \sigma_{yy} \sin^2 \psi \quad (2.29)$$

$$\sigma_{33} = \sigma_{xx} \sin^2 \psi - 2\sigma_{xy} \sin \psi \cos \psi + \sigma_{yy} \cos^2 \psi \quad (2.30)$$

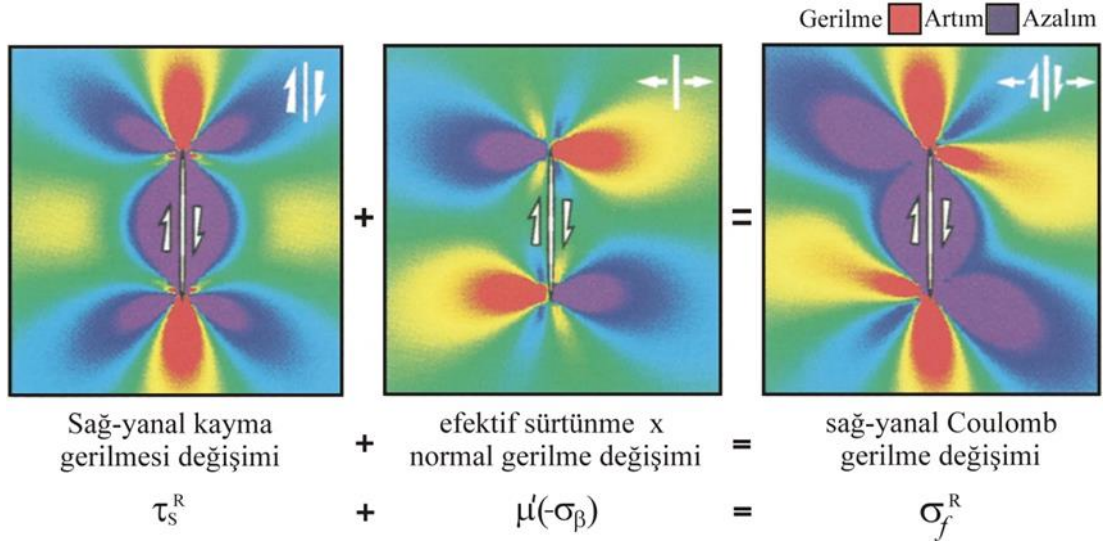
$$\tau_{13} = \frac{1}{2} (\sigma_{yy} - \sigma_{xx}) \sin 2\psi + \tau_{xy} \cos 2\psi \quad (2.31)$$

şimdi, sağ-yanal ( $\sigma_f^R$ ) ve sol-yanal ( $\sigma_f^L$ ) durumlar için Coulomb gerilmesi değişimleri  $x$  eksenine göre  $\psi$  açısı ile yönlenmiş düzlemler üzerinde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\sigma_f^R = \tau_{13}^R + \mu' \sigma_{33} \quad (2.32)$$

$$\sigma_f^L = \tau_{13}^L + \mu' \sigma_{33} \quad (2.33)$$

2.31'deki denklemde bulunan  $\tau_{13}$ 'ün değeri denklem 2.32'da bulunan sağ-yanal kayma ( $\tau_{13}^R$ ) için değişmezken denklem 2.33'deki sol-yanal kayma ( $\tau_{13}^L$ ) için bu değerin tam aksi yani tersini alınmaktadır. Yukarıda bahsi geçen denklem 2.32, Şekil 2.6.'da sağ-yanal kayma gerilmesi hesabı olarak gösterilmiştir. Burada gerilmenin olmadığı elastik bir yarı uzay kabulü yapılmış tekdüze olan ana bir fay üzerine kayma eliptik olarak dağıtılmıştır. Şekil incelendiğinde ana faya paralel olarak gelişen faylar için yenilme durumuna ek olarak kayma ve normal bileşenlerin etkileri de katılarak Coulomb gerilme değişim modeli ortaya koyulmuştur. Bu hesaplama türü yalnızca ana fay üzerinde mevcut bulunan kayma nedeniyle ortaya çıkan belirli bir düzlem üzerindeki Coulomb gerilme değişimini ifade etmektedir.



Şekil 2.6. Coulomb gerilme değişiminin sağ-yanal bir ortam için denklemin şematik gösterimi (King ve ark., 1994)

Coulomb gerilme değişimi sadece parametreleri tanımlanmış belirli olan faylar üzerinde değil aynı zamanda optimum olarak yönlendirilmiş ve artçı deprem üretme potansiyeli olan düzlemler üzerinde de hesaplanabilmektedir. Aynı zamanda meydana gelen depremden sonra optimum yönler, yalnızca bu ilgili deprem nedeniyle oluşan gerilme değişimi ( $\sigma_{ij}^q$ ) ile yorumlanmamalı, buna ek olarak önceden depremin meydana geldiği bölgede var olan bölgesel gerilmelerde ( $\sigma_{ij}^r$ ) hesaplamalara katılarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda optimum düzlemler üzerinde hesaplanan toplam gerilme denklem aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$\sigma_{ij}^t = \sigma_{ij}^r + \sigma_{ij}^q \quad (2.34)$$

Aynı zamanda mevcut toplam gerilmenin neden olduğu asal eksenlerin yönelimi denklem aşağıdaki eşitlik kullanılarak ortaya çıkarılır.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2\sigma_{xy}^t}{\sigma_{xx}^t - \sigma_{yy}^t} \right) \quad (2.35)$$

Eşitlikteki  $\theta$ , Şekil 2.5.'de incelenirse açık bir şekilde gösterilmiştir. Buna göre  $\theta$ , asal eksenlerden birinin  $x$  eksenine ile yaptığı açıdır ve diğer asal eksen  $\theta$  ile  $\pm 90^\circ$  açı

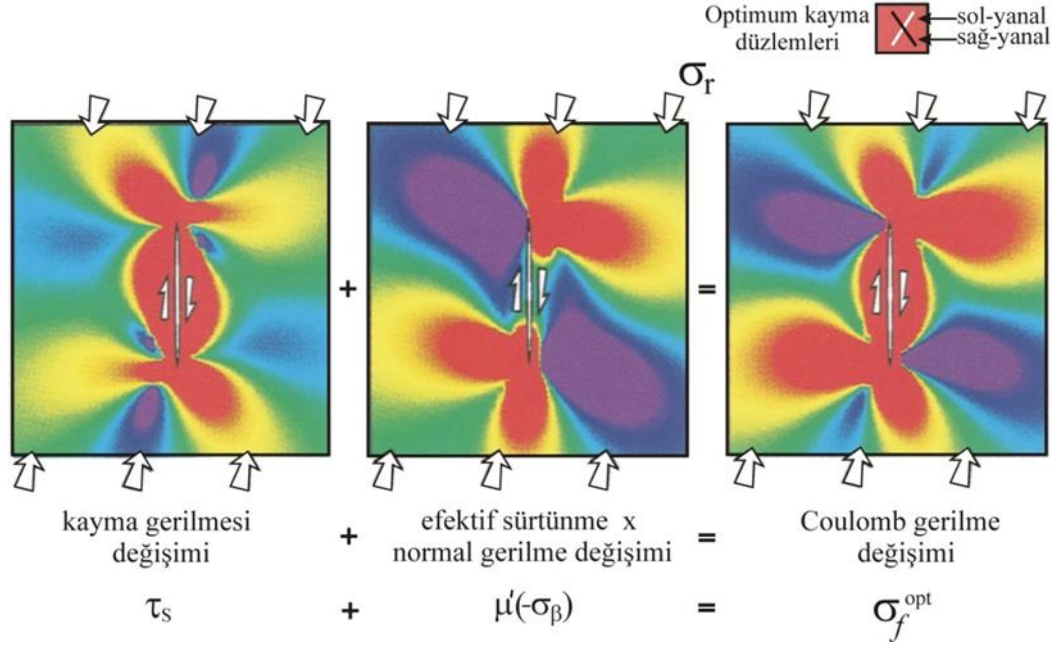
oluşturmaktadır. Bu iki yönelimden en büyük sıkışma açısı  $\theta_1$  olarak seçilir ve böylece optimum yenilme açısı  $\psi_o$ ,  $\theta_1 \pm \beta$  ile verilmektedir.  $\sigma_{ij}^t$  burada optimum düzlemler olarak tanımlanmıştır ve bu düzlemler üzerinde bulunan normal ve kayma gerilmesi değişimleri yalnızca deprem gerilme değişimleriyle  $\sigma_{ij}^q$  belirtilir. Tüm bu bilgiler ışığında optimum düzlemler üzerindeki gerilmedeki değişimler 2.36 ve 2.37 denklemlerindeki gibi, Coulomb gerilme değişimi ise 2.38 denklemi ile ifade edilmektedir.

$$\sigma_{33} = \sigma_{xx}^q \sin^2 \psi_o - 2\sigma_{xy}^q \sin \psi_o \cos \psi_o + \sigma_{yy}^q \cos^2 \psi_o \quad (2.36)$$

$$\tau_{13} = \frac{1}{2} (\sigma_{yy}^q - \sigma_{xx}^q) \sin 2\psi_o + \tau_{xy}^q \cos 2\psi_o \quad (2.37)$$

$$\sigma_f^{opt} = \tau_{13} - \mu' \sigma_{33} \quad (2.38)$$

Coulomb gerilme değişimini ifade eden 2.38 denklemi Şekil 2.7.'de optimum düzlemler üzerinde hesaplanan Coulomb gerilme değişimini göstermektedir. Burada, hesaplanan Coulomb gerilme değişim modeli 100 bar ve K7°D yönelimli bölgesel sıkışma gerilmesindeki ( $\sigma^r$ ) optimum olarak yönelmiş faylar için gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Coulomb gerilme değişiminin  $\sigma_r$  bölgesel sıkışma gerilmesi altında optimum yönelimli düzlemler üzerinde denklem 2.38 uyarınca şematik açıklaması (King ve ark., 1994'den derlenmiştir)

Bu çalışmada gerilme değişimi hesaplamalarında Matlab tabanlı olarak çalışan Coulomb 3.2 paket programı tercih edilmiştir (Lin ve Stein, 2004; Toda ve ark., 2005, Toda ve ark., 2011). Hesaplamalarda ihtiyaç duyulacak parametrelerden  $\mu''=0.4$ , Young modülü  $8 \times 10^5$  bar ve Poisson oranı 0.25 olarak alınmıştır. Deprem kırılmalarının yarı elastik bir ortamdaki dikdörtgen dislokasyon yüzeyleri olduğu varsayımı yapılmış ve Okada (1992) tarafından verilen denklemler baz alınarak depremlerin kosismik elastik dislokasyon modellemesi hesaplanmıştır.

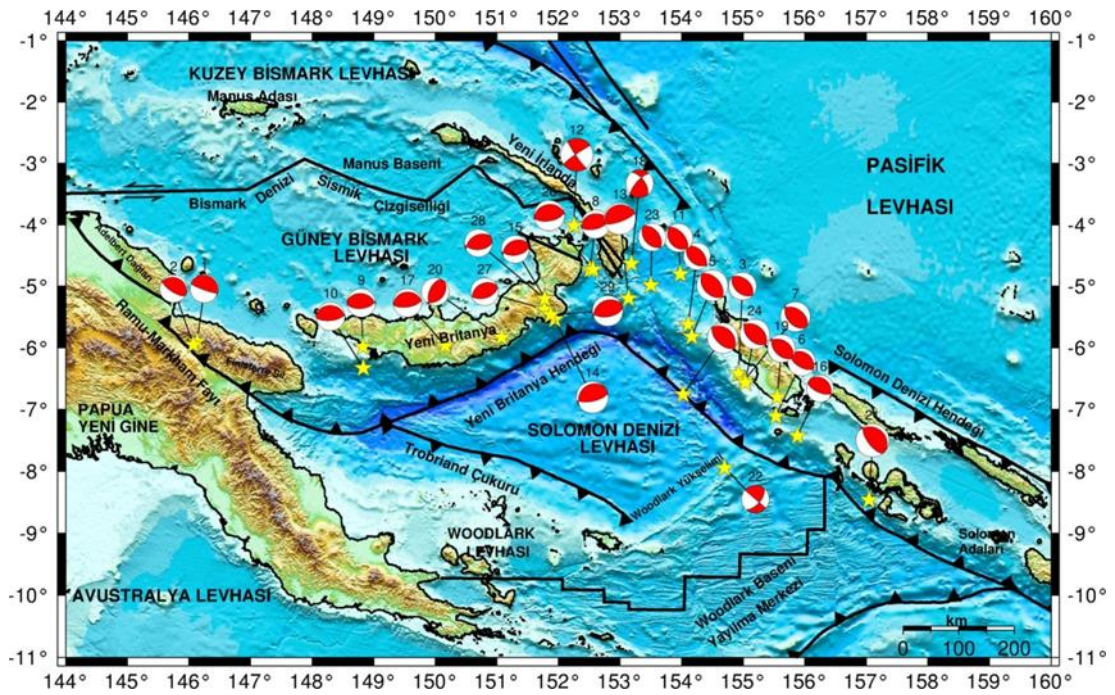
## BÖLÜM 3. ANALİZ VE BULGULAR

### 3.1. Giriş

Sonlu-fay deprem dalga şekli analizlerinde ilk adım analizi yapılacak deprem veya depremlerin güvenilir odak ve kaynak parametrelerinin elde edilmesidir. Bu çalışmada güneydoğu Pasifik’de Papua Yeni Gine (PNG) bölgesindeki Yeni Britanya Hendeği üzeri ve civarında meydana gelmiş 29 adet büyüklükleri  $M_w \geq 6.7$  ( $M_w = 6.65$  olanlarda kabul edilmiştir) ve daha yukarı olan deprem çalışılacağından bu depremlerin odak ve kaynak parametrelerinin elde edilmesine uğraşılmıştır. Bu amaçla birden çok sismolojik merkezin (USGS, HRV, ISC, ISC\_GEM) katalogları taranmıştır. Bu katalogların karşılaştırılması sonucu ilk tercih olarak daha ayrıntılı ve güvenilir olduğu değerlendirilen ISC-GEM (International Seismological Center-Global Earthquake Model) projesi (Storchak ve ark., 2013) kapsamında oluşturulan odak parametrelerinin çalışılacak depremler için kullanılmasına karar verilmiştir. Fakat bazı depremlerde yapılan detaylı analizlerde ISC-GEM tarafından önerilen parametrelerle istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır. Bununla birlikte ISC-GEM kataloğu 2012 yılına kadar olan depremleri kapsamakta ve çalışmada analiz edilmesi düşünülen 2012 yılı sonrasında meydana gelmiş 6 adet deprem bulunmaktadır. Depremlerin odak parametrelerinin elde edilmesinde tercih önceliği her ne kadar ISC-GEM kataloglarına verilmiş olsa da yukarıda bahsi geçen problemlerden ötürü farklı sismolojik merkezlerin (USGS, ISC) odak parametreleri de sonlu-fay modellemelerinde kullanılabilmiştir.

Çalışmada analiz edilecek 29 deprem için derlenen odak parametreleri Tablo 3.1.’de listelenmiş ve episantr dağılımları kaynak mekanizma çözümleri ile birlikte Şekil 3.1.’de verilmiştir. Çalışılacak depremlerin sonlu fay model parametrizasyonunda kullanılacak olan başlangıç kaynak parametreleri Harvard-GCMT, USGS gibi

uluslararası sismolojik merkezlerin kataloglarından ve çeşitli araştırmacıların makalelerinden elde edilmiştir. Bu iki CMT katalogundan ve çeşitli araştırmacıardan elde edilen kaynak parametreleri geniş bir dalga bandından faydalanılarak belirlendiğinden çalışılması düşünülen büyük depremlerin genel karakterini temsil ettiği düşünülmüştür. Deprem kaynağının genel karakterinin bu şekilde temsilinden sonra ayrıntılı temsillere yapılacak sonlu-fay analizleri ile ulaşılabacaktır. Çalışılacak her bir depremin kaynak parametreleri ilgili depremin sonlu-fay analizinin anlatıldığı alt bölüm başlığı altında sunulacaktır.



Şekil 3.1. Çalışma bölgesine ait basitleştirilmiş sismotektonik harita. Levha sınırları ve faylar Tregoning ve ark., (1998) ve Llanes ve ark., (2009)'dan derlenmiştir. Harita üzerindeki sarı yıldızlar çalışılan depremlerin dışmerkezlerini ve kırmızı-beyaz plaj topları kaynak mekanizma çözümlerini temsil etmektedir. Kaynak mekanizma çözümleri üzerindeki numaralar Tablo 3.1.'deki deprem numaralarına atıf yapmaktadır. Odak ve kaynak parametreleri ISC-GEM (Storchak ve ark., 2013), ISC, USGS ve Harvard-GCMT kataloglarından elde edilmiştir

Tablo 3.1. Çalışmada sonlu fay analizi yapılan depremlerin ISC-GEM (Storchak ve ark., 2013) tarafından, ISC ve USGS kataloglarından derlenen odak parametreleri

No	Tarih	Oluş zamanı (GMT)	Enlem	Boylam	Der. (km)	Mw	Kaynak
1	13.10.1993	02:06:01.76	-5,901	146,131	21,4	6,87	ISC-GEM
2	25.10.1993	10:27:05.01	-5,949	146,069	21	6,66	ISC-GEM
3	18.04.1994	17:29:56.48	-6,418	154,922	35	6,7	ISC-GEM
4	21.04.1994	03:51:47.04	-5,623	154,110	35	6,65	ISC-GEM
5	16.08.1995	10:27:30.50	-5,821	154,168	46,6	7,6	ISC
6	29.04.1996	14:40:41.58	-6,525	155,021	35	7,19	ISC-GEM
7	14.10.1996	23:26:22.84	-7,111	155,534	25	6,76	ISC-GEM
8	16.05.1999	00:51:19.27	-4,728	152,514	45	7,04	ISC-GEM
9	17.11.1999	03:27:43.76	-5,982	148,825	45	6,92	ISC-GEM
10	19.11.1999	13:56:48.58	-6,327	148,829	35	7,01	ISC-GEM
11	29.10.2000	08:37:08.45	-4,803	153,981	45	6,93	ISC-GEM
12	16.11.2000	04:54:59.27	-4,011	152,254	30	8,00	ISC-GEM
13	16.11.2000	07:42:19.68	-5,195	153,139	31,6	7,81	ISC-GEM
14	17.11.2000	21:01:59.36	-5,535	151,940	37,4	7,77	ISC-GEM
15	18.11.2000	06:55:01.24	-5,190	151,780	45	6,74	ISC-GEM
16	19.04.2001	21:43:45.30	-7,427	155,881	25	6,64	ISC-GEM
17	31.10.2001	09:10:22.15	-5,967	150,161	34	6,92	ISC-GEM
18	11.03.2003	07:27:34.63	-4,630	153,183	41,5	6,79	ISC-GEM
19	01.09.2006	10:18:51.19	-6,805	155,555	38	6,75	ISC-GEM
20	17.10.2006	01:25:12.51	-5,829	151,080	33,1	6,70	ISC-GEM
21	01.04.2007	20:39:58.08	-8,466	157,043	24	8,1	USGS
22	28.06.2007	02:52:10.63	-7,948	154,698	18	6,69	ISC-GEM
23	26.09.2007	12:36:25.97	-4,985	153,498	30	6,75	ISC-GEM
24	11.04.2014	07:07:20.00	-6,565	155,032	37,2	7,2	ISC
25	19.04.2014	13:28:00.81	-6,755	155,024	43,4	7,5	USGS
26	29.03.2015	23:48:30.45	-4,729	152,562	41,0	7,5	USGS
27	30.04.2015	10:45:02.93	-5,375	151,771	31,0	6,7	USGS
28	01.05.2015	08:06:03.48	-5,201	151,777	44,0	6,8	USGS
29	05.05.2015	01:44:05.00	-5,462	151,875	55,0	7,5	USGS

Çalışma bölgesi Pasifik ve Avustralya levhaları arasında farklı yönlerde hareket eden dört göreceli olarak küçük levhanın (Güney ve Kuzey Bismark, Solomon ve Woodlark Levhaları) karmaşık bir tektonizmaya ve sıklıkla büyük/çok büyük depremlerle temsil edilen yoğun bir deprenselliğe sahiptir (Bknz. Şekil 1.4.) (Storchak ve ark., 2013, Benz ve ark., 2011). GPS çalışmalarının bölgede göreceli levha hızlarının 50 mm/yıl'ı aştığını önerdiği düşünüldüğünde bu yoğun deprensellik beklenen bir durumdur (Bknz. Şekil 1.3., Wallace ve ark., 2004). Türkiye'nin en önemli tektonik unsuru ve aynı zamanda bir levha sınırı olan Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca kayma hızının yaklaşık 25 mm/yıl olduğu (Reilinger ve

ark., 2006; Çakır ve ark., 2014) düşünüldüğünde bölgenin tektonik açıdan ne kadar aktif olduğu canlandırılabilir.

Çalışma bölgesindeki depremlerin çoğunun bulunduğu Yeni Britanya Hendeği civarında tipik dalma-batma zonu depremleri karakteristiği olarak 400-500 km'lere varan derinlikte depremlerle karşılaşmaktadır. Çalışmada levhalar arası ara yüzeyde meydana gelen depremlerin kırılma özelliklerinin ve gerilme etkileşimlerinin analiz edilmesi düşünüldüğünden 50 km derinliği (+5 km esnetilebilir) bir alt derinlik sınırı olarak alınmıştır. Ayrıca çok büyük depremlerin sıklıkla meydana gelmesi, sonlu-fay analizinde kullanılacak telesismik dalgaların çözünürlükleri ve kayda değer bir gerilme etkileşimine neden olabilecek deprem büyüklüğü ne olabilir sorusu (S. Nalbant, kişisel görüşme, 2014) birlikte dikkate alınarak  $M_w=6.7$  büyüklüğü alt büyüklük sınırı olarak alınmıştır. Böylelikle Tablo 3.1.'de verilen ve Şekil 3.1.'de gösterilen 29 adet deprem seçilmiştir.

Tüm bu kısıtlamalar neticesinde seçilen depremler arasında uzay ve zaman ortamında yakın olarak meydana gelmiş deprem çiftleri ve sislilerinin olduğu kolaylıkla görülebilir (Tablo 3.1. ve Şekil 3.1.). Bu durum Coulomb deprem gerilme analizleri ile olası deprem gerilme etkileşimleri varlığının araştırılmasını önemli kılmaktadır. Papua Yeni Gine'nin doğusunda Ramu-Markham Fay Zonu üzerinde meydana gelen 1993 depremleri ( $M_w=6.9$  ve  $M_w=6.7$ ), Yeni Britanya Hendeği batısında iki gün arayla meydana gelmiş 1999 depremleri ( $M_w=6.9$  ve  $M_w=7.0$ ), Yeni İrlanda Bölgesinde 2000 yılında meydana gelmiş deprem silsilesinin üyesi olan depremler ( $M_w=8.0$  büyüklüğünde ki deprem ve hemen arkasından yaklaşık 3 saat sonra meydana gelen  $M_w=7.8$  ile 37 saat sonra meydana gelen  $M_w=7.8$  büyüklüğündeki depremler) uzay ve zaman ortamında yakın olan depremler bağlamında ifade edilebilirler.

### 3.2. Sonlu Fay Analizleri

Bu bölümde Tablo 3.1.'de verilen ve episantr dağılımları Şekil 3.1.'de gösterilmiş 29 adet depremin sonlu-fay analizlerine teker teker ve ayrıntılı olarak değinilecektir.



Sonlu-fay analizlerine geçilmeden önce yapılan tüm analizlerde yapay uzak-alan kayıtlarının üretilebilmesi amacıyla Kikuchi ve ark. (1999) tarafından önerilen genel kabuksal hız modelinin kullanıldığı ifade edilmelidir (Tablo 3.2.).

Kullanılacak uzak alan geniş band veriler internet aracılığıyla IRIS web sayfasındaki veri arşivinden temin edilmiştir. Verilerin temin edilmesi sırasında istasyonların dışmerkez uzaklıklarının  $30^\circ \leq \Delta \leq 90^\circ$  arasında olmasına özen gösterilmiştir. Bunun nedeni çekirdek ve üst manto yansımalarından kaynaklanan dalga şekillerini etkileyecek saçılımlardan kaçınmaktır. Episantra  $90^\circ$  den uzak istasyonlarda P ve S fazları ile çekirdek fazları (PcP, ScS) karışmaktadır.  $30^\circ$ 'den yakın istasyonlar ile odak arasındaki ışınlar genelde yüksek hız değişiminin görüldüğü heterojen kabuk ve üst manto içinde seyahat ederler.  $30^\circ \leq \Delta \leq 90^\circ$  arası uzaklıklarda dalgalar göreceli olarak homojen alt manto içinden geçerek istasyonlara ulaşırlar. Telesismik uzaklıklardaki P ve SH fazları diğer fazlardan rahatça ayırt edilebildiğinden bağımsızca analiz edilebilirler (Langston ve Helmberger, 1975). Veri ve model parametrizasyonu ile ilgili bilgiler incelenecek her bir deprem için açılacak başlıklar altında verilecektir.

Tablo 3.2. Çalışmada sonlu-fay analizi yapılan tüm depremler için kullanılan kabuksal hız yapısı (Kikuchi ve ark, 1999)

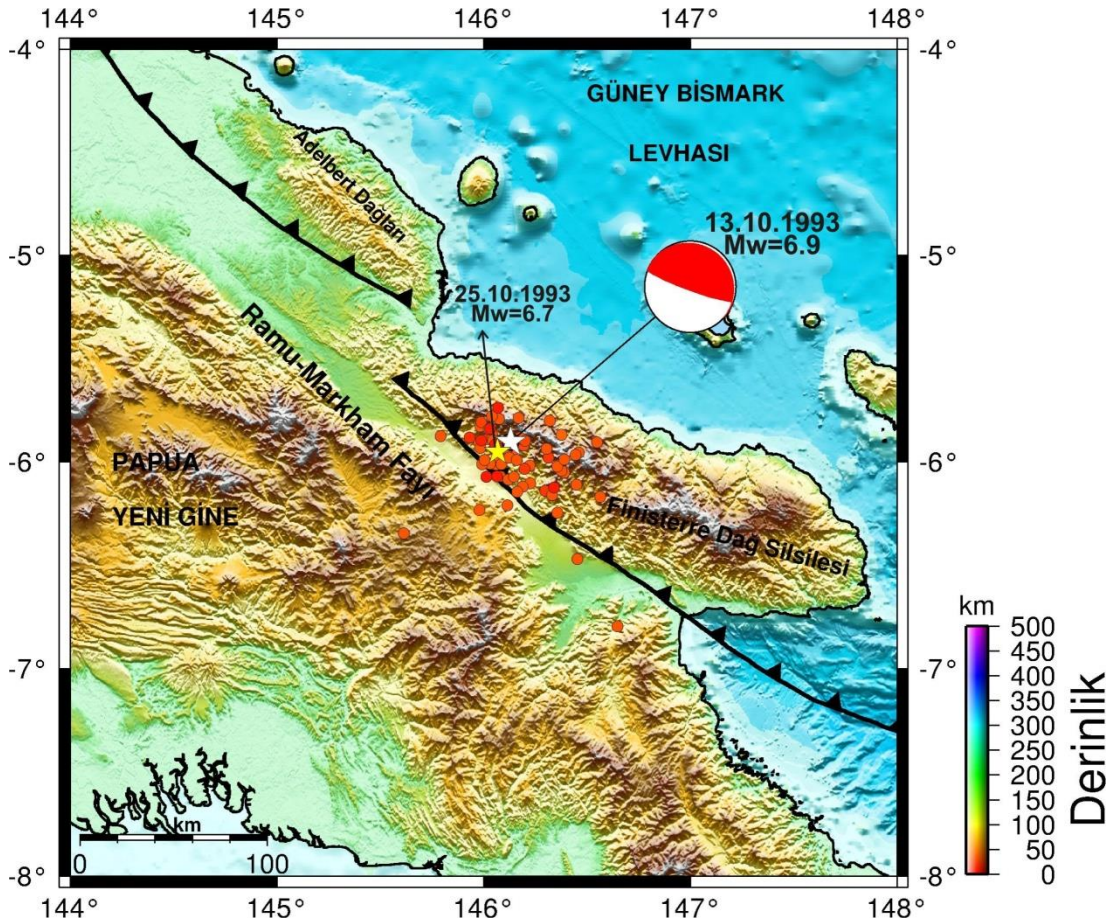
$V_p$ (km/sn)	$V_s$ (km/sn)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Kalınlık (km)
1.5	0.00	1.00	04
6.50	3.74	2.87	15
7.80	4.40	3.30	-

### 3.2.1. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.1.1. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi ( $M_w \approx 6.9$ )

13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi ( $M_w \approx 6.9$ ), Papua Yeni Gine 'de bulunan Finisterre Dağ Silsilesinin güney sınırında kuzey-doğuya doğru eğimli Ramu-Markham bindirme fayı (RMKF) tarafından üretilmiş bir depremdir (Şekil 3.2.) (Meunier ve ark., 2007). RMKF, Güney Bismark Levhasının güneybatı sınırını oluşturmaktadır. Aynı zamanda Yeni Britanya hendeğinin karadaki batıya doğru uzanan kısmını temsil etmektedir. Avustralya ile Güney Bismark levhaları RMKF

boyunca birbirlerine temas halindedir ve çarpışmalar (Tregouing ve ark., 1998). Bölgede meydana gelen depremler ve jeodezik ölçümler, Finisterre Dağ Silsilesi altında Papua Yeni Gine Ramu-Markham vadisi yakınlarındaki dik bir eğim ile yüzeye bağlanan düşük açılı orta kabuk sıyrılma fayı varlığını ortaya koymaktadır (Stevens, 1988). Bu depremden yaklaşık 12 gün sonra çok yakın bir bölgede  $M_w \approx 6.7$  olan bir deprem (25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi) daha meydana gelmiştir (Şekil 3.2.). Bu durum 13 Ekim 1993 depreminin ve 25 Ekim 1993 depremini tetiklemiş olabileceği olasılığını akla getirmektedir ki çalışmanın sonraki bölümlerinde yapılacak Coulomb gerilme analizi ile bu olasılık araştırılacaktır. Bir sonraki bölümde bu deprem detaylı bir şekilde incelenecektir.



Şekil 3.2. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi dış merkez lokasyonu (sarı yıldız) ve odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalcmt.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 13 Ekim 1993 ve 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçışokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı depremlerin odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

13 Ekim 1993 depremi için ISC-GEM (International Seismological Center-Global Earthquake Model) projesi kapsamında elde edilen odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Depremi sığ (21.4 km) olması levha ara yüzeyinde meydana geldiğini düşündürmektedir. Deprem için çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri Tablo 3.3.'de derlenmiştir. Belirlenen centroid derinlikleri depremin levha ara yüzeyinde meydana geldiği görüşünü desteklemektedir.

Tablo 3.3. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

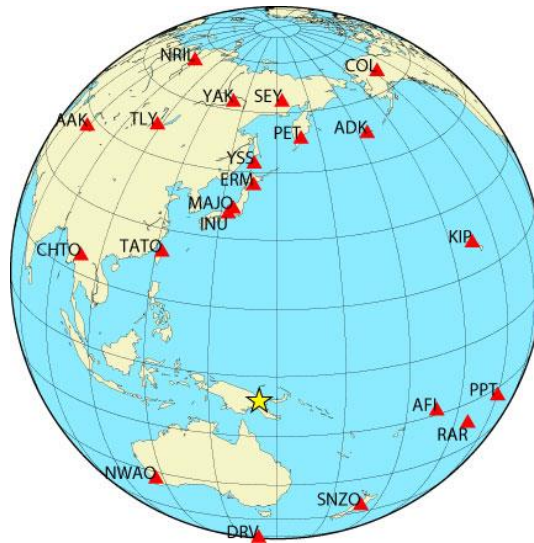
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ )	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
02:06:00.34	-5,889	146,020	21,0	8,1	329	07	127	USGS-NEIC
02:06:08.80	-6,040	146,110	15,0	25	310	08	110	HRV-CMT

### 3.2.1.2. Kullanılan telesismik veri

13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine ( $M_w=6.9$ ) depreminin modellenmesinde 21 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant P dalga şekli ile 14 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant SH dalga şekli yerdeğiştirme kayıtları kullanılmıştır. Ters çözümde kullanılan istasyonların listesi Tablo 3.4.'de ve bu istasyonlara ait azimutal dağılımlar Şekil 3.4.'de verilmiştir. Kullanılan P ve SH dalga şekillerinin alet etkisi giderildikten sonra verilerdeki gürültü seviyesi göz önünde bulundurularak 0.01 – 0.33 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Aynı zamanda veriler 0.5 sn örnekleme aralığı ile örneklenmiştir. Ters çözüm işleminde P ve SH dalga şekilleri için 60 sn kayıt uzunluğunun depremin büyüklüğü göz önüne alındığında sonlu fay kırılma özelliklerini elde etmek için yeterli olacağı düşünülmüştür.

Tablo 3.4. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimet( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
SEY	62,93	152,37	3,09	69,00	P, SH
PET	53,02	158,65	8,64	59,88	P, SH
COL	64,90	-147,79	22,91	85,56	P
ADK	51,88	-176,68	24,18	65,94	P, SH
KIP	21,42	-158,01	61,61	61,26	P, SH
AFI	-13,91	-171,78	104,22	42,27	P, SH
PPT	-17,57	-149,58	106,70	63,85	P
RAR	-21,21	-159,77	111,90	54,58	P, SH
SNZO	-41,31	174,70	148,53	43,67	P, SH
DRV	-90,00	115,00	180,00	84,10	P, SH
NWAO	-32,93	117,24	220,99	38,04	P, SH
CHTO	18,81	98,94	299,17	52,55	P
AAK	42,64	74,49	315,00	80,66	P
TATO	24,97	121,50	323,29	39,02	P, SH
TLY	51,68	103,64	333,20	67,98	P, SH
NRIL	69,50	88,44	342,74	84,81	P
INU	35,35	137,03	349,03	42,11	P, SH
MAJO	36,55	138,20	350,03	43,07	P
YAK	62,03	129,68	351,88	69,09	P, SH
ERM	42,02	143,16	357,13	47,98	P
YSS	46,96	142,76	357,21	52,93	P, SH

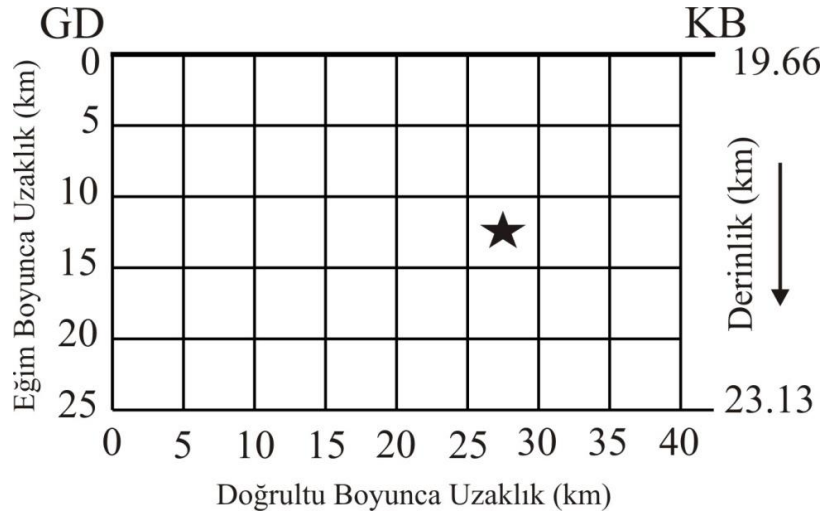


Şekil 3.3. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dış merkezini göstermektedir

### 3.2.1.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi sonlu fay parametreleri belirlenirken depremin RMKF tarafından üretildiği kabulü yapılmıştır. Bu doğrultuda giriş dosyasına Tablo 3.3.'de farklı sismolojik merkezler tarafından verilmiş depreme ait kaynak parametrelerinden HRV-GCMT çözümünden elde edilen doğrultu ( $310^0$ ),

eğim ( $8^\circ$ ) ve rake ( $10^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır. Odak lokasyonu ( $5.901^\circ\text{G} - 146.131^\circ\text{D}$  ve 21.4 km) ISC-GEM'den alınarak 40 km x 25 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tanımlanmış ve model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 40 fay parçasına (doğrultu boyunca 8 ve eğim boyunca 5 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.4.). Deprem odağının model fayın derinlik kenarlarına uzaklıkları yapılacak ters çözüm denemeleri ile belirlemeye çalışılacaktır.



Şekil 3.4. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 40 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 12.5, 12.5 km ve 27.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Modellemede müsaade edilen en büyük kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 7 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.1.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Depremin modellenebilmesi için birçok ters çözüm denemesi yapılmıştır (Tablo 3.5.). İlk denemede (M1), Blaser ve ark., (2010) tarafından bindirme fayı karakterli depremlerin fay boyutlarının belirlenebilmesi için bulunun ampirik bağıntıdan

faýdalanılmıştır. Bu doğrultuda 13 Ekim 1993 depreminin modellenebilmesi için başlangıç olarak 130 km x 20 km'lik bir fay boyutu belirlenmiştir (Tablo 3.5.). Yapılan çözümler neticesinde ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde kaymanın odak etrafında toplandığı ve ampirik bağıntıdan elde edilen fay boyutlarının özellikle doğrultu boyunca fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu ilk deneme sonucu dikkate alınarak model fay boyutları 40 km x 25 km olarak küçültülmüş ve ardından yapılan denemelerde bu faylanma boyutlarının yeterince tatmin edici olduğu gözlenmiştir. M2, M3 ve M4 modellerinde faylanma alanının güneydoğu (GD) kenarına sıkışan 0.6 m'lik kayma bölgesinin daha iyi ortaya çıkarılabilmesi için başlangıçta fay modelinin doğrultusu boyunca ortasına doğru seçilen odak yeri fay modeli GD'ya kaydırılarak odak KB kenara yaklaştırılmıştır. Daha sonra farklı kırılma hızları denenmiş ve yapılan bu denemeler sonucunda M11 modelinin en akla yatkın çözüm olduğu kanaatine varılmıştır (Tablo 3.5.). En uygun çözüm seçilirken sadece hata miktarlarının değil elde edilen kayma dağılımının fiziksel olarak uygunluğunun da dikkate alındığı hatırlatılmalıdır.

Tablo 3.5. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

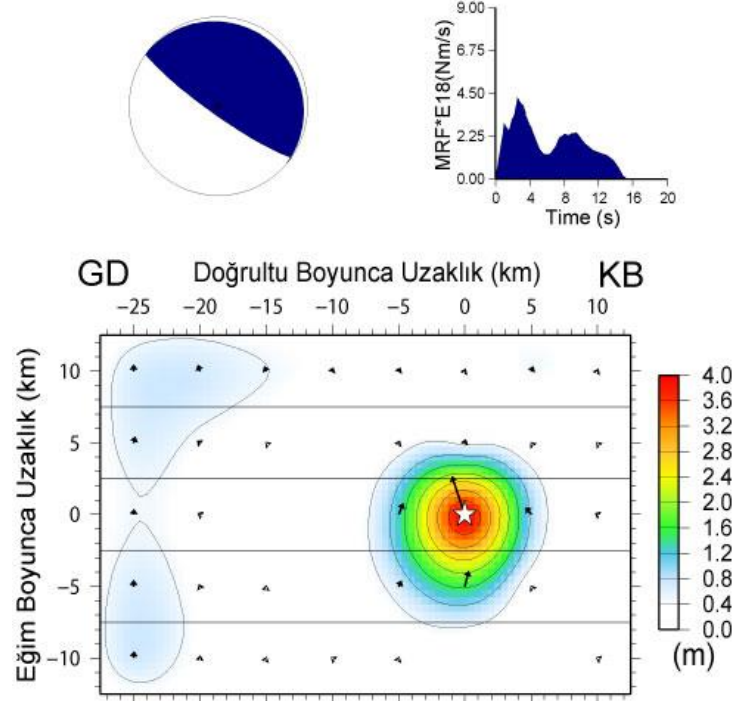
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	130	20	52	10x5	7-2	3.0	106.0	3.132	0.35650	2.6
M2	40	25	40	5x5	4-3	3.0	95.4	2.231	0.36525	3.4
M3	40	25	40	5x5	5-3	3.0	96.2	2.455	0.32078	3.4
M4	40	25	40	5x5	6-3	3.0	94.5	2.639	0.34722	4.1
M5	40	25	40	5x5	6-3	2.5	93.8	2.684	0.34953	4.1
M6	40	25	40	5x5	6-3	2.6	93.9	2.677	0.34803	4.4
M7	40	25	40	5x5	6-3	2.7	94.0	2.666	0.34787	4.3
M8	40	25	40	5x5	6-3	2.8	94.1	2.660	0.34780	4.3
M9	40	25	40	5x5	6-3	2.9	94.2	2.630	0.34775	4.2
M10	40	25	40	5x5	6-3	3.1	94.5	2.610	0.34650	4.0
M11	40	25	40	5x5	6-3	3.2	94.6	2.591	0.34558	4.0
M12	40	25	40	5x5	6-3	3.3	94.7	2.573	0.34600	3.9
M13	40	25	40	5x5	6-3	3.4	94.8	2.555	0.34560	3.9
M14	40	25	40	5x5	6-3	3.5	95.0	2.545	0.30964	3.7

Model M11 ters çözüm denemesi sonucu elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.5.'de gösterilmiştir. Bu model için hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.6.'da karşılaştırılmıştır. Gözlenen ve hesaplanan yapay dalga şekillerinin karşılaştırılması tatmin edici bir uyuma ulaşıldığını önermektedir. Deprem sırasında ortaya çıkan sismik moment ( $M_o$ )  $2.591 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.88$ ) olarak elde edilmiştir. Ters çözümde değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı yaklaşık  $95^\circ$  olarak bulunmuştur. Şekil 3.5.'de verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının yaklaşık 10 km çapında, en büyük kayma genliği 4 m olan ve odak merkezli yerleşmiş dairesel bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği açıkça görülmektedir. Yapılan ters çözüm denemeleriyle ortaya çıkarılmaya çalışılan GD kenarındaki 0.6 m genlikli kayma bölgesi ile odakta yerleşmiş pürüz arasındaki yaklaşık 15 km'lik kayma olmayan boşluk GD kenarındaki kaymanın ters çözüm artifaktı suni bir kayma olabileceğini düşündürmektedir. Moment boşalım fonksiyonundan da görüleceği üzere kırılmanın iki alt olay olarak gerçekleşmiştir. Zamanca daha sonra gerçekleşen moment boşalımını (ikinci alt olay) sadece GD'daki kayma bölgesine ait olamayacak kadar büyüktür. Bu çıkarım GD'daki kayma bölgesinin suni olduğu fikrini desteklemektedir. Dolayısıyla odakta yerleşmiş dairesel pürüz kendi içinde ayırt edilebilen iki alt olayla açıklanabilir.

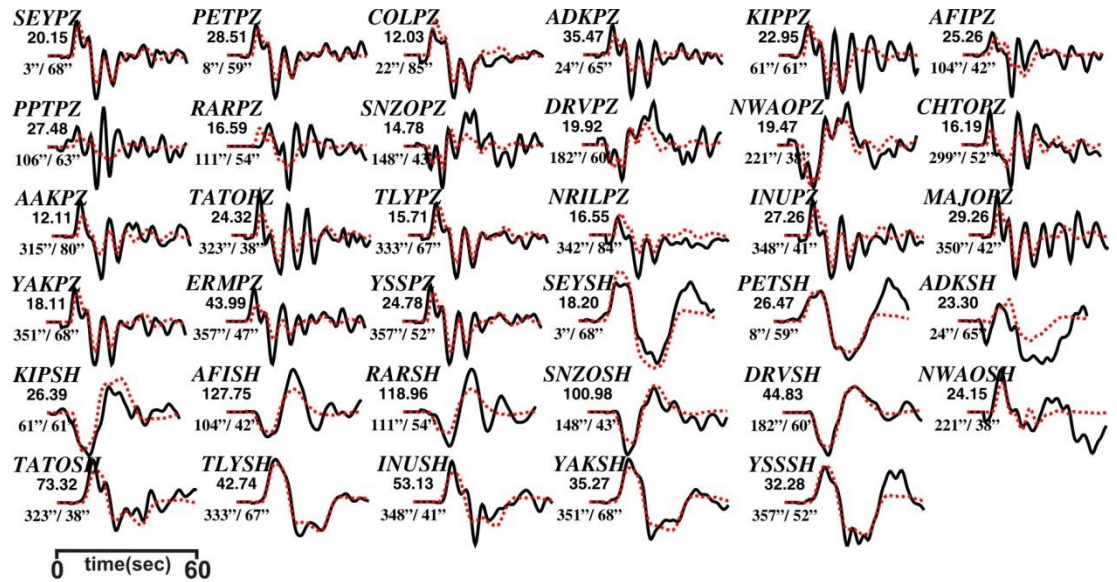


### 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi

Moment =  $0.2591E+20$ (Nm),  $M_w = 6.9$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (310.0, 8.0, 94.6, 22.0)



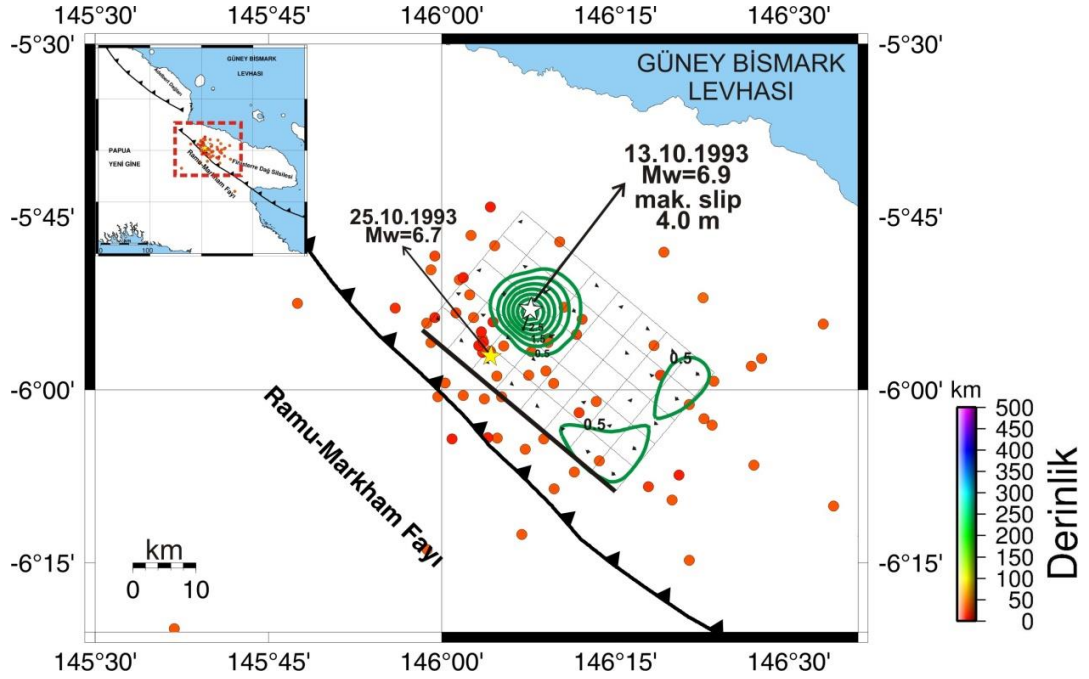
Şekil 3.5. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.5.'deki Model M11 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.6. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M11 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir



Şekil 3.7.'de 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi sonlu fay ters çözümü sonucu elde edilen kayma dağılımının levha sınırındaki yüzey projeksiyonu ve 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremine kadar olan artçı depremlerle birlikte gösterilmiştir. Depremden hemen sonra meydana gelen  $M_w \geq 3.0$  artçı şokların bir çoğunun odaktaki pürüzün etrafında toplandığı gözlemlenmektedir.

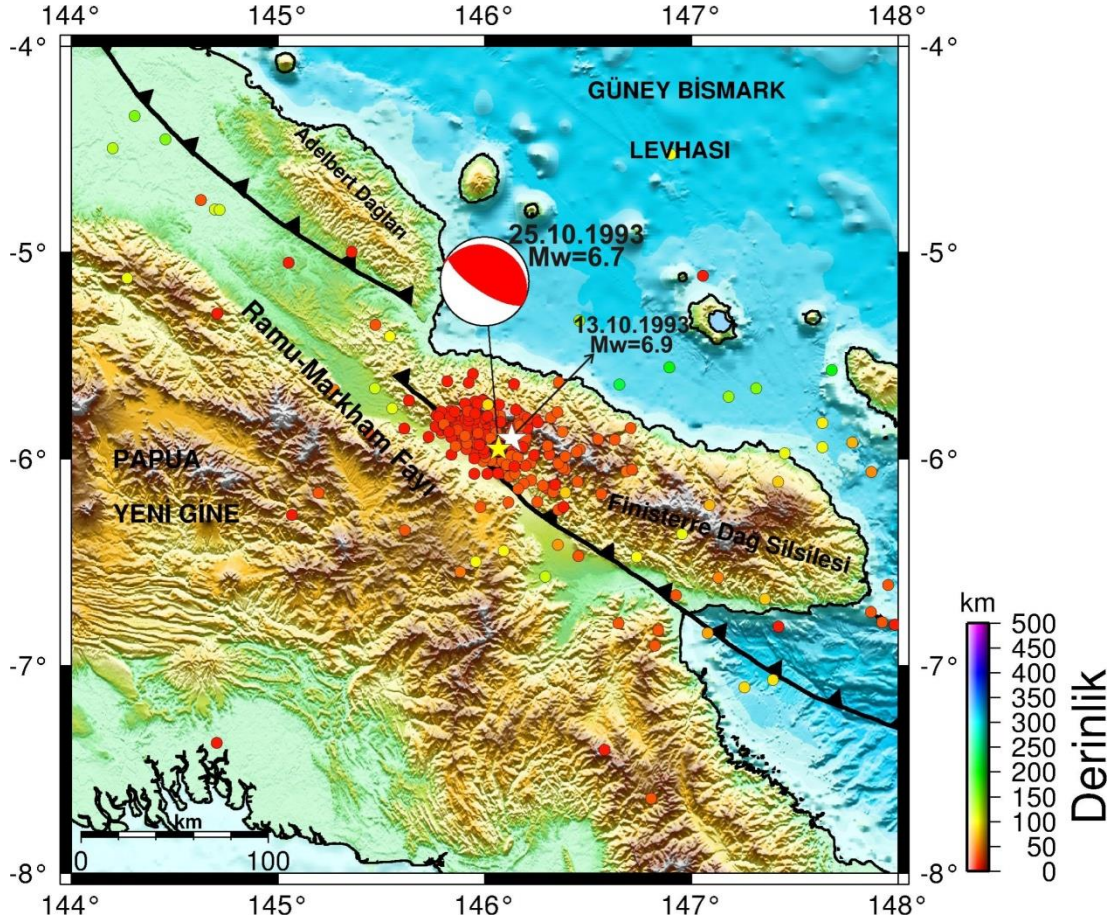


Şekil 3.7. 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi (beyaz yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi ile 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 13 Ekim 1993 depremi için konturlar (yeşil çizgi) 0.5 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.2. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.2.1. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi ( $M_w \approx 6.7$ )

25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi ( $M_w \approx 6.7$ ), 13 Ekim 1993 ( $M_w = 6.9$ ) depreminden yaklaşık 12 gün sonra ve aynı bölgede meydana gelmesi nedeniyle oldukça ilgi çekici bir depremdir. Bu deprem, düşük açılı ve bindirme karakterli RMKF tarafından üretilmiştir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi dış merkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-CMT (<http://www.globalcmt.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminden sonra 6 aylık dönem içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için ISC-GEM (International Seismological Center-Global Earthquake Model) kataloglarından elde edilen odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Bu deprem için çeşitli sismolojik merkezler tarafından ortaya konulan kaynak parametreleri Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

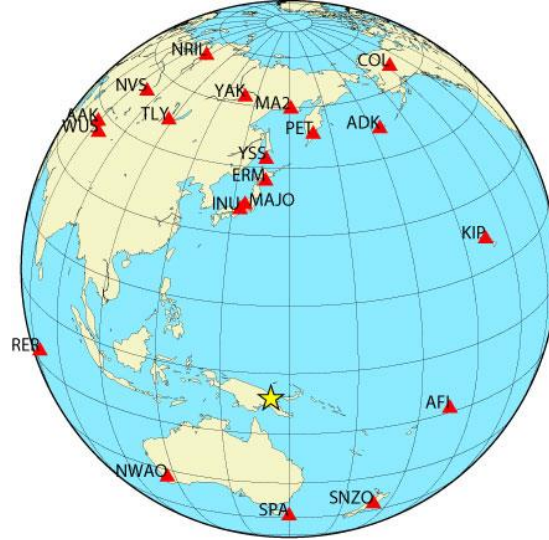
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ )	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
10:27:04.51	-5,909	145,990	23,0	12,00	304	25	85	USGS-NEIC
10:27:12.60	-5,870	145,990	20,2	12,05	291	20	79	HRV-CMT

### 3.2.2.2. Kullanılan telesismik veri

Ters çözüm işleminde toplam 19 adet istasyonda kaydedilmiş geniş-bant P dalga şekli ve 10 adet istasyonda kaydedilmiş SH dalga şekli yerdeğiştirme katıları kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait detaylı bilgiler Tablo 3.7.'de ve yeryüzündeki dağılımları Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. İlk olarak verilerin alet etkisi giderilmiş ve 0.01 – 0.33 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Veriler 0.5 sn aralıklarla örneklenmiş ve ters çözüm işleminde 60 sn kayıt uzunluğu kullanılmıştır. Bu kayıt uzunluğu depremin sonlu-fay özelliklerini ortaya koymakta yeterli olacağı düşünülmüştür.

Tablo 3.7. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

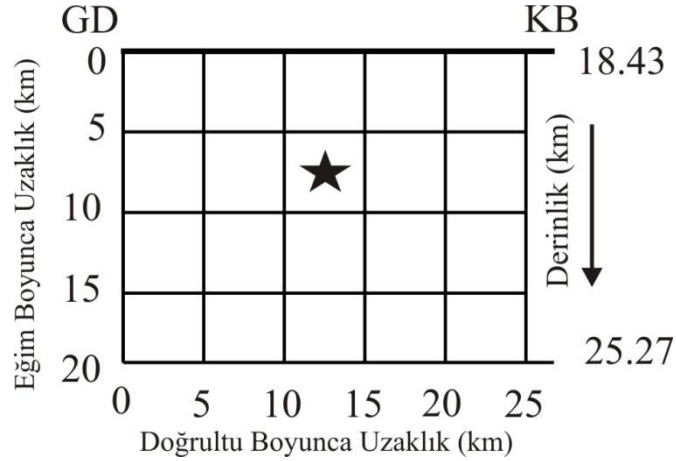
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	8,77	59,92	P, SH
COL	64,90	-147,79	22,91	85,60	P
ADK	51,88	-176,68	24,19	65,98	P, SH
KIP	21,42	-158,01	61,61	61,31	P
AFI	-13,91	-171,78	104,18	42,30	P, SH
SNZO	-41,31	174,70	148,48	43,67	P, SH
SPA	-90,00	115,00	180,00	84,07	P
NWAO	-32,93	117,24	220,98	37,99	P, SH
RER	-21,17	55,74	248,91	88,09	P
WUS	41,2	79,22	314,77	76,87	P, SH
AAK	42,64	74,49	315,01	80,66	P
NVS	54,84	83,23	328,65	79,75	P
TLY	51,68	103,64	333,23	67,98	P, SH
NRIL	69,50	88,44	342,74	84,82	P
INU	35,35	137,03	349,09	42,13	P, SH
MAJO	36,55	138,20	350,84	43,09	P, SH
YAK	62,03	129,68	351,90	69,11	P, SH
ERM	42,02	143,16	357,17	48,01	P
YSS	46,96	142,76	357,24	52,96	P, SH



Şekil 3.9. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.2.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Ters çözüm için kullanılacak model parametreleri belirlenirken depremin meydana geldiği bölgedeki hakim tektonik unsur olan Ramu-Markham fay zonu dikkate alınmıştır. Tablo 3.6.'da deprem için verilen kaynak parametrelerinden Harvard-CMT tarafından belirlenmiş içeren doğrultu ( $291^\circ$ ), eğim ( $20^\circ$ ), rake ( $79^\circ$ ) değerleri ters çözüm için kullanılmıştır. Bir başka önemli parametre olan depreme ait dışmerkez koordinatları ( $5.949^\circ\text{G} - 146.069^\circ\text{D}$  ve odak derinliği 21 km) ISC-GEM kataloglarından (Storchak ve ark., 2013) elde edilmiştir. Tüm bunların sonucunda ters çözüm işleminde 25 km x 20 km boyutlarına sahip temsili bir model fay düzlemi tasarlanmıştır. Model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 5 adeti doğrultu ve 4 adeti ise eğim boyunca olmak üzere 20 fay parçasına bölünmüştür (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 20 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, GD ve KB kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 7.5 km, 12.5 ve 12.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ) 3,0 km/sn olarak alınmış ve her bir fay parçasında yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreyle birbiriyle örtüşen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Bu durumda model fay düzlemi üzerinde 7 sn'lik bir toplam kayma süresine imkân verilmiştir.

#### 3.2.2.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depreminin kayma dağılımının modellenenbilmesi için çok sayıda deneme yapılmıştır (Tablo 3.8.). Başlangıç olarak fay modelinin belirlenebilmesi için Blaser ve ark. (2010) tarafından bindirme fayları genişlik ve uzunluk boyutlarının belirlenmesi için bulunan ampirik bağıntıdan faydalanarak bir deneme yapılmıştır (M1). Model M1 denemesi sonucunda ortaya çıkan kayma dağılımı incelendiğinde fay modelinin uzunluğunun (100 km) oldukça büyük olduğu görülmüştür. Aynı şekilde genişlik için önerilen 15 km'lik değer tam olarak ters çözüm için yeterli değildir. Tüm bunlara rağmen hata miktarı diğer denemeler arasında en düşük değer olarak göze çarpmaktadır. Fakat hem kayma değerinin düşüklüğü ve moment değerinin fazlalığı hem de modelleme esnasında bazı dalga şekillerindeki uyumsuzluk bu denemenin uygun olmadığı sonucunu ortaya çıkarmıştır. İlk denemenin verdiği en önemli izlenim kaymanın merkezde toplandığıdır. Bu bilgiler doğrultusunda sonucu faylanma alanı tekrar tasarlanarak

model M2 oluşturulmuştur. M2 denemesinde 40 km x 32 km'lik bir model tasarlanmıştır (Tablo 3.8.). Modelleme sonucunda kayma değeri artmasına, moment değeri dengelenmesine ve hata oranı da kabul edilebilir olmasına rağmen fay boyutlarının hala fazla olduğu ve dalga şekillerindeki uyumsuzlukların bulunduğu gözlemlenmiştir. Fay modeli biraz daha daraltılarak 25 km x 20 km'lik boyutlara sahip model M3 oluşturulmuş ve dalga şekillerindeki uyumsuzluk giderilmiştir. Kayma 3.8 m'lik değeriyle merkezde toplanmış ve moment değeri diğer sismolojik merkezler tarafından verilen değerlerle benzeşmektedir. Model M3 boyutsal anlamda yeterince tatmin edici bir sonuç ortaya çıkarırken kırılma hızının ( $V_r$ ) belirlenmesi için birçok deneme yapılmıştır (M4, M5, M6 gibi). Bu denemeler sonucunda kırılma hızı 3.4 km/sn olarak alındığı model M12 final sonucu olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.8. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> .N <sub>o</sub>					
M1	100	15	30	5x5	5-2	3,0	67,8	2,423	0,29646	2,4
M2	40	32	80	4x4	5-3	3,0	68,1	1,755	0,32697	3,2
M3	25	20	20	5x5	3-3	3,0	63,5	1,451	0,35458	3,8
M4	25	20	20	5x5	3-3	2,5	63,0	1,509	0,35527	4,3
M5	25	20	20	5x5	3-3	2,6	63,0	1,495	0,35600	4,2
M6	25	20	20	5x5	3-3	2,7	63,1	1,490	0,35633	4,0
M7	25	20	20	5x5	3-3	2,8	63,1	1,474	0,35729	4,0
M8	25	20	20	5x5	3-3	2,9	63,2	1,464	0,35678	3,8
M9	25	20	20	5x5	3-3	3,1	63,4	1,444	0,35455	3,7
M10	25	20	20	5x5	3-3	3,2	63,5	1,444	0,35305	3,6
M11	25	20	20	5x5	3-3	3,3	63,5	1,444	0,35305	3,5
M12	25	20	20	5x5	3-3	3,4	63,4	1,435	0,35212	3,4
M13	25	20	20	5x5	3-3	3,5	63,4	1,427	0,35252	3,4

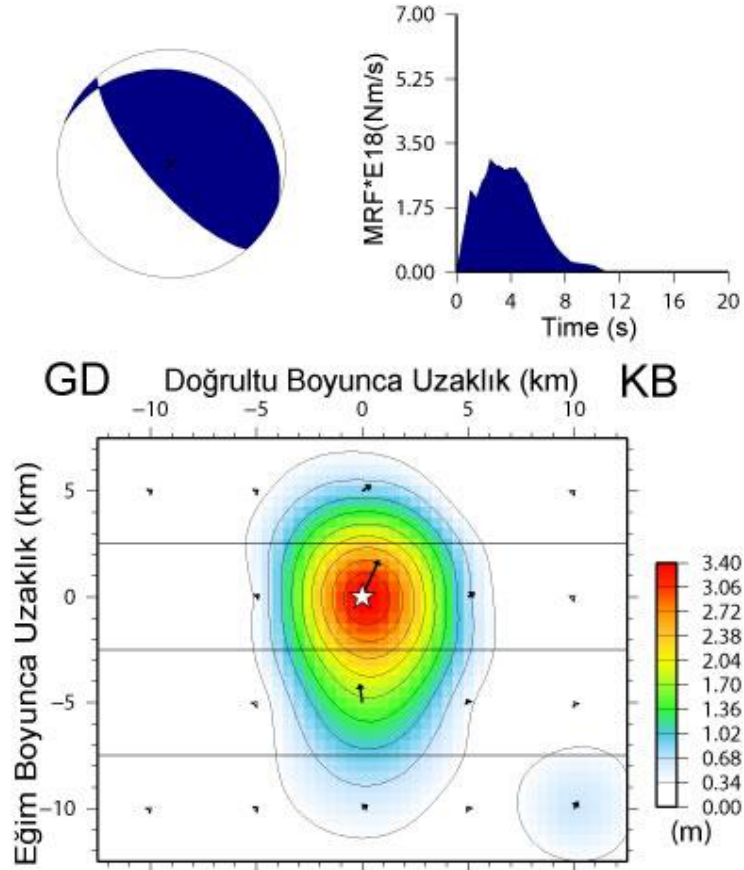
Model M12 ters çözüm denemesi sonucu elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.11.'de gösterilmiştir. Bu model için hesaplanan dalga şekilleri ile gözlenen dalga şekilleri Şekil 3.12.'de karşılaştırılmıştır. Deprem esnasında serbestlenen sismik moment ( $M_o$ )  $1.435 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.71$ ) olarak elde edilmiştir. Ters çözümde değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı  $63^\circ$  olarak



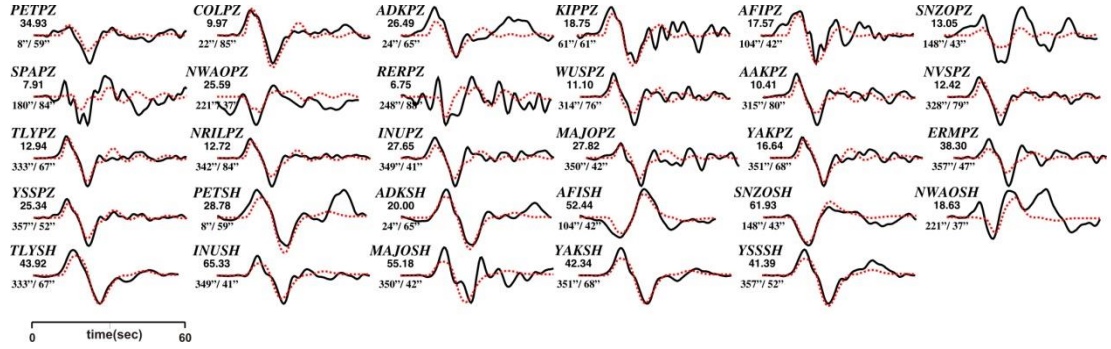
bulunmuştur. Kayma dağılım modeli incelendiğinde kaymanın 3.4 m değer ile 10 km x 15 km'lik bir alanı kaplayarak deprem odaklarının etrafında toplandığı gözükmektedir. Bu da depremin odakta başlayan tek bir pürüzün kırılması sonucu oluştuğu ortaya koymaktadır. KB kenarında bulunan küçük kayma bölgesi çeşitli ters çözüm denemeleri ile kaybolduğundan yapay bir pürüz olarak tanımlanmıştır. Kaynak zaman fonksiyonu incelendiğinde kırılmanın odakta başlayıp yaklaşık 11 sn sürdüğü gözlemlenmektedir.

### 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi

Moment =  $0.1435E+20$ (Nm),  $M_w = 6.7$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (291.0, 20.0, 63.4, 21.0)



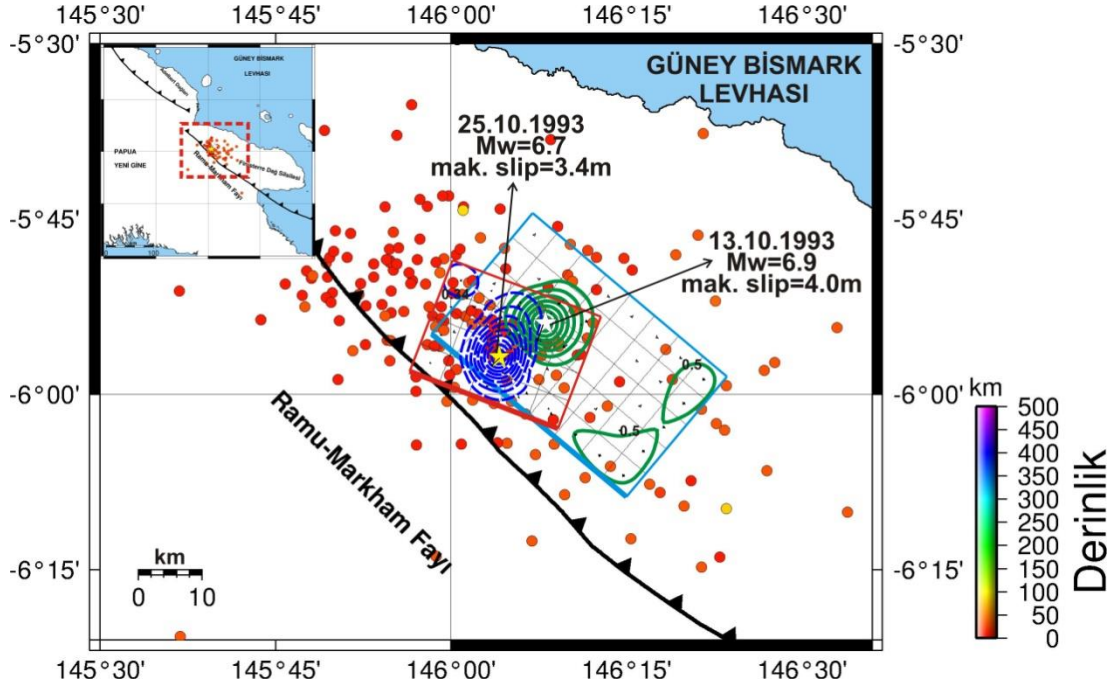
Şekil 3.11. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.8.'deki Model M12 denmesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.12. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M12 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

Şekil 3.13.'de 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi için elde edilmiş kayma dağılım modelinin yüzey izdüşümü kısa bir süre önce meydana gelen 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depreminin kayma dağılımının yüzey iz düşümü ile birlikte gösterilmiştir. İki depremin sonlu-fay analizlerinden elde edilen pürüz özellikleri birbirine çok benzerdir ve uzaysal konumları fay düzlemi üzerinde kısmen örtüşmektedir. 13 Ekim 1993 depremi pürüzü kırıldığında 25 Ekim 1993 depremine ait pürüzün bir bariyer gibi davranarak kırılmasını durdurduğu ve gerilmece bir yüklenim olduğundan dolayı da yenildiği anlaşılmaktadır. Olası gerilme yüklemesi durumuna bir sonraki bölümde değinilecektir. Bu iki deprem oluşumu dalma-batma zonlarında levhalar arası yüzeyde pürüzlerin uzaysal dağılımlarının deprem kırılma yayılımına etkisine ve pürüz etkileşimlerine güzel bir örnek teşkil etmektedir.



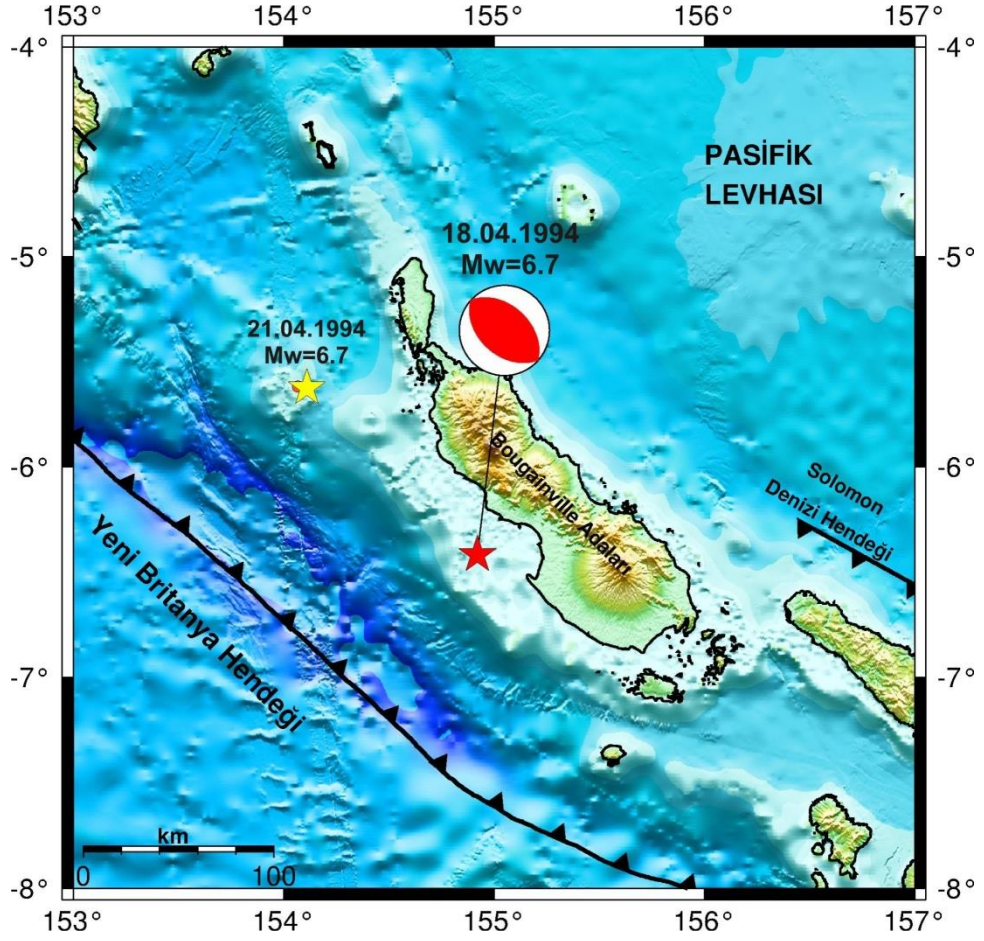


Şekil 3.13. 25 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine Depreminin kayma dağılımı konturları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 13 Ekim 1993 depreminden sonra 6 aylık dönem içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Mavi çerçevesi alan 13 Ekim 1993 depreminin faylanma alanını ve kırmızı çerçevesi alan ise 25 Ekim 1993 depreminin faylanma alanını temsil etmektedir. 13 Ekim 1993 depremi için konturlar (yeşil çizgi) 0.5 m ve 25 Ekim 1993 depremi için konturlar (kesikli lacivert çizgi) 0.34 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.3. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=6.7$ ) sonlu fay finalizi

#### 3.2.3.1. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=6.7$ )

18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi ( $M_w=6.7$ ) Yeni Britanya Hendeği doğu kısmının Pasifik plakasının altına daldığı bölgede Solomon Adalarına (Bougainville Adası) yakın bir konumda meydana gelmiştir (Şekil 3.14.). Tipik bir dalma-batma zonu kuşağı depremi olan bu olay beklendiği gibi ters faylanma mekanizması sergilemektedir. Bu deprem Papua Yeni Gine de bulunan Rabaul ve Bougainville adasında, Yeni İrlanda bölgesinde ve Solomon adalarında (Choiseul, Santa Isabel ve Honiara) güçlü bir şekilde hissedilmiştir ([earthquake.usgs.gov/earthquakes/](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/)).



Şekil 3.14. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi dış merkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizması çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar. Mekanizma çözümleri Harvard-CMT (<http://www.globalcmt.org/>) katalogundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daire 18 Nisan 1994 ve 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremleri arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şoku (sadece bir adet) ifade etmektedir. Artçı depremlerin odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

Bu depremden yaklaşık 3 gün sonra yakın bir bölgede 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) meydana gelmiştir (Şekil 3.14.). İki deprem arasında Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi (USGS-NEIC) kataloglarına göre  $M_w \geq 3.0$  sadece bir adet deprem bulunmaktadır (Şekil 3.14.).

18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ISC-GEM (International Seismological Center-Global Earthquake Model) kataloglarından elde edilmiş odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Bu deprem için çeşitli sismolojik merkezler tarafından ortaya konulan kaynak parametreleri Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

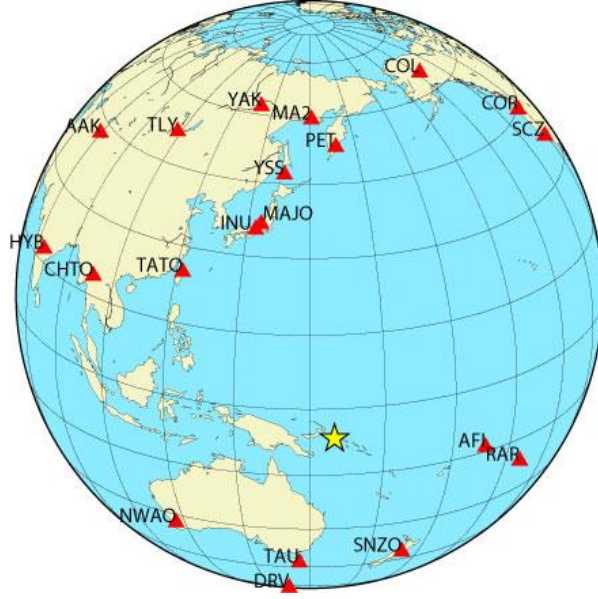
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ )	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
17:29:54.14	-6,470	154,934	37	14,00	138	41	103	USGS-NEIC
17:30:03.50	-6,610	154,920	52,1	13,60	131	45	89	HRV-CMT

### 3.2.3.2. Kullanılan telesismik veri

18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi ( $M_w=6.7$ ) ters çözümü için toplam 20 adet istasyonda kaydedilmiş geniş-bant P dalga şekli ve 3 adet istasyonda kaydedilmiş SH dalga şekli yer değiştirme kayıtları kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait detaylı bilgiler Tablo 3.10.'da ve yeryüzündeki dağılımları Şekil 3.15.'de gösterilmiştir. İlk olarak verilerin alet etkisi giderilmiş ve 0.01 – 0.33 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Veriler 0.5 sn aralıklarla örneklenmiş ve ters çözüm işleminde 60 sn kayıt uzunluğu kullanılmıştır.

Tablo 3.10. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( $^\circ$ )	Boylam( $^\circ$ )	Azimut( $^\circ$ )	Uzaklık( $^\circ$ )	Faz
PET	53,02	158,65	2,60	59,60	P, SH
COL	64,90	-147,79	21,08	82,79	P
COR	44,59	-123,30	44,83	88,74	P
SCZ	36,60	-121,40	52,95	88,82	P
AFI	-13,91	-171,78	104,18	42,30	P
RAR	-21,21	-159,77	113,30	46,18	P
SNZO	-41,31	174,70	148,48	43,67	P, SH
DRV	-66,66	140,00	186,69	61,05	P
TAU	-42,91	147,32	189,26	37,03	P,SH
NWAO	-32,93	117,24	227,81	43,83	P
HYB	17,42	78,55	289,20	79,07	P
CHTO	18,81	98,94	295,86	60,67	P
AAK	42,64	74,49	314,44	87,42	P
TATO	24,97	121,50	315,32	45,25	P
TLY	51,68	103,64	329,56	72,74	P
INU	35,35	137,03	339,28	45,10	P
MAJO	36,55	138,20	341,19	45,80	P
YAK	62,03	129,68	347,81	71,24	P
YSS	46,96	142,76	349,83	54,53	P
MA2	59,58	150,77	357,70	66,15	P



Şekil 3.15. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.3.3. Sonlu fay parametrizasyonu

Ters çözümde kullanılacak model parametrelerinin belirlenmesi için depremin meydana geldiği bölgede bulunan Yeni Britanya Hendeği dikkate alınmıştır. Bu amaçla Tablo 3.9.'da deprem için verilen kaynak parametrelerinden Harvard-GCMT tarafından belirlenmiş doğrultu ( $131^\circ$ ), eğim ( $45^\circ$ ), rake ( $89^\circ$ ) değerleri ters çözüm için kullanılmıştır. ISC-GEM kataloglarından (Storchak ve ark., 2013) depreme ait dışmerkez koordinatları ( $6.418^\circ\text{G} - 154.922^\circ\text{D}$  ve odak derinliği 35 km) elde edilmiştir. Temsili model fay düzlemi 35 km x 25 km boyutlarına sahiptir. Model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 7'si doğrultu ve 5'i ise eğim boyunca olmak üzere 35 fay parçasına bölünmüştür (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 35 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 7.5 km, 17.5 km ve 17.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmış ve her bir fay parçasında yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreyle birbiriyle örtüşen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Bu durumda model fay düzlemi üzerinde 7 sn'lik bir toplam kayma süresine imkân verilmiştir.

#### 3.2.3.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Modellemede başlangıç olarak kullanılacak fay boyutlarının belirlenmesinde Blaser ve ark., (2010) tarafından okyanusal kabuk içerisinde meydana gelmiş depremlerin büyüklükleri baz alınarak hesaplama yapılan katsayılar kullanılmıştır. Bunun sonucunda başlangıç modeli olan ters çözüm denemesi M1 25 km x 35 km'lik boyutlara sahiptir (Tablo 3.11.). Model M1 ile yapılan ters çözüm sonucunda kayma alanının tam olarak ortaya çıkamadığı ve momentin düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle de fay boyutlarının genişletilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Model M2'de fay boyutları genişletilerek ters çözüm yapılmış ve her ne kadar tüm denemeler içerisinde Tablo 3.11.'de verilen en az hata oranı yakalanmışsa da elde edilen kaymanın fiziksel boyutları ve kayma bölgesinin faylanma alanı köşesinde sıkışması gibi etkenler bizi başka bir model arayışına itmiştir. Model M3'de ise eğim boyunca fay boyutlarında bir adet eksiltiştir. Bunun sonucunda ise kayma değeri

diğer denemelere (M1 ve M2) göre düşmüş ve hata miktarı artmıştır (Tablo 3.11.). Aynı zamanda bazı SH kayıtlarındaki yüksek derecede uyumsuzluk gözlemlenmiştir. Fakat ters çözüm denemesi M3’de kayma alanı tam olarak yakalanmıştır. Bu nedenle bundan sonraki denemelerde fay boyutları 35 km x 25 km olarak sabit tutulmuştur ve odağın yeri değiştirilerek modelleme yapılmıştır (Model M4, Tablo 3.11.). Hata miktarı azalsa da kayma genliğindeki düşüklük ve SH kayıtlarındaki uyumsuzluk devam etmiştir. Bu nedenle modellenemeyen SH kayıtlarının çıkarılmasına karar verilmiştir. Odağın lokasyonu tekrar düzenlenerek Model M5 ters çözüm denemesi ile modelleme yapılmıştır. Bunun sonucunda kayma bölgelerinde fiziksel bir düzelme ve dalga şekillerinde iyi bir uyum gözlenmiştir. Bu aşamadan sonra yapılan tüm ters çözüm denemelerinde kırılma hızının ( $V_r$ ) 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değişen değerleri için modellemeler yapılmıştır. (Tablo 3.11). Bu modellemeler sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ ) 2.5 km/sn olduğu ters çözüm denemesi M11 dalga şekillerindeki uyum ve en az hata miktarına sahip olduğu için final çözümü olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.11. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	25	35	35	5x5	3-2	3,0	87,4	1,385	0,52807	1,7
M2	35	30	42	5x5	4-2	3,0	87,0	1,616	0,51892	1,7
M3	35	25	35	5x5	3-3	3,0	87,2	1,545	0,54692	1,3
M4	35	25	35	5x5	3-4	3,0	89,0	1,529	0,53523	1,3
M5	35	25	35	5x5	4-4	3,0	92,9	1,673	0,53582	2,7
M6	35	25	35	5x5	4-4	3,1	92,9	1,651	0,53638	2,6
M7	35	25	35	5x5	4-4	3,2	92,7	1,638	0,53817	2,7
M8	35	25	35	5x5	4-4	3,3	92,7	1,618	0,53882	2,6
M9	35	25	35	5x5	4-4	3,4	92,6	1,602	0,53950	2,5
M10	35	25	35	5x5	4-4	3,5	92,5	1,583	0,54021	2,4
M11	35	25	35	5x5	4-4	2,5	95,8	1,904	0,52649	3,7
M12	35	25	35	5x5	4-4	2,6	95,9	1,882	0,52767	3,8
M13	35	25	35	5x5	4-4	2,7	95,7	1,848	0,52929	3,6
M14	35	25	35	5x5	4-4	2,8	95,5	1,812	0,53070	3,4
M15	35	25	35	5x5	4-4	2,9	95,4	1,779	0,53193	3,3

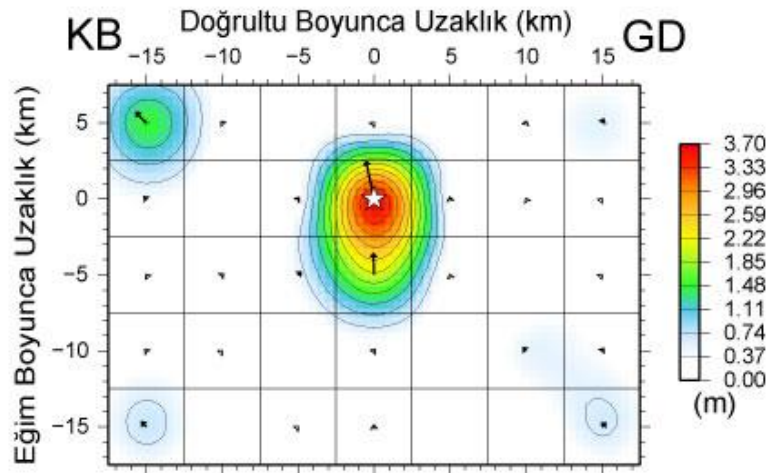
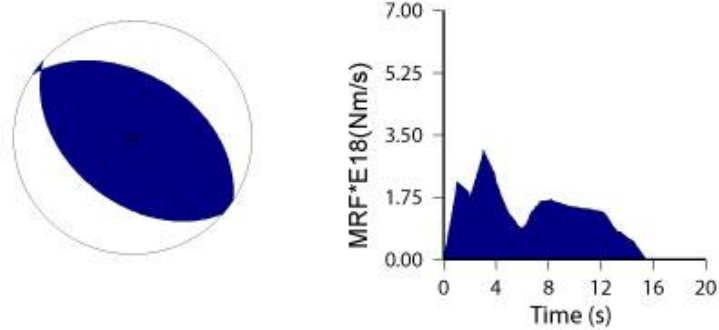
Model M11 ters çözüm denemesi sonucu elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.17.'de gösterilmiştir. Bu model için hesaplanan dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.18.'de karşılaştırılmıştır. Gözlenen ve hesaplanan dalga şekilleri yeterince uyum ortaya koymaktadır. Bu deprem esnasında serbestlenen sismik moment ( $M_0$ )  $1.904 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.79$ ) olarak bulunmuştur. Yapılan ters çözümde değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı  $96^\circ$  olarak bulunmuştur.

Şekil 3.17.'de verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının odak merkezli yerleşmiş yaklaşık dairesel, yaklaşık 10 km çapında ve en büyük kayma genliği 3.7 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği açıkça görülmektedir. Yapılan ters çözüm denemeleri ile ortaya çıkarılmaya çalışılan KB kenarındaki 1.4 m'lik kayma bölgesi ile odak merkezli pürüz arasında yaklaşık 15 km'lik boşluk bulunmaktadır. Bu durum bize KB kenarındaki kaymanın ters çözüm kaynaklı bir suni kayma olabileceği durumunu düşündürmektedir. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde kırılmanın iki alt olay ile kontrol edildiği gözlemlenmektedir. İkinci alt olayın moment boşalımını sadece KB kenarındaki kaymanın oluşturacağı moment boşalımından daha büyük olduğu vurgulanmalıdır. Bu nedenle KB kenarındaki kayma bölgesinin suni bir kayma olduğu kanısı güçlenmektedir. Sonuç depremin olarak odakta yerleşmiş dairesel pürüz kendi içinde ayırt edilebilen iki alt olayla meydana geldiği yorumu yapılabilmektedir. Deprem için moment serbestlenmesi yaklaşık 15 sn sürdüğü moment boşalım fonksiyonundan elde edilmiştir.

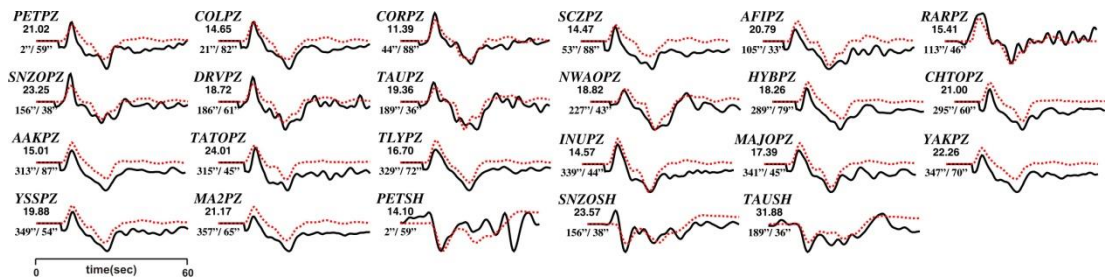


## 18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.1904E+20$ (Nm),  $M_w = 6.8$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (131.0, 45.0, 95.8, 35.0)



Şekil 3.17. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.11.'deki Model M11 denemesinin sonucunda elde edilmiştir

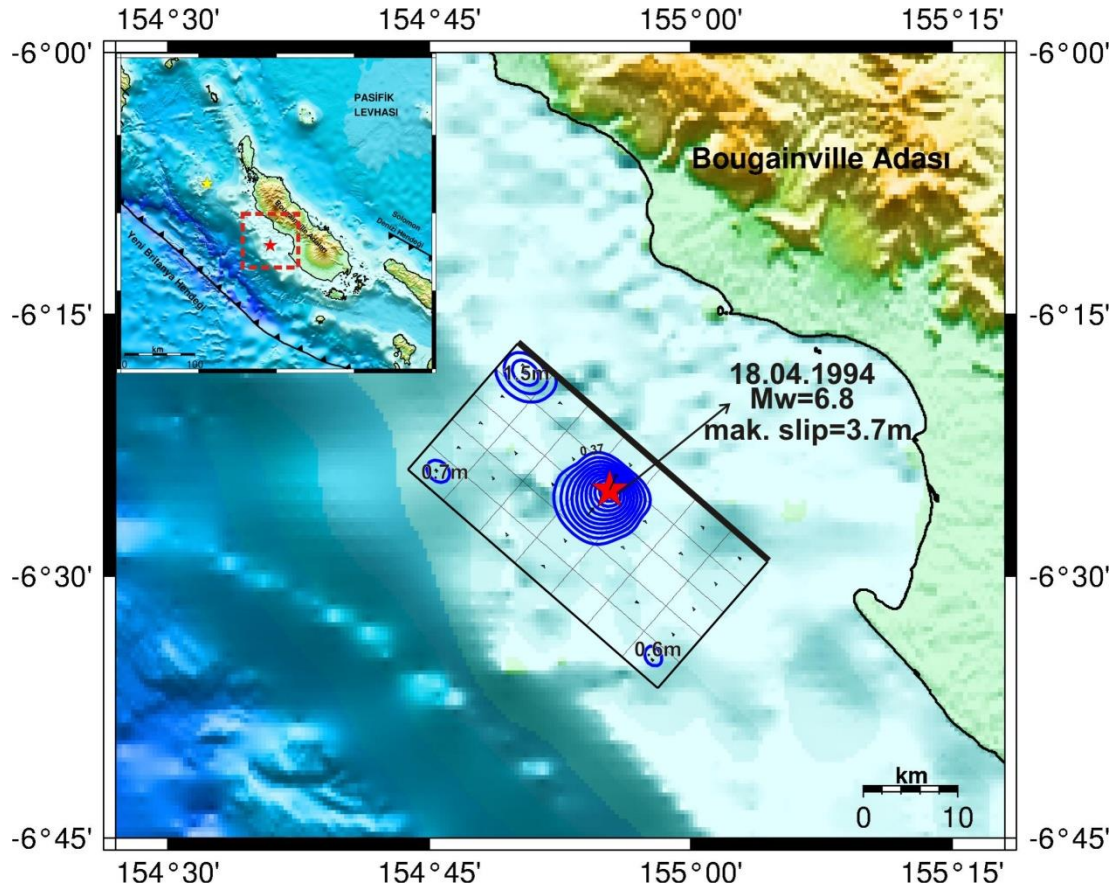


Şekil 3.18. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M11 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

Şekil 3.19.'da 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözüm sonucu elde edilen kayma dağılımının harita üzerinde yüzey projeksiyonu gösterilmiştir. USGS-NEIC kayıtlarında bu depremden sonra odağın etrafında veya yakın çevresinde



meydana gelmiş  $M_w \geq 3$  bir deprem bulunmamaktadır.

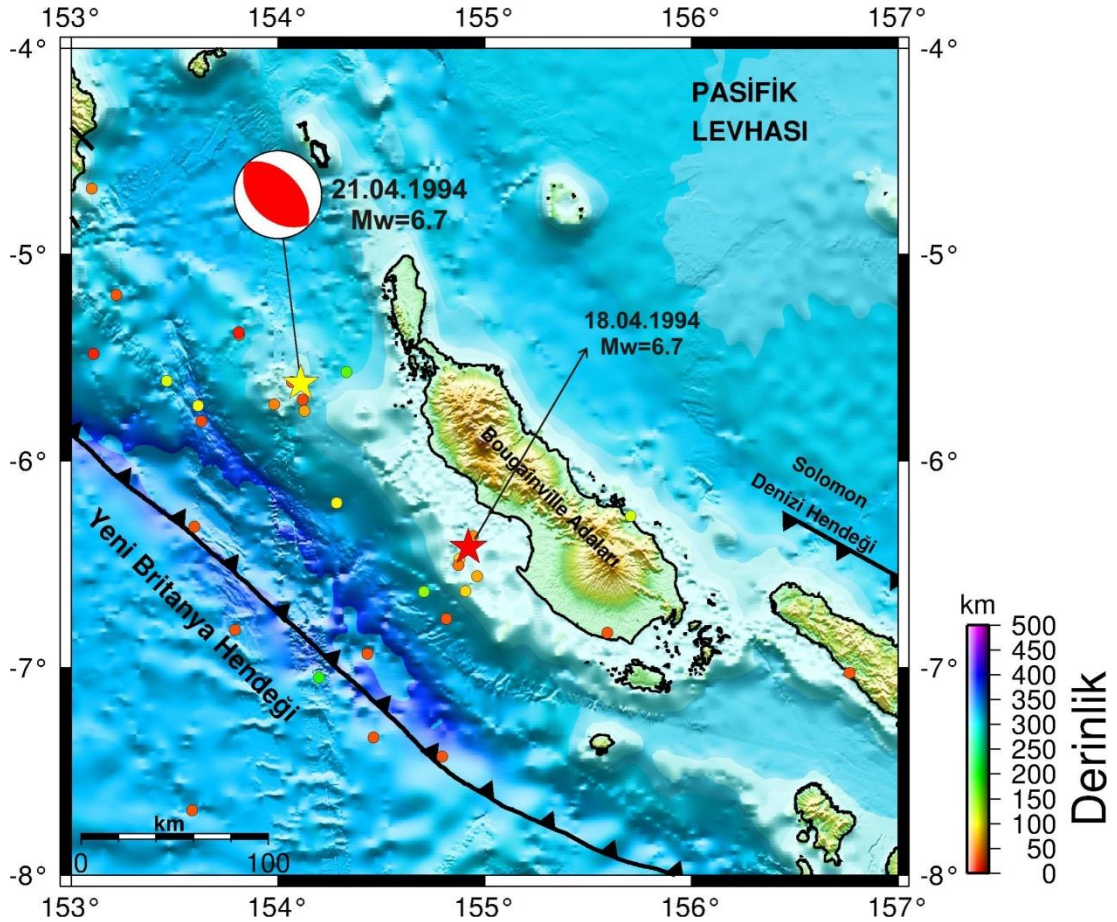


Şekil 3.19. 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daire 18 Nisan 1994 ve 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremleri arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şoku (sadece bir adet) ifade etmektedir. 18 Nisan depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.37 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.4. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.4.1. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ )

21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi ( $M_w \approx 6.7$ ), 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ( $M_w = 6.8$ ) kuzeybatısında yaklaşık 59 saat sonra Yeni Britanya Hendeği doğu kenarındaki dalma-batma zonu kuşağı bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi dış merkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)' dan alınmıştır. Şekildeki daireler 18 Nisan 1994 ve 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi arasında meydana gelmiş meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı depremlerin odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloğlarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için ISC-GEM projesi kapsamında elde edilen odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Bu deprem için çeşitli sismolojik merkezler tarafından ortaya konulan kaynak parametreleri Tablo 3.12.'de verilmiştir.

Tablo 3.12. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

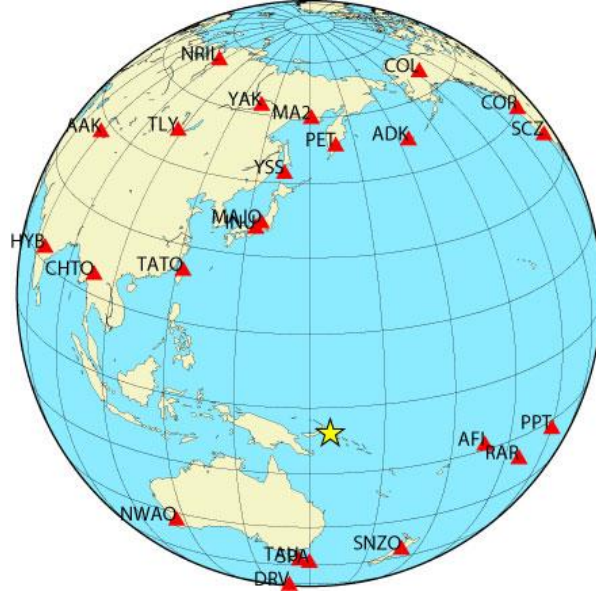
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ )	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
03:51:44.56	-5,7020	154,120	56	11,00	153	40	94	USGS-NEIC
03:51:54.70	-5,7700	153,950	46	11,70	131	41	85	HRV-GCMT

### 3.2.4.2. Kullanılan telesismik veri

21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi ters çözümü için toplam 24 adet istasyonda kaydedilmiş geniş-bant P dalga şekli ve 8 adet istasyonda kaydedilmiş SH dalga şekli yer değiştirme kayıtları kullanılmıştır. Ters çözümde kullanılan istasyonlara ait detaylı bilgiler Tablo 3.13.'de ve yeryüzündeki dağılımları Şekil 3.21.'de gösterilmiştir. Veri üzerinde yapılan işlemlerde ilk olarak alet etkisi giderilmiş ve 0.01 – 0.33 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Veriler 0.5 sn aralıklarla örneklenmiş ve deprem büyüklüğü göz önüne alınarak verinin 50 sn'lik kayıt uzunluğu ters çözümde kullanılmıştır.

Tablo 3.13. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

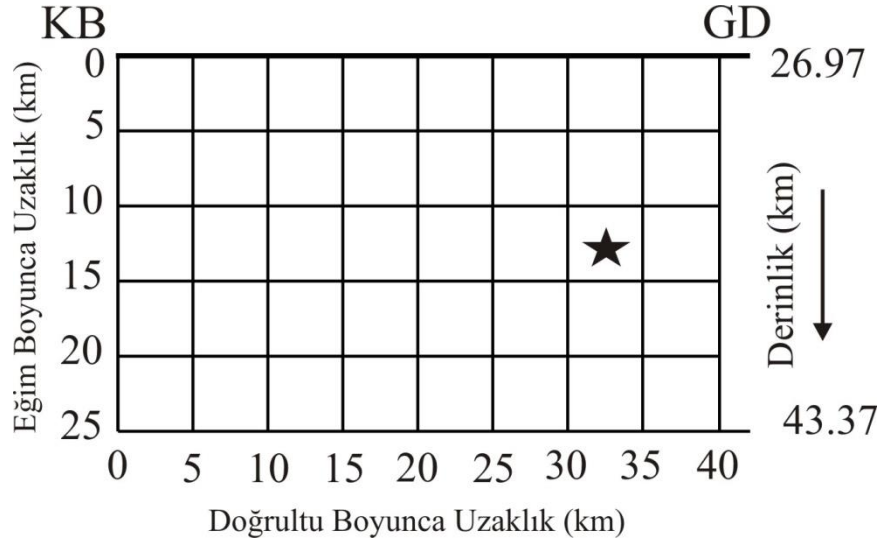
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	3,21	58,89	P, SH
ADK	51,88	-176,68	19,81	62,79	P, SH
COL	64,90	-147,79	21,31	82,40	P
COR	44,59	-123,30	44,95	88,80	P
SCZ	36,60	-121,40	53,06	89,04	P
AFI	-13,91	-171,78	106,25	34,57	P, SH
PPT	-17,57	-149,58	107,32	56,23	P
RAR	-21,21	-159,77	113,72	47,25	P
SNZO	-41,31	174,70	155,72	40,04	P, SH
SPA	-90,00	115,00	180,00	84,25	P
DRV	-66,66	140,00	186,28	61,70	P, SH
TAU	-42,91	147,32	188,12	37,65	P, SH
NWAO	-32,93	117,24	226,74	43,72	P, SH
HYB	17,42	78,55	289,20	78,04	P
CHTO	18,81	98,94	295,77	59,60	P
AAK	42,64	74,49	313,53	86,30	P
TATO	24,97	121,50	315,48	44,13	P
TLY	51,68	103,64	329,76	71,67	P
INU	35,35	137,03	339,90	44,11	P
NRIL	69,50	88,44	341,38	87,14	P
MAJO	36,55	138,20	341,83	44,82	P
YAK	62,03	129,68	348,13	70,33	P
YSS	46,96	142,76	350,42	53,65	P
MA2	59,58	150,77	358,16	65,37	P, SH



Şekil 3.21. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.4.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

21 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin model parametrizasyonu tasarlanırken depremin Yeni Britanya Hendeğinin doğu kenarında meydana geldiği bilgisi göz önünde tutulmuştur. Ters çözüm için model fay düzleminin tanımlanmasında HRV-GCMT çözümünde elde edilen doğrultu ( $131^\circ$ ), eğim ( $41^\circ$ ) ve rake ( $85^\circ$ ) açıları kullanılmıştır (Tablo 3.14.). Odağın yeri ( $5.623^\circ\text{G} - 154.110^\circ\text{D}$  ve 35 km) ISC-GEM kataloglarından elde edilerek 40 km x 25 km boyutlarında bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tanımlanmıştır. Bu model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 40 fay parçasına (doğrultu boyunca 8 ve eğim boyunca 5) bölünmüştür (Şekil 3.22.). Deprem odağının model fay düzlemi üzerindeki konumu yapılacak ters çözüm denemeleri neticesinde belirlenmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.22. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 40 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 12.5 km, 32.5 km ve 7.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Ters çözüm başlangıcında kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmış ve her bir fay parçasında yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreyle birbiriyle örtüşen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Bu durumda model fay düzlemi üzerinde 7 sn'lik bir toplam kayma süresine imkân verilmiştir.

#### 3.2.4.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi okyanusal kabukta meydana gelmiş bir depremdir. Bu sebeple Blaser ve ark. (2010) tarafından ortaya koyulan ampirik bağıntılarla fay düzlemi boyutları başlangıç modeli olarak ters çözüm denemesi Model M1 belirlenmiştir (Tablo 3.14.). Model M1 ile yapılan modelleme sonucunda faylanma alanının boyutlarının özellikle doğrultu boyunca yetersiz olduğu ve bu nedenle hata miktarının yüksek olduğu kanısına varılmış ve bu amaçla Model M2 tasarlanmıştır (Tablo 3.14.). Model M2 ile hata oranı ciddi oranda düşmüş fakat kayma bölgelerinin net olarak ortaya çıkmadığı fark edilmiştir. Model M3 ve M4' de ise odağın lokasyonunun tespiti ile ilgili denemeler yapılmış ve odağın faylanma alanının GD kenarına yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Odağın yerinin tespitinden sonra Model M5, M6 ve M7 ile faylanma alanındaki pürüzlerin tam olarak ortaya çıkarılması için çeşitli denemeler yapılmıştır. Yeterince tatmin edici sonuçlar elde



edilince kırılma hızının tespiti için farklı hızlar için modellemeler yapılmıştır. (Tablo 3.14.). Sonuç olarak, hata miktarları ve elde edilen kayma dağılımlarının uygunluğu gibi birden fazla koşula dikkat edilerek deprem için en uygun modelin M8 olduğu kanaatine varılmıştır.

Tablo 3.14. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

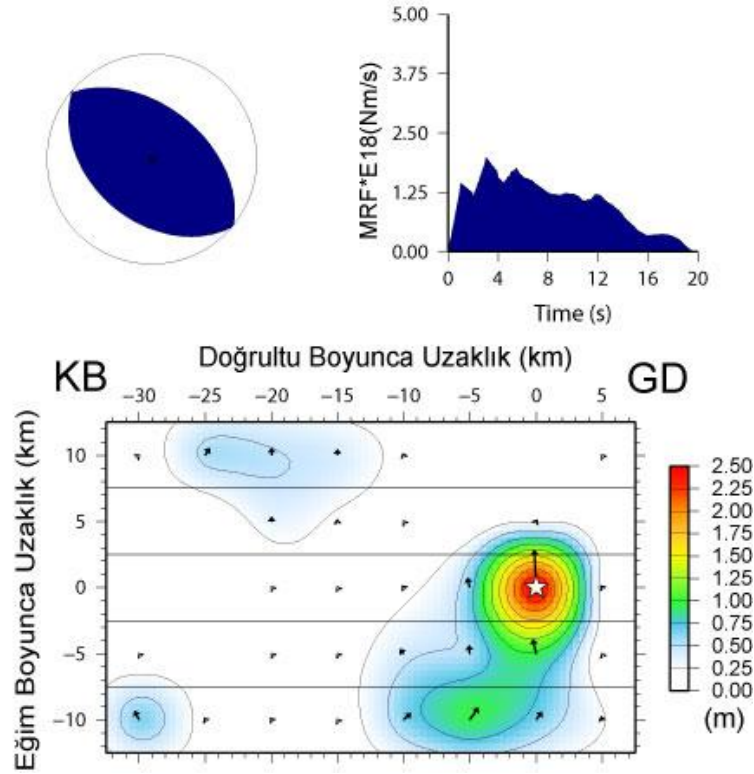
	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	25	20	20	5x5	3-2	3,0	86,4	1,157	0,32016	1,9
M2	30	20	24	5x5	3-2	3,0	85,3	1,348	0,26770	2,0
M3	30	20	24	5x5	1-2	3,0	87,5	1,574	0,23507	2,0
M4	30	20	24	5x5	5-2	3,0	89,7	1,508	0,24951	2,0
M5	35	20	28	5x5	5-2	3,0	89,5	1,511	0,24694	2,0
M6	35	20	28	5x5	6-2	3,0	89,2	1,619	0,23529	1,9
M7	40	25	40	5x5	7-3	3,0	90,6	1,688	0,21954	2,2
M8	40	25	40	5x5	7-3	2,5	91,9	1,793	0,21146	2,5
M9	40	25	40	5x5	7-3	2,6	91,7	1,765	0,21325	2,4
M10	40	25	40	5x5	7-3	2,7	91,3	1,740	0,21537	2,3
M11	40	25	40	5x5	7-3	2,8	91,0	1,722	0,21686	2,3
M12	40	25	40	5x5	7-3	2,9	90,8	1,704	0,21812	2,2
M13	40	25	40	5x5	7-3	3,1	90,2	1,671	0,22012	2,1
M14	40	25	40	5x5	7-3	3,2	90,0	1,656	0,22127	2,1
M15	40	25	40	5x5	7-3	3,3	89,9	1,642	0,22252	2,1
M16	40	25	40	5x5	7-3	3,4	89,9	1,629	0,22378	2,0
M17	40	25	40	5x5	7-3	3,5	89,9	1,615	0,22517	1,0

Model M8'deki parametreler ile yapılan ters çözüm sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.23.'de gösterilmiştir. Hesaplanan yapay ile gözlenmiş dalga şekilleri ise Şekil 3.24.'de karşılaştırılmıştır. Dalga şekilleri arasındaki uyum bazı SH istasyonlarındaki modellemeler hariç yeterince tatmin edici olarak yorumlanmıştır. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi sırasında açığa çıkan sismik moment ( $M_o$ )  $1.793 \times 10^{19}$  ( $M_w=6.77$ ) olarak bulunmuştur. Ters çözüm sırasında değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı  $92^\circ$  olarak elde edilmiştir. Şekil 3.23.'de verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının

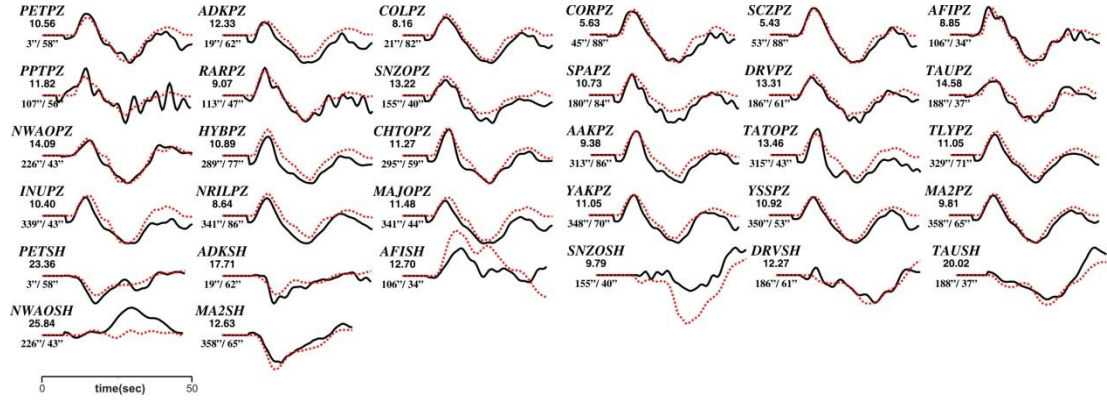
odak merkezli yaklaşık 20 km yarıçaplı dairesel bir fay pürüzü tarafından kontrol edildiği gözlenmektedir. Bu pürüzün en büyük kayma değeri 2.5 m'dir. Bu pürüz ile ilgili genliği 1 m'den küçük kayma 10 km boyunca eğim aşağı yayılmıştır. Ters çözüm modelleme denemeleri yapılırken özellikle KB kenarındaki eğim aşağı ve yukarısında bulunan yaklaşık aynı kayma değerine (0.6 m) sahip iki pürüzün ortaya çıkarılmasına uğraşmıştır. Bu iki pürüz ile ana pürüz arasında herhangi bir kayma bulunmamaktadır. Bu durumlar bahsi geçen iki pürüzün bir modelleme kaynaklı suni bir kayma bölgesi olabileceği şeklinde yorumlamamıza sebep olmuştur. Aynı zamanda kaynak zaman fonksiyonu incelendiğinde moment boşalımı grafiği tek bir olayı işaret etmektedir. Böylece bu depremin odakta yerleşmiş yaklaşık olarak dairesel tek bir pürüzün kırılması ile gerçekleşmiş olduğu yorumlanmıştır. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde deprem esnasında enerji boşalımının 20 sn sürdüğü gözlemlenmektedir.

### 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.1793E+20$ (Nm),  $M_w = 6.8$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (131.0, 41.0, 91.9, 35.0)



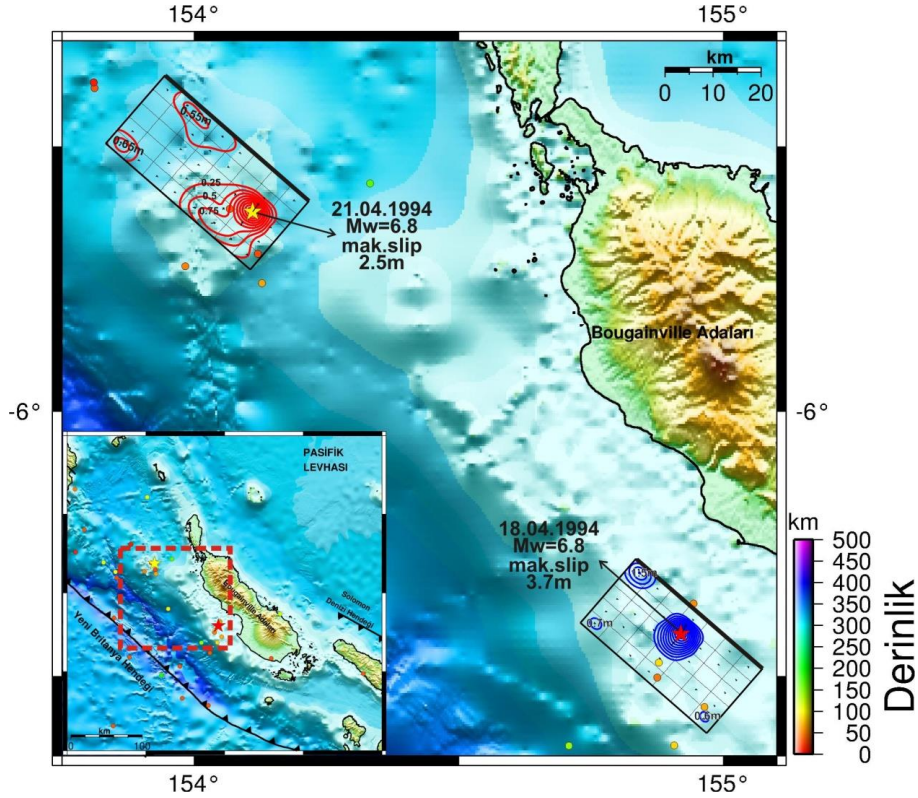
Şekil 3.23. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.14.'deki Model M8 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.24. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M8 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi sonlu fay ters çözümü sonucu elde edilen kayma dağılım modelinin dalma-batma zonu civarındaki yüzey projeksiyonu ve 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminden sonra 6 aylık bir süre içerisinde meydana gelen  $M_w \geq 3.0$  artçı şokların dağılımı Şekil 3.25.'de gösterilmiştir. Aynı zamanda bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin kayma dağılım modeli de Şekil 3.25.'de gösterilmiştir. İki deprem arasındaki gerilme değişimlerinin detaylı analizi ileriki bölümlerde detaylı bir şekilde ortaya koyulacaktır.





Şekil 3.25. 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen 18 Nisan 1994 Solomon Adaları Depreminin kayma dağılımı konturları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 18 Nisan 1994 depreminden sonra 6 aylık dönem içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 18 Nisan depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.37 m aralıklarla, 21 Nisan 1994 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.25 m aralıklarla çizilmiştir

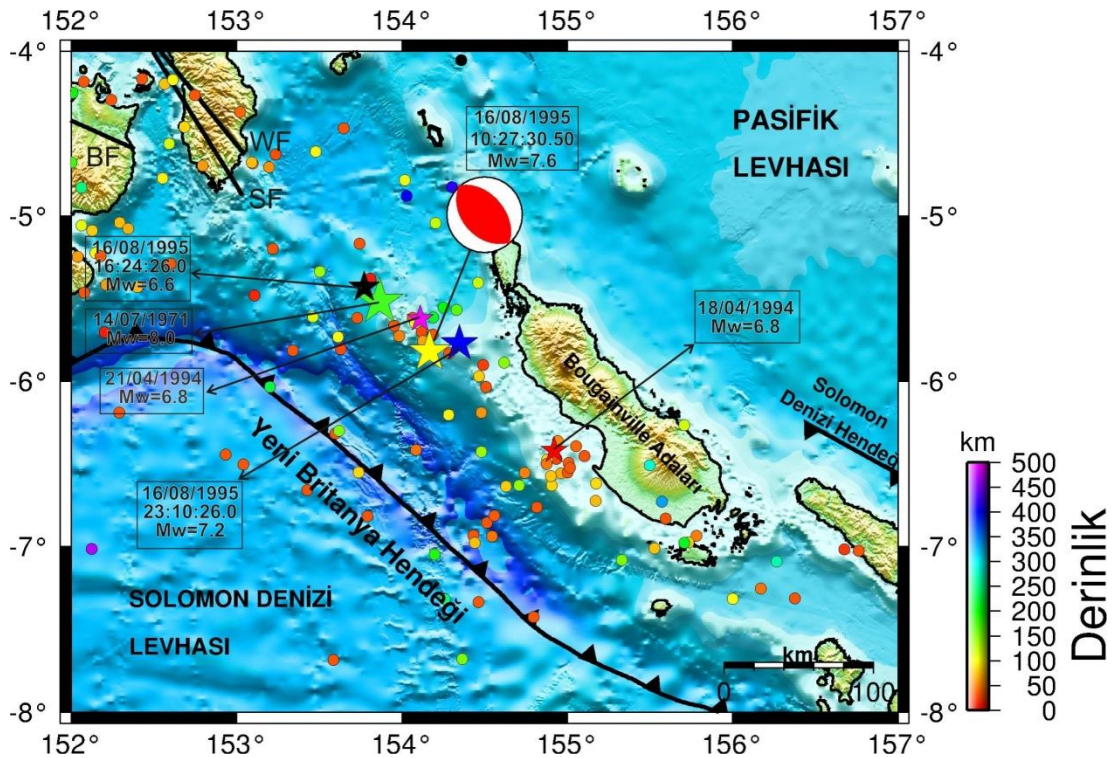
### 3.2.5. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.6$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.5.1. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.6$ )

Solomon ve Yeni Britanya adaları civarında büyük ve sığ depremler meydana gelmektedir. Bu depremler birbirlerinden zaman anlamında birkaç saat ya da birkaç gün, konumsal olarak da 50-100 km yakınlıkta meydana gelerek oldukça dikkat çekmektedirler. Solomon Adaları bölgesi, oldukça büyük boyutlarda ( $M_s \geq 7.5$ ) deprem çiftlerinin (doublets) ve önemli sığ dalma batma zonu depremlerinin olduğu bir bölgedir (Lay and Kanamori, 1980).

Bu depremlerden bir tanesi olan 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.6$ ), Solomon Denizi Plakasının Pasifik Plakası altına daldığı bölge olan Yeni

İrlanda'nın güneydoğusu Boungainville adası civarında meydana gelmiştir (Şekil 3.26.). Büyüklüğüyle bir hayli dikkat çekici olan bu deprem Yeni Britanya-Rabaul bölgesinde en büyük yüksekliği 55 cm olan küçük bir tsunami üretmiştir (Park ve Mori, 2007b). Bu olayın hemen ardından ana şoka yakın bir şekilde konumlanmış yaklaşık 6 saat sonra  $M_w=6.6$  büyüklüğünde ve 13 saat sonra ise  $M_w=7.2$  büyüklüğünde depremlerin meydana gelmiş olması çeşitli araştırmacıların dikkatini çekmiştir (Park ve Mori, 2007b; Schwartz, 1999) (Şekil 3.26.). Yine bu bölgede 14 Temmuz 1971 tarihinde  $M_w=8.0$  büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu durum bölgenin oldukça aktif, geçmişte ve günümüzde birçok deprem üretebilen bir potansiyele sahip olduğunu açıkça göz önüne sermektedir. Bir önceki bölümde çalıştığımız 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi ( $M_w=6.8$ ) bu deprem oldukça yakın bir konumda meydana gelmiş bir depremdir (Şekil 3.26.). Daha önceden kayma dağılım modeli elde ettiğimiz bu depremde 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi ile kayma dağılım modeliyle birlikte yorumlanmaya çalışılacaktır.



Şekil 3.26. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi dış merkez lokasyonunu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümünü ve bölgedeki tektonik unsurları gösteren harita. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)' dan alınmıştır. Şekildeki daireler 21 Nisan 1994 ve 16 Ağustos 1995 Solomon depremleri arasındaki süre boyunca meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı depremlerin odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

16 Ağustos 1995 depremi modellenmesi için gerekli olan odak parametreleri ilk olarak ISC-GEM kataloglarından elde edilmiştir. Fakat bu odak parametreleriyle modellemede kullanılan kod çalıştırılmamıştır. ISC (International Seismological Center) kataloglarından elde edilen odak parametreleriyle yapılan modellemede herhangi bir sorun ile karşılaşılmamış ve modellemeye başlanmıştır (Tablo 3.1.). Bu depreme ait çeşitli sismolojik merkezler ve araştırmacıların verdiği odak ve kaynak parametreleri Tablo 3.15.'de derlenmiştir.

Tablo 3.15. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için çeşitli kuruluş ve araştırmacılar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

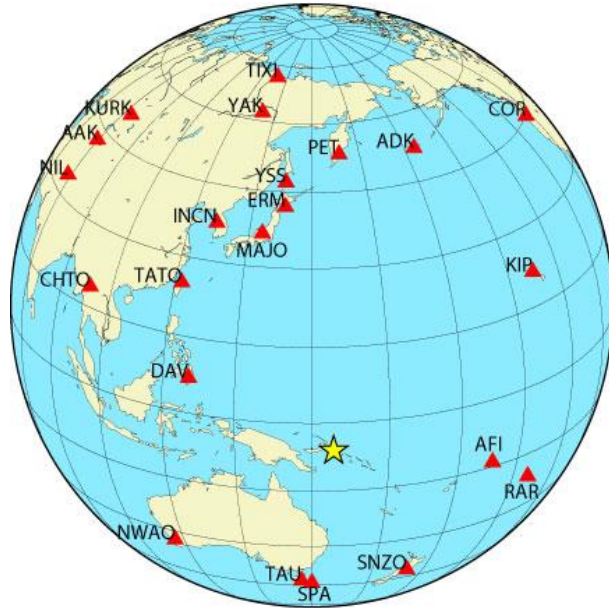
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
10:27:28.63	-5.799	154.178	37	462	324	44	92	USGS-NEIC
10:28:00.70	-5.510	153.64	45.6	260	320	48	92	HRV-GCMT
-	-	-	37	910	310	35	87	Park ve Mori (2007b)

### 3.2.5.2. Kullanılan telesismik veri

16 Ağustos 1995 Solomon Adaları ( $M_w=7.6$ ) depreminin modellenmesinde 20 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant P dalga şekli ile 8 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant SH dalga şekli yerdeğiştirme kayıtları kullanılmıştır. Modellemede kullanılan istasyonların detaylı bilgileri Tablo 3.16.'da ve azimutal dağılımları Şekil 3.27.'de verilmiştir. P ve SH dalga şekillerinin alet etkisi giderildikten sonra gürültü seviyeleri de göz önüne alınarak 0.01 ile 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Bununla birlikte veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Ters çözüm işleminde depremin büyüklüğü göz önüne alınarak P ve SH dalga şekilleri için kayıt uzunluğu 100 sn olarak tercih edilmiştir. Bu sürenin sonlu fay kırılma özelliklerinin elde edilmesi için yeterli olacağı kanaatine varılmıştır.

Tablo 3.16. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depreminin ters çözümde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimet( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	3,14	58,97	P, SH
ADK	51,88	-176,68	19,75	62,84	P
COR	44,59	-123,30	4 4,94	88,80	P, SH
KIP	21,42	-158,01	58,26	54,21	P
AFI	-13,91	-171,78	106,17	34,47	P
RAR	-21,21	-159,77	113,68	47,14	P
SNZO	-41,31	174,70	155,76	39,94	P
TAU	-42,91	147,32	188,23	37,58	P
NWAO	-32,93	117,24	226,85	43,73	P
DAV	7,07	125,58	293,94	31,30	P
CHTO	18,81	98,94	295,78	59,71	P
AAK	42,64	74,49	313,52	86,42	P
TATO	24,97	121,50	315,47	44,25	P
KURK	50,72	78,62	322,04	85,49	P
INCN	37,48	126,62	331,52	50,33	SH
MAJO	36,55	138,20	341,77	44,93	P
YAK	62,03	129,68	348,09	70,43	P
ERM	42,02	143,16	349,14	48,88	P
YSS	46,96	142,76	350,36	53,74	P
TIXI	71,63	128,87	352,12	79,21	P

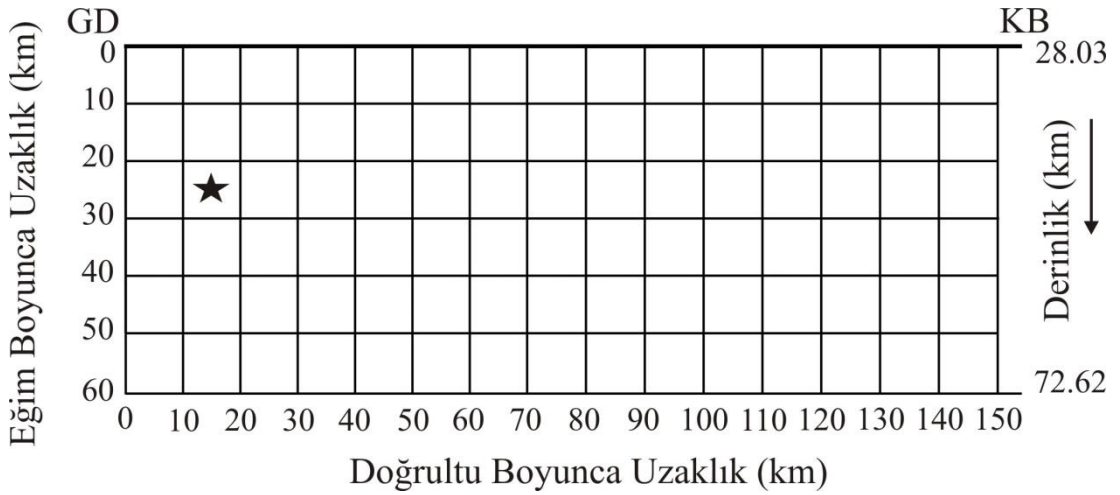


Şekil 3.27. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.5.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

16 Ağustos 1995 Solomon Adaları ( $M_w=7.6$ ) depremi sığ bindirme karakterli bir depremdir ve Yeni Britanya Hendeği doğu kenarında meydana gelmiştir. Mevcut bilgiler göz önünde bulundurularak sonlu fay parametreleri belirlenmeye

çalışılmıştır. Depremin kaynak parametreleri çeşitli sismolojik merkezler ve araştırmacılar tarafından derlenerek Tablo 3.15.'de verilmiştir. Model fay düzleminin tanımlanmasında HRV-GCMT çözümünde elde edilen doğrultu ( $320^\circ$ ), eğim ( $48^\circ$ ) ve rake ( $92^\circ$ ) açıları kullanılmıştır. Odak lokasyonu ( $5.821^\circ\text{G} - 154.167^\circ\text{D}$  ve  $46.6$  km) ISC kataloglarından alınarak  $150$  km x  $60$  km boyutlarındaki bir model fay düzlemi model fay düzleminin temsili için tanımlanmıştır. Model fay düzlemi  $10$  km x  $10$  km boyutlarında doğrultu boyunca  $15$ , eğim boyunca  $6$  olmak üzere  $90$  fay parçasına bölünmüştür (Şekil 3.28.). Depremin odağının model fayın derinlik kenarlarına olan uzaklıkları yapılacak ters çözüm denemeleriyle tespit edilmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.28. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi  $10$  km aralıklarla toplam  $90$  adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın (üst, GD ve KB) kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla  $25$  km,  $15$  km ve  $135$  km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır.

Modellemede başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ )  $3,0$  km/sn olarak alınmış ve çeşitli hızlarda denemeler yapılarak en uygun kırılma hızının tespiti sağlanmıştır. Her bir fay parçasında yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü,  $1.0$  sn süreyle birbiriyle örtüşen  $6$  üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Bu durumda model fay düzlemi üzerinde  $7$  sn'lik bir toplam kayma süresine imkân verilmiştir.



#### 3.2.5.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depreminin modellenmesi için farklı parametrelerle birçok ters çözüm denemesi yapılmıştır (Tablo 3.17.). İlk olarak model parametrizasyonu oluşturulurken Blaser ve ark., (2010) tarafından okyanusal kabukta meydana gelmiş bindirme karakterli depremlerin fay boyutlarının belirlenmesini sağlayan ampirik bağıntılar kullanılmıştır. Bunun sonucunda Model M1 oluşturulmuş ve ters çözüm işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.17.). Ortaya çıkan sonuçlar irdelendiğinde depreme ait kayma dağılımının tam olarak ortaya çıkarılamadığı ve fay alanının genişletilmesi gerektiği yorumunda bulunulmuştur. Fay boyutları hem doğrultu hem de derinlik boyunca genişletilmiş ve M2 modeli ile ters çözüme devam edilmiştir. Deprem pürüzlerinin faylanma alanı üzerinde tam olarak ortaya çıkarılmasından sonra deprem odağının yerinin tespiti için M3, M4 ve M5 denemeleri yapılmıştır. Deprem odağının GD kenarına ve yüzeye daha yakın olduğu bir ters çözüm denemesi (M5) diğer denemelere göre daha az hata içeren bir sonuç ortaya koymuştur (Tablo 3.17.).

Kırılma hızının ( $V_r$ ) belirlenmesi için sırasıyla hızın 2.4 ile 3.5 km /sn arasında değişen değerleri için denemeler yapılmıştır (Tablo 3.17.). Bu denemeler sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ ) 2.4 km/sn olarak seçildiği ters çözüm denemesi (Model M6) 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depreminin final çözümü olarak kabul edilmiştir. Aynı deprem için Park ve Mori, (2007b) tarafından yapılan ters çözüm sonucunda da kırılma hızı çeşitli denemelerden sonra 2.4 km/sn olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.17. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo (x10 <sup>19</sup> )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	100	50	50	10x10	5-3	3,0	90,9	16,69	0,49257	9,5
M2	150	60	90	10x10	13-4	3,0	78,6	27,10	0,53355	4,9
M3	150	60	90	10x10	2-2	3,0	78,0	31,09	0,33366	5,7
M4	150	60	90	10x10	2-3	3,0	77,0	31,20	0,32104	4,1
M5	150	60	90	10x10	2-4	3,0	77,1	31,08	0,31833	4,2
M6	150	60	90	10x10	2-4	2,4	73,3	38,28	0,31125	4,5
M7	150	60	90	10x10	2-4	2,5	74,4	36,93	0,31450	3,8
M8	150	60	90	10x10	2-4	2,6	75,0	34,37	0,31611	4,5
M9	150	60	90	10x10	2-4	2,7	76,0	33,26	0,31554	5,6
M10	150	60	90	10x10	2-4	2,8	76,0	32,14	0,31503	3,6
M11	150	60	90	10x10	2-4	2,9	76,0	31,69	0,31692	3,4
M12	150	60	90	10x10	2-4	3,1	77,6	30,69	0,31793	3,7
M13	150	60	90	10x10	2-4	3,2	77,9	30,08	0,31760	3,4
M14	150	60	90	10x10	2-4	3,3	78,6	29,60	0,31663	3,5
M15	150	60	90	10x10	2-4	3,4	79,5	29,23	0,31835	3,2
M16	150	60	90	10x10	2-4	3,5	79,8	28,97	0,31975	3,0

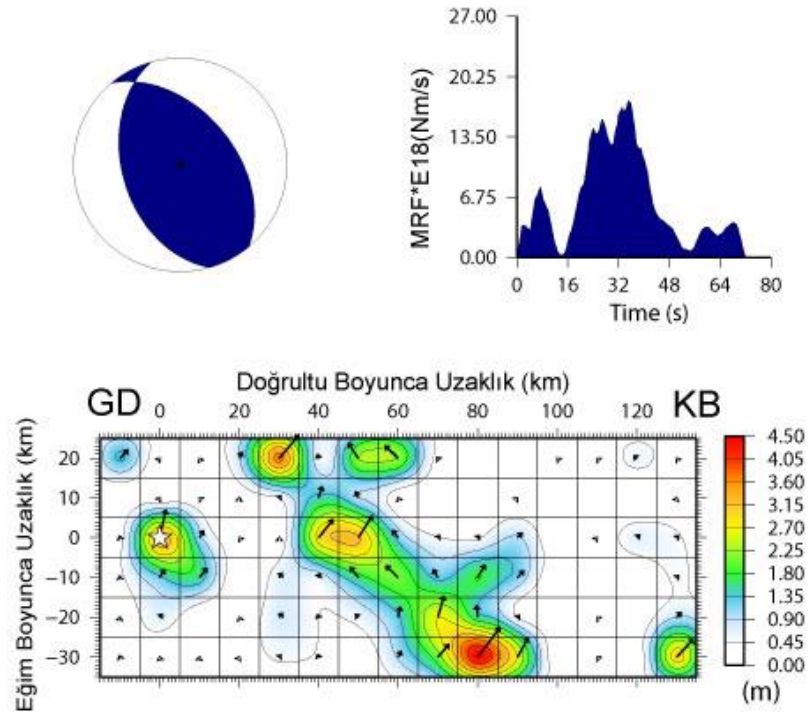
Model M6 ters çözümü sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.29.'da ve bu model için hesaplanmış yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.30.'da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda gözlenen ve hesaplanan dalga şekilleri arasında yeterli düzeyde bir uyum gözlemlenmektedir. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi sırasında açığa çıkan sismik moment (M<sub>o</sub>) 38.28 x10<sup>19</sup> (M<sub>w</sub>=7.66) olarak bulunmuştur. Ters çözüm sırasında değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı 73° olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.29.'da verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının birden çok pürüz tarafından kontrol edildiği ve bu nedenle de karmaşık bir yapıda gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Bunlardan ilki GD kenarına 10 km yakınlıkta odağın merkezine konumlanmış 20 km yarıçapında, en büyük kayma genliği 3.5 m olan bir fay pürüzüdür. Diğeri ise odağın yaklaşık 40 km KB'sında konumlanmış ve kayma genliği 3 m'yi bulan ve kayna genlikleri 3 – 3.5 m'ye ulaşan bu pürüzün eğim

yukarısında ayrıca yüzeye yakın şekilde konumlanmış iki küçük pürüz de mevcuttur. Park ve Mori (2007b)'ye göre yüzeye yakın pürüzler deprem sonrası meydana gelen tsunami ile ilişkilendirilmiştir. En büyük kayma genlikli (4.5 m) pürüz odaktan doğrultu boyunca yaklaşık 80 km uzaklıkta derinde yerleşmiştir. Son olarak ters çözüm denemelerinde ortaya çıkarılması için birçok model tasarlanan KB kenarında derine yerleşmiş küçük bir pürüz bulunmaktadır. Bu pürüz faylanma alanı KB kenarı doğrultu boyunca ne kadar uzatılırsa uzatılsın tam olarak ortaya çıkmamış ve en köşeye konumlanmış şekilde bulunmaktadır. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde üç alt olay açıkça gözlemlenmektedir. İlk 15 sn içerisinde odak etrafında bir boşalımın gerçekleştiği ve zaman olarak daha sonra gerçekleşen moment boşalımının faylanma alanının orta bölgesindeki pürüzlerle ilişkili olduğu açıktır. 50 sn den sonra meydana gelen nispeten küçük moment boşalımını ise KB kenarındaki köşeye sıkışmış pürüz ile açıklanabilir.

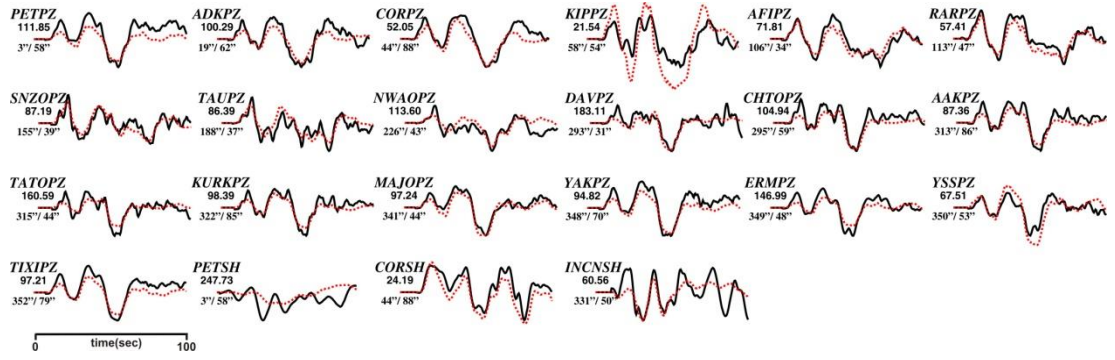
### 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.3828E+21$ (Nm),  $M_w = 7.7$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (320.0, 48.0, 73.3, 46.6)



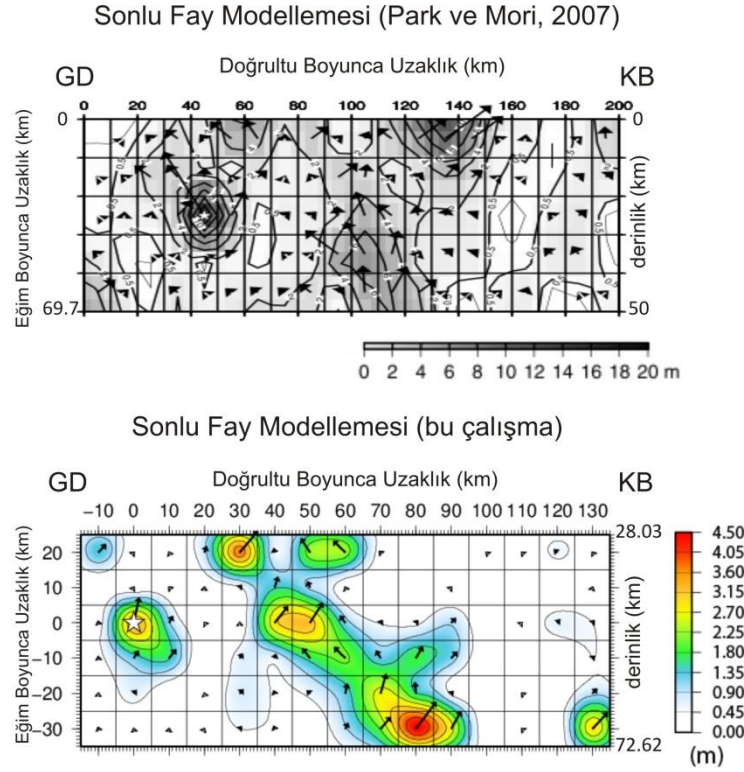
Şekil 3.29. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.17.'deki Model M6 denemesinin sonucunda elde edilmiştir





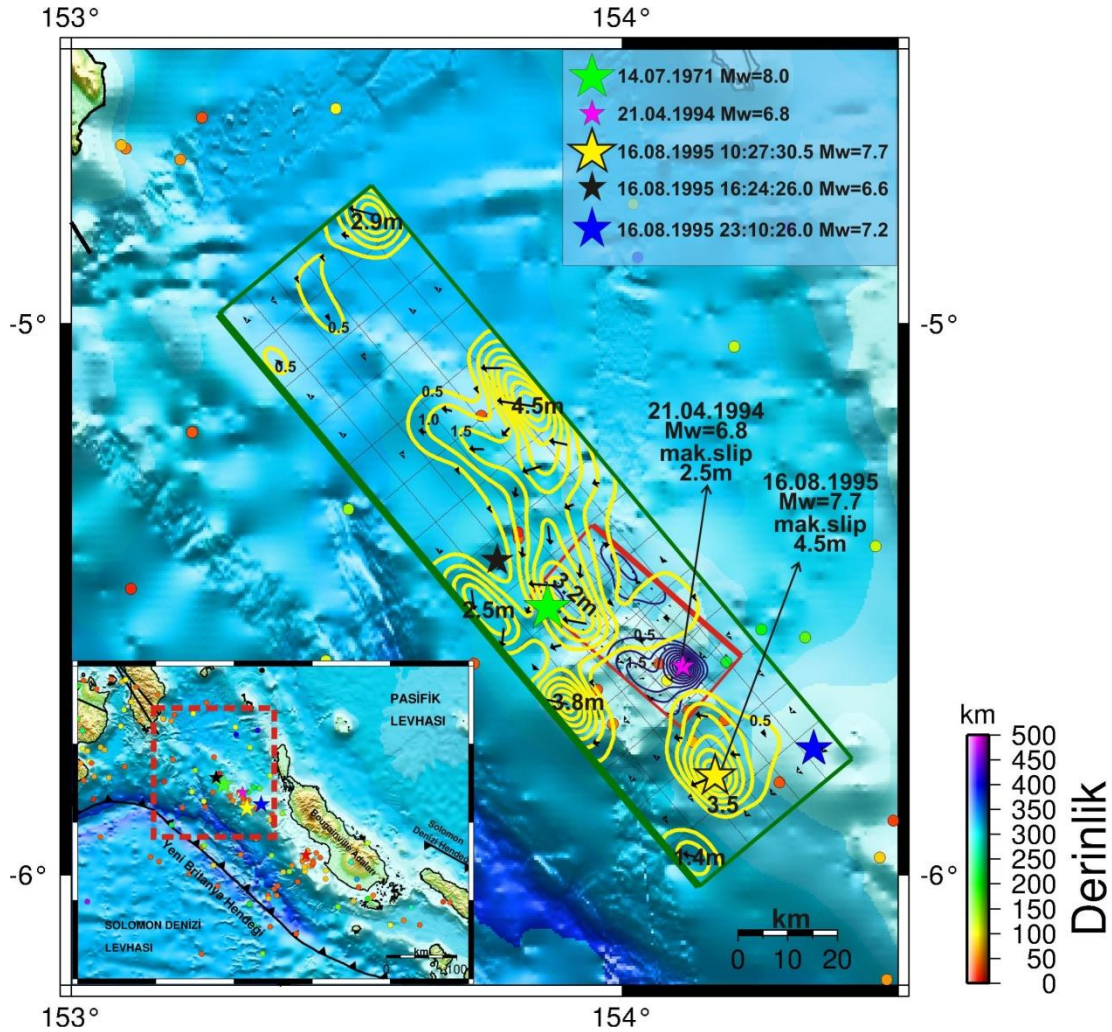
Şekil 3.30. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M6 için yapılan ters çözüm denemesi sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi uzak-alan kayıtları kullanılarak Park ve Mori (2007b) tarafından da modellenmiştir. Bahsi geçen çalışmada ve bu çalışmada elde edilen sonlu-fay modellemesi Şekil 3.31.'de karşılaştırılmıştır. İki modelleme arasında önemli benzerlikler gözlemlenmektedir. En önemli fark kayma genliklerindedir. GD tarafında konumlanan odak etrafında pürüz, yüzey ve faylanma alanının ortalarında bulunan pürüzler her iki modellemede de ortaya çıkmaktadır. Park ve Mori (2007b) bu deprem için sadece uzak-alan P dalga şekillerini kullanarak modelleme yapmışlardır. Bu çalışmada ise P dalgalarının yanında SH dalgaları şekilleri de kullanılmıştır. Bu sayede SH dalgalarının kayma vektörü açısına duyarlı olması (Mendoza ve ark., 1996) özelliği kullanılarak daha hassasiyetli çözümler yapılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.31. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için Park ve Mori (2007b) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması

16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi için sonlu fay modellemesi sonucu elde edilen kayma dağılım modeli harita projeksiyonu görüntüsü Şekil 3.32.'de verilmiştir. Aynı zamanda bu depreme çok yakın bir konumda meydana gelen 21 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi kayma dağılım modelide şekil üzerinde gösterilmiştir. 21 Nisan 1994 depreminin pürüzü 16 Ağustos 1995 depreminin faylanma alanı üzerine düşmekte ve kaymanın olmadığı bölgede konumlanmaktadır. 16 Ağustos 1995 depreminden kısa bir süre sonrasında oluşan iki büyük deprem de nispeten kaymanın olmadığı bölgelerde meydana gelmiştir (Şekil 3.32.). Bu durum levhalar arası yüzeyde kırılmaların pürüzlerce kontrol edildiği ve pürüz yenilmelerinin etkileşim içinde gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır. Çünkü daha öncede değinildiği üzere depremlerin genellikle birbiri ardına veya çifler halinde oluşması etkileşim içinde olduklarını düşündürmektedir.



Şekil 3.32. 16 Ağustos 1995 Solomon Adaları depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen 21 Nisan 1994 Solomon Adaları Depreminin kayma dağılım konturları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 21 Nisan 1994 ve 16 Ağustos 1995 Solomon depremleri arasındaki süre boyunca meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 21 Nisan 1994 depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.5 m aralıklarla ve 16 Ağustos 1995 depremi için konturlar (sarı çizgi) 0.5 m aralıklarla çizilmiştir

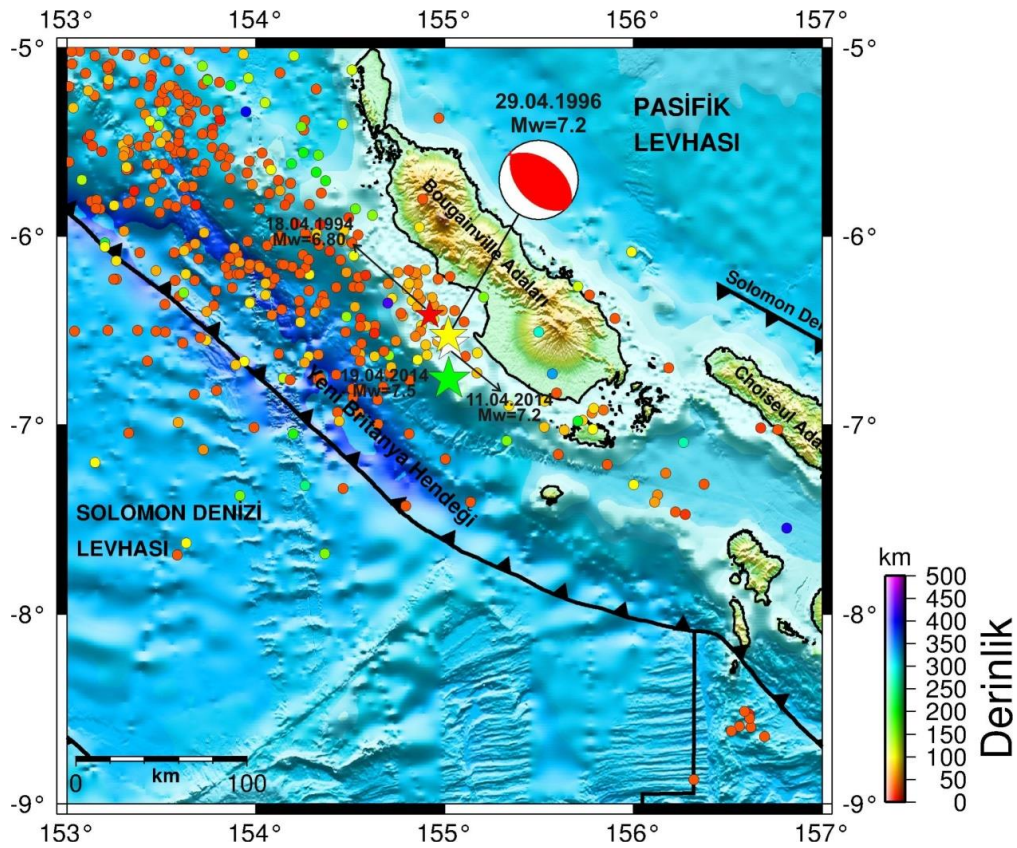
### 3.2.6. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 7.2$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.6.1. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 7.2$ )

29 Nisan 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 7.2$ ) Yeni Britanya Hendeğinin doğusu ile Bougainville Adası arasında meydana gelmiştir (Şekil 3.33.). Depreme ait HRV-GCMT odak mekanizması çözümü incelendiğinde bindirme karakterli tipik bir dalma-batma zonu depremi olduğu gözükmektedir. Bu depreme konum olarak çok yakın bir yerde daha bu çalışmada incelenmiş 18 Nisan 1994 Solomon Adaları



depremi ( $M_w=6.8$ ) ve ileriki bölümlerde incelenecek 11 Nisan 2014 ( $M_w=7.2$ ) ve 19 Nisan 2014 ( $M_w=7.5$ ) depremleri bulunmaktadır. Bu büyük depremlerin uzay ve zaman ortamında yakın şekilde meydana gelmesi oldukça dikkat çekicidir.



Şekil 3.33. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi dış merkez lokasyonunu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümünü ve bölgeye ait tektonik unsurları gösteren harita. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 18 Nisan 1994 ve 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçıokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı depremlerin odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar-Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

Depremin ters çözümü için ISC-GEM projesi sonucu ortaya çıkan odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Bu depremin çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri Tablo 3.18.'de listelenmiştir.

Tablo 3.18. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

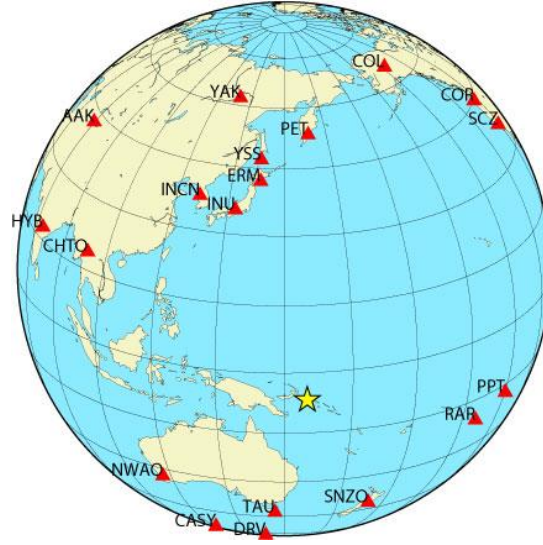
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ Nm)	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
14:40:41.09	-6,518	154,999	53,0	69,0	165	47	103	USGS-NEIC
14:40:51.20	-6,650	155,070	54,3	75,5	138	45	99	HRV-GCMT

### 3.2.6.2. Kullanılan telesismik veri

29 Nisan 1996 Solomon Adaları depreminin kayma dağılımının belirlenmesi için yapılacak ters çözümde 17 istasyonda kaydedilmiş P dalga şekli ve 6 istasyonda kaydedilmiş SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri kullanılmıştır. Ters çözümde kullanılan istasyonların listesi Tablo 3.19.'da verilmiş ve azimutal dağılımları Şekil 3.34.'de gösterilmiştir. Modellemeye başlamadan önce kullanılacak P ve SH dalga şekillerinin alet etkisi giderilmiştir. Dalgaların gürültü seviyesi göz önünde bulundurularak 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Örnekleme aralığı ise 0.5 sn olarak alınmıştır. Ters çözüm için kullanılacak P ve SH dalga şekillerinin uzunluğu deprem büyüklüğü göz önüne alınarak 55 sn olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.19. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

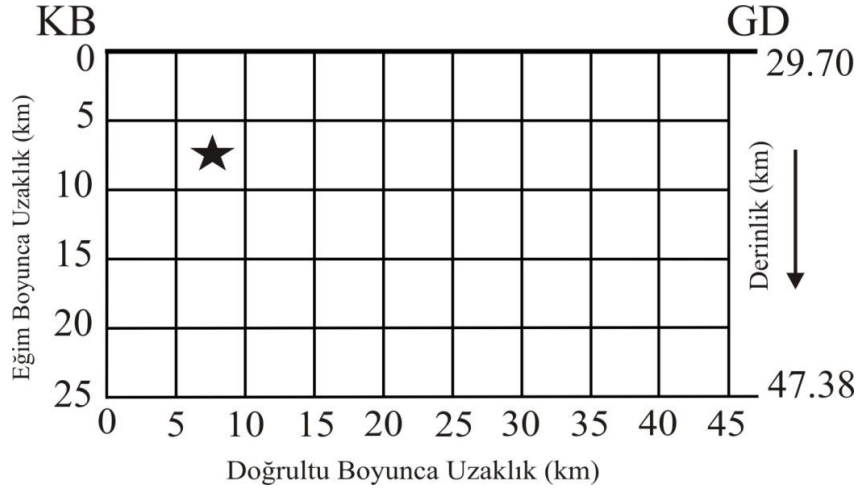
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	2,17	60,26	P, SH
COL	64,90	-147,79	21,06	82,80	P
COR	44,59	-123,30	44,74	88,82	P
SCZ	36,60	-121,40	52,94	88,77	P
PPT	-17,57	-149,58	106,49	54,44	P
RAR	-21,21	-159,77	112,84	45,36	P
SNZO	-41,31	174,70	156,27	38,93	P
DRV	-66,66	140,00	180,00	83,45	SH
TAU	-42,91	147,32	190,13	36,45	P, SH
CASY	-66,28	110,54	198,05	66,62	P, SH
NWAO	-32,93	117,24	227,92	43,87	P
HYB	17,42	78,55	289,21	79,86	P
CHTO	18,81	98,94	295,99	61,51	P
AAK	42,64	74,49	313,37	88,33	P
INCN	37,48	126,62	330,95	52,17	P
INU	35,35	137,03	338,91	45,96	P,SH
YAK	62,03	129,68	347,59	72,04	SH
ERM	42,02	143,16	348,10	50,48	P
YSS	46,96	142,76	349,44	55,31	P



Şekil 3.34. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.6.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi kırılmasının sonlu fay temsili için Tablo 3.18.'de verilmiş HRV-GCMT çözümünden elde edilen doğrultu ( $138^{\circ}$ ), eğim ( $45^{\circ}$ ) ve rake ( $99^{\circ}$ ) açıları kullanılmıştır. Odak lokasyon bilgisi ( $6.525^{\circ}\text{G} - 155.021^{\circ}\text{D}$  ve  $35.0 \text{ km}$ ) ISC-GEM'den alınmıştır. Model fay düzleminin temsili için  $45 \text{ km} \times 25 \text{ km}$  boyutlarındaki bir model tanımlanmıştır. Bu model fay düzlemi  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  boyutlarında doğrultu boyunca 9 ve eğim boyunca 5 olmak üzere 45 fay parçasına bölünmüştür (Şekil 3.35.). Deprem odağının model fay üzerindeki konumu yapılacak ters çözüm denemeleriyle tespit edilmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.35. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 45 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 7.5 km, 7.5 km ve 37.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Önemli parametrelerden biri olan kırılma hızı ( $V_r$ ) modellemede başlangıç olarak 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Ters çözüm denemelerinde çeşitli hızlar denenerek en uygun kırılma hızı ( $V_r$ ) elde edilmeye çalışılmıştır. Fay parçalarının her birinde kayma yükselme zamanı eşit yükselme ve düşümlü, 1.0 sn süreyle birbiriyle örtüşen 10 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Bu durumda model fay düzlemi üzerinde 11 sn'lik bir toplam kayma süresine imkân tanınmıştır.

#### 3.2.6.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Başlangıç faylanma boyutları amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) belirlenmiştir. Böylelikle odağın faylanma alanının ortasında konumlandığı başlangıç modeli olarak 45 km x 25 km boyutlarında faylanma alanına sahip Model M1 oluşturulmuştur. (Tablo 3.20.). Yapılan ters çözüm sonucunda kayma bölgeleri faylanma alanının derinine ve GD köşesine sıkıştığı gözlemlenmiştir. Ters çözüm denemesi Model M2 ise deprem odağı GD kenarına yakın konumlandırılmıştır. Bu denemede hem Model M1'e göre hata miktarı artmış hem de kayma fay modelinin GD köşesine sıkışmış olarak elde edilmiştir (Tablo 3.20.). Odağın KB kenarına yakın olarak yerleştirildiği ters çözüm denemesi Model M3 diğer iki denemeye göre daha olumlu sonuçlar vermiştir. Hata miktarı hatırı sayılır bir şekilde azalmış ve asıl kayma bölgeleri rahat ortaya çıkarılmıştır (Tablo 3.20.). Ters çözüm denemeleri

Model M4 ve M5 odak derinliğinin tayini için yapılmış ters çözüm denemeleridir (Tablo 3.20.). Odağın KB kenarına ve yüzeye yakın şekilde konumlandığı ters çözüm denemesi (Model M4) depreme ait pürüzlerin tam olarak ortaya çıkarılabildiği ve hata miktarının en az olduğu çözüm olarak göze çarpmaktadır. Kırılma hızı ( $V_r$ ) hızların 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değiştiği bir çok deneme yapılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu denemeler neticesinde kırılma hızı ( $V_r$ )'nin 3.5 km/sn olduğu ters çözüm denemesi Model M15 final çözümü olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.20. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	45	25	45	5x5	5-3	3,0	87,2	6,583	0,39152	7,4
M2	45	25	45	5x5	8-3	3,0	85,1	6,910	0,41607	5,1
M3	45	25	45	5x5	2-3	3,0	91,6	8,026	0,32868	4,6
M4	45	25	45	5x5	2-4	3,0	92,5	8,455	0,31952	3,8
M5	45	25	45	5x5	2-5	3,0	91,8	8,270	0,32210	4,2
M6	45	25	45	5x5	5-3	2,5	92,5	8,677	0,32135	4,6
M7	45	25	45	5x5	5-3	2,6	92,6	8,610	0,32147	4,4
M8	45	25	45	5x5	5-3	2,7	92,6	8,557	0,32123	4,3
M9	45	25	45	5x5	5-3	2,8	92,6	8,514	0,32804	4,1
M10	45	25	45	5x5	5-3	2,9	92,5	8,483	0,32022	4,0
M11	45	25	45	5x5	5-3	3,1	92,4	8,428	0,31883	3,7
M12	45	25	45	5x5	5-3	3,2	92,4	8,401	0,31820	3,6
M13	45	25	45	5x5	5-3	3,3	92,3	8,374	0,31763	3,5
M14	45	25	45	5x5	5-3	3,4	92,2	8,347	0,31709	3,4
M15	45	25	45	5x5	5-3	3,5	92,1	8,317	0,31667	3,3

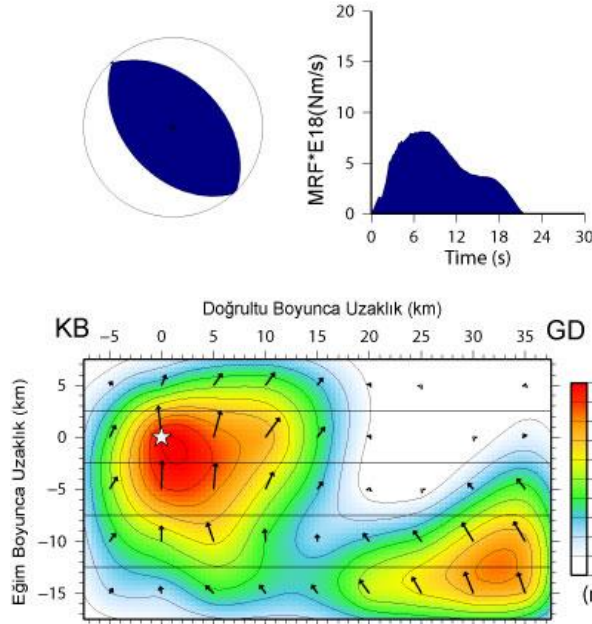
29 Nisan 1996 depremi için çalışmada tercih edilen kayma dağılımı (Model M15) Şekil 3.36.'da gösterilmiştir. Bu modelden hesaplanan yapay dalga şekilleri Şekil 3.37.'de karşılaştırılmıştır. Deprem esnasında ortaya çıkan toplam sismik moment ( $M_o$ )  $8.317 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.22$ ) ve ortalama kayma açısı  $92^\circ$  olarak bulunmuştur. Depreme ait kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının ilk olarak



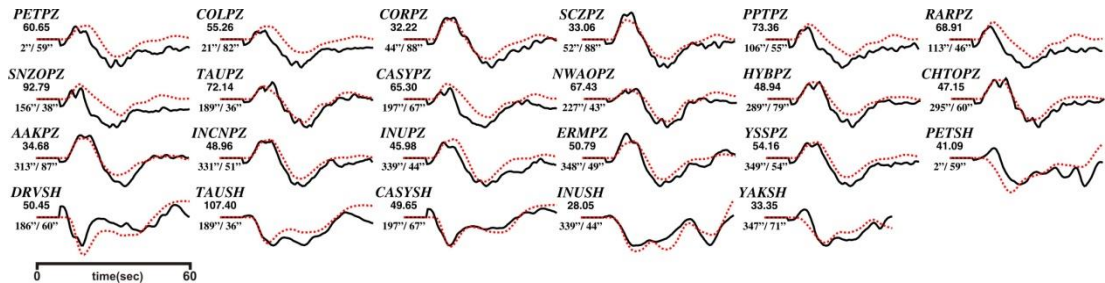
fayın KB yarısında, odağın etrafında konumlanmış, çapı yaklaşık 25 km olan kabaca dairesel şekilli ve en büyük kayma değeri 3.3 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile başladığı görülmektedir. Fayın GD yarısında derinde yerleşmiş diğer fay pürüzü yaklaşık olarak 15 km x 20 km boyutlarındadır. Bu pürüz üzerinde elde edilmiş en büyük kayma değeri 2.4 m olarak bulunmuştur. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde deprem kırılmasının yaklaşık 20 sn sürdüğü ve bunun ilk 12 sn'sinin büyük pürüzün kırılmasına karşılık geldiği görülmektedir.

### 29 Nisan 1996 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.8317E+20$ (Nm),  $M_w = 7.2$   
(Strike,Dip,Slip,h) = (138.0, 45.0, 92.2, 35.0)

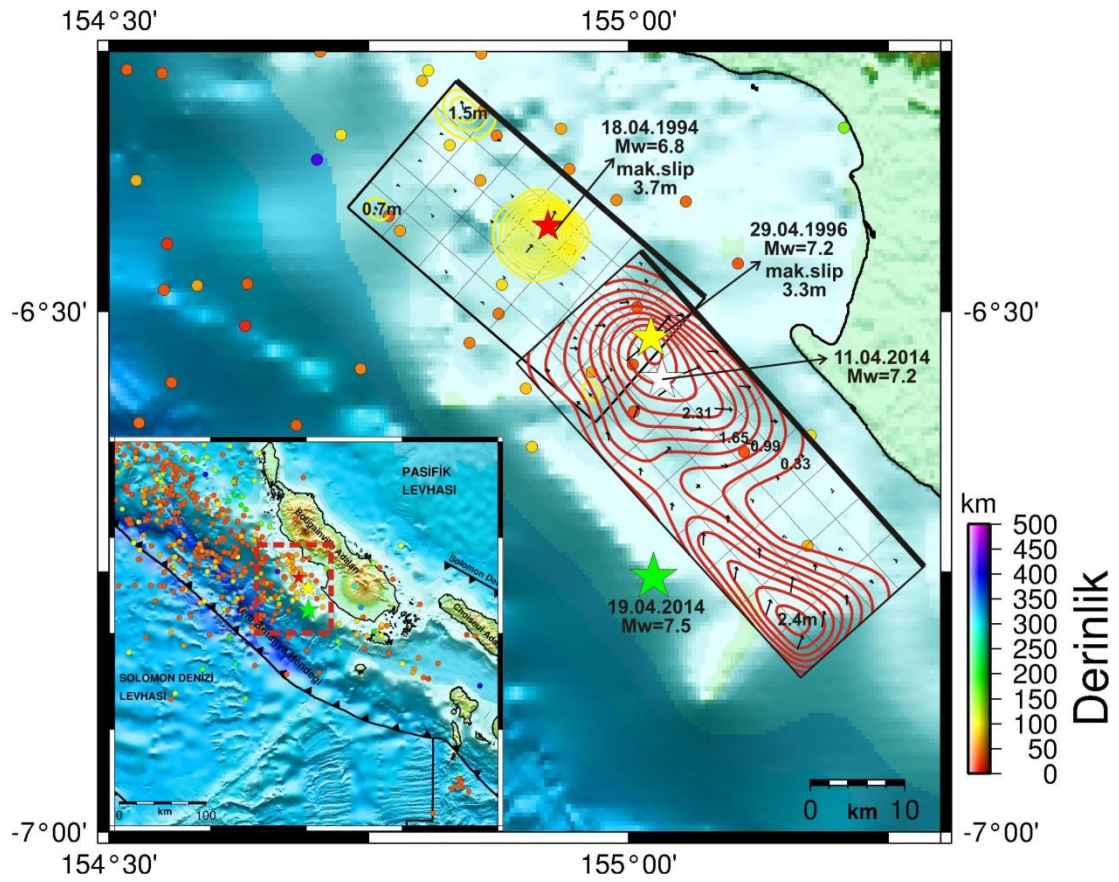


Şekil 3.36. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.20.'deki Model M15 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.37. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M15 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

29 Nisan 1996 Solomon Adaları depreminin Şekil 3.36.'da verilen kayma dağılımının harita projeksiyonu ve 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminin kayma dağılım modeli (Şekil 3.17.) ile birlikte Şekil 3.38.'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere 1994 depreminin kayma olmayan dağılımının GD uç kesimi 1996 depreminin büyük pürüzünün KB yarısı ile örtüşmektedir. Dolayısıyla, 1996 depremi kırılması 1994 depremi ile başlayan levhalar arası bölgenin kırılmasının GD'ya ilerlemesini temsil etmektedir. Bir sonraki adımda incelenecek olan 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) bu ilerleyişin bir durumu olaark düşünülebilir.

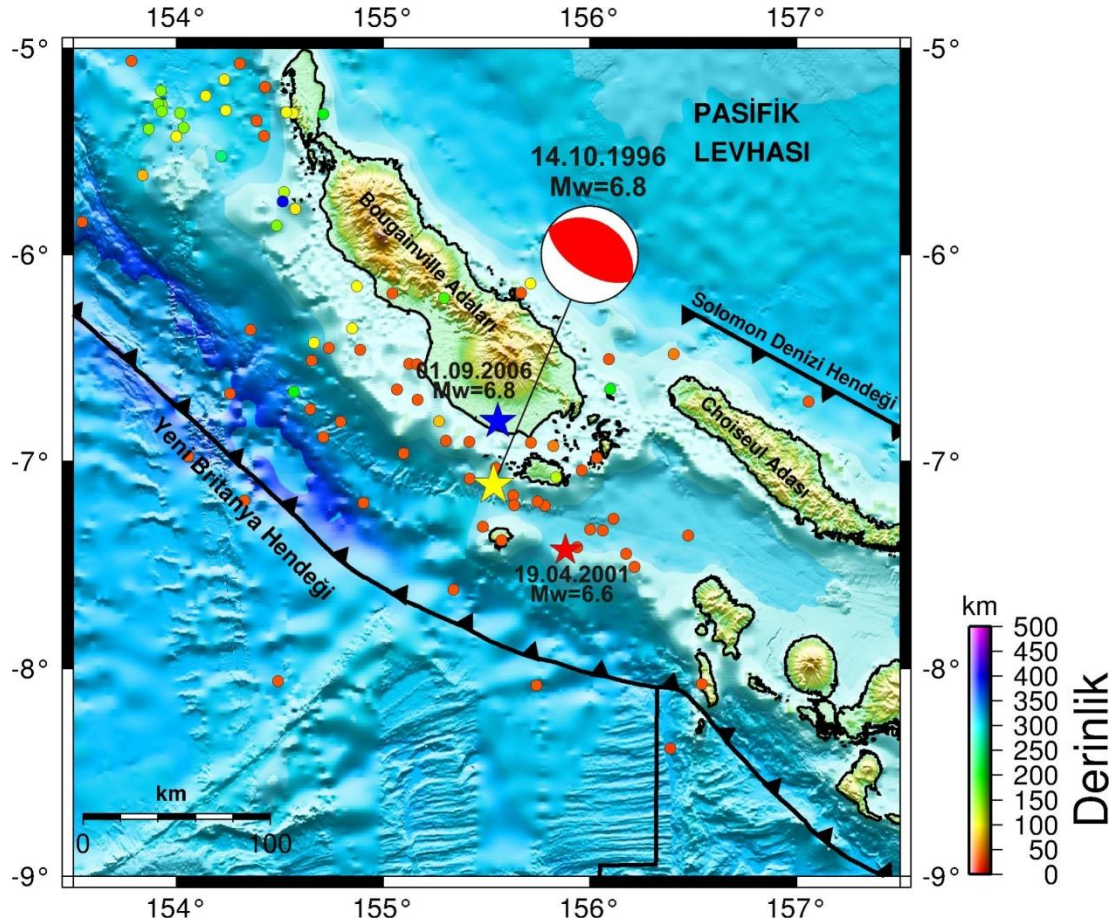


Şekil 3.38. 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depreme yakın bir konumda meydana gelmiş 14 Nisan 1994 Solomon Adaları depreminde kayma dağılımı şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 18 Nisan 1994 Solomon Adaları depremi ile 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi arasındaki zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 29 Nisan 1996 depremi için kayma dağılımı konturları (kırmızı çizgi) 0.33 m, 18 Nisan 1994 depremi için kayma dağılımı konturları (sarı çizgi) 0.37 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.7. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.7.1. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ )

14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) Yeni Britanya Hendeği doğu kenarında Bougainville adalarının güneyinde meydana gelmiştir. Bu deprem bölgede hakim olan dalma-batma zonu kuşağı nedeniyle tipik bir düşük açılı bindirme karakterli bir depremdir (Şekil 3.39.). Bu depremin ardından kaynak bölgesi civarında 19 Nisan 2001 ve 01 Eylül 2006 Solomon Adaları depremleri meydana gelmiştir. Toplamda bu üç depremin birbirleriyle olan etkileşimleri bu çalışma içinde irdelenecek ve detaylı bir şekilde analizleri yapılacaktır.



Şekil 3.39. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi dış merkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)' dan alınmıştır. Şekildeki daireler ana şoktan sonra 6 aylık zaman dilimi boyunca meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı depremleri ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı depremlerin odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için ISC-GEM projesi sonucu ortaya çıkan odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Bu depremin çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri Tablo 3.21.'de derlenmiştir.

Tablo 3.21. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
23:26:20.01	-7,133	155,680	31	9,8	299	37	72	USGS-NEIC
23:26:32.40	-7,230	155,510	19	16,7	302	31	90	HRV-GCMT

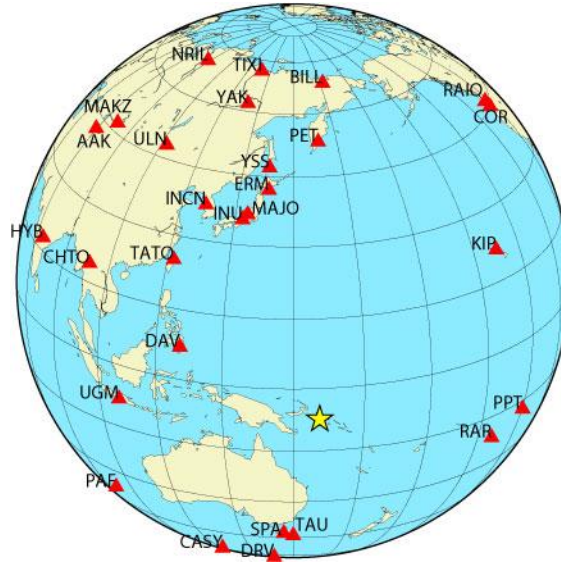
### 3.2.7.2. Kullanılan telesismik veri

14 Ekim 1996 Solomon Adaları ( $M_w \approx 6.8$ ) depreminin modellenmesi için 27 istasyonda kaydedilmiş P dalga şekli ve 14 istasyonda kaydedilmiş SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekli kullanılmıştır. Dalga şekillerinin alındığı kayıt istasyonları Tablo 3.22.'de listelenmiş ve azimutal dağılımları Şekil 3.40'da gösterilmiştir. İlk olarak ters çözümde kullanılacak P ve SH dalga şekillerinin alet etkisi giderilmiş ve gürültü seviyesi göz önünde bulundurularak 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Örnekleme aralığı ise 0.5 sn olarak alınmıştır. Deprem büyüklüğü göz önüne alınarak ters çözümde kullanılacak P dalga şekillerinin uzunluğu 40 sn ve SH dalga şekillerinin uzunluğu 50 sn olarak kabul edilmiştir.



Tablo 3.22. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimet( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	2,17	60,26	P, SH
BILL	68,07	166,45	4,19	75,65	P
RAIO	46,04	-122,89	42,37	89,39	P
COR	44,59	-123,30	44,74	88,82	P
KIP	21,42	-158,01	56,74	53,81	P, SH
PPT	-17,57	-149,58	106,49	54,44	P
RAR	-21,21	-159,77	112,84	45,36	P, SH
SPA	-90,00	115,00	180,00	82,81	P
DRV	-66,66	140,00	187,00	60,43	P, SH
TAU	-42,91	147,32	190,13	36,45	P, SH
CASY	-66,28	110,54	198,05	66,62	P, SH
PAF	-49,35	70,21	221,03	81,51	P
UGM	-7,91	110,52	266,00	44,59	P
HYB	17,42	78,55	289,21	79,86	P
DAV	7,07	125,58	294,87	33,09	P, SH
CHTO	18,81	98,94	295,99	61,51	P, SH
AAK	42,64	74,49	313,37	88,33	P
TATO	24,97	121,5	315,31	46,16	P, SH
MAKZ	46,81	81,98	318,72	84,19	P
ULN	47,87	107,05	327,40	69,60	P
INCN	37,48	126,62	330,95	52,17	P, SH
INU	35,35	137,03	338,91	45,96	P, SH
MAJO	36,55	138,20	340,80	46,65	P, SH
NRIL	69,50	88,44	341,19	88,96	P
YAK	62,03	129,68	347,59	72,04	P
ERM	42,02	143,16	348,10	50,48	P, SH
TIXI	71,63	128,87	350,77	80,75	P
YSS	46,96	142,76	349,44	55,31	SH



Şekil 3.40. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.7.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin sonlu fay özellikleri belirlenirken depremin Yeni Britanya Hendeği'nde olduğu göz önünde bulundurularak model tasarımına geçilmiştir. Tablo 3.21.'den HRV-GCMT çözümünde elde edilen doğrultu ( $302^\circ$ ), eğim ( $31^\circ$ ) ve rake ( $90^\circ$ ) açıları model fay düzlemini tanımlamada kullanılmıştır. Odak lokasyonu ( $7.111^\circ\text{G} - 155.534^\circ\text{D}$  ve 25.0 km) ISC-GEM' den alınarak 45 km x 20 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi belirlenmiştir (Şekil 3.41.). Model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında doğrultu boyunca 9 ve eğim boyunca 4 olmak üzere 36 fay parçasına bölünmüştür (Şekil 3.41.). Deprem odağının model fay üzerindeki konumu yapılacak ters çözüm denemeleriyle tespit edilmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.41. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 36 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, GD ve KB kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 7.5 km, 2.5 km ve 42.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmaktadır.

Modellemede başlangıç olarak kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmış ve ters çözüm denemelerinde çeşitli hızlar denenerek en uygun kırılma hızı ( $V_r$ ) elde edilmeye çalışılmıştır. Fay parçalarının her birinde kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süre ile ve birbiriyle örtüşen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Bu durumda model fay düzlemi üzerinde her bir noktada 7 sn'lik bir toplam kayma süresine imkân verilmiştir.

#### 3.2.7.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Blaser ve ark. (2010) tarafından okyanusal kabukta meydana gelmiş depremler için ortaya koyulan ampirik bağıntı doğrultusunda 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin fay uzunluk ve genişlikleri sırasıyla 25 km x 20 km olarak bulunmuştur (Tablo 3.23., Model M1). Model M1 denemesi üzerine yapılan ters çözüm işlemi sonucunda faylanma alanı derinlik boyutunda nispeten olumlu sonuçlar ortaya koysa da doğrultu boyunca kayma dağılımı tam ortaya çıkmamıştır. Bu nedenle doğrultu boyunca fay uzunluğu genişletilmiş ve Model M2 oluşturulmuştur. Modellemeler sonucu fay boyutları nispeten olumlu sonuçlar vermiştir. Odağın doğrultu ve derinlik boyunca yeri ile ilgili tespit için ise M3, M4 ve M5 denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda odağın GD kenarına yakın olduğu modelde üretilen yapay dalagaların gözlenmiş verilere daha iyi uyum verdiği gözlemlenmiştir (Tablo 3.23.). M5 ters çözüm denemesi sonucu KB kenarlarına doğru sıkışan 1 m'lik kayma değerine sahip bir pürüzün rahatlatılması için model fay KB'ya doğru uzatılarak Model M6 oluşturulmuştur. Bunun sonucunda pürüz rahatlatılmış ve boyutları tam olarak ortaya çıkarılmıştır.

Kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti için 2.5 ile 3.5 km/sn hızları içeren çok sayıda model denemesi yapılmıştır (Tablo 3.23.) Tüm bunların sonucunda 2.5 km/sn kırılma hızına ( $V_r$ ) sahip M6 modeli en akla yatkın ve tatmin edici sonuçları içermesi nedeniyle final çözümü olarak kabul edilmiştir (Tablo 3.23.). En uygun çözüm tespit edilirken sadece hata miktarları değil de elde edilen kayma dağılımının fiziksel olarak uygunluğunun da gözetildiği hatırlatılmalıdır.

Tablo 3.23. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

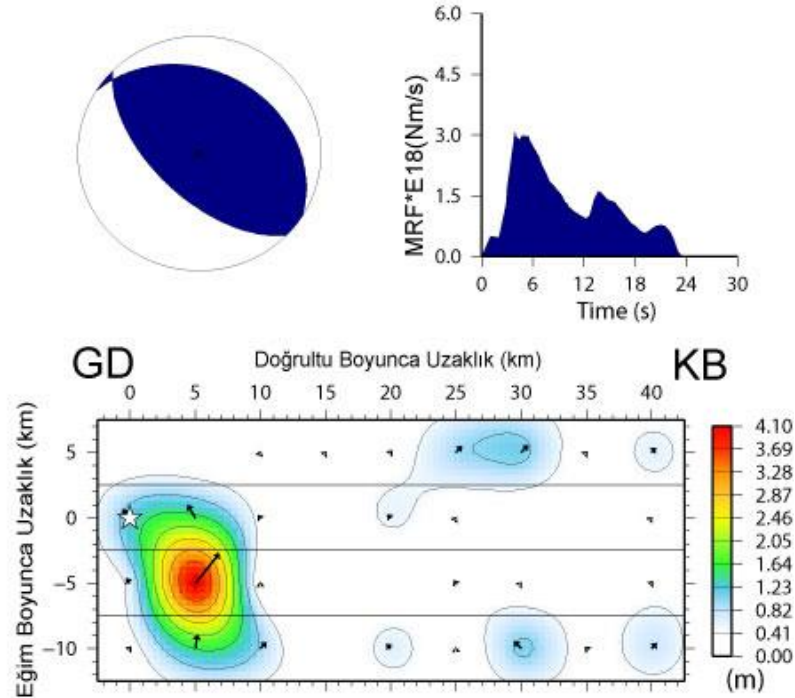
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> N <sub>o</sub>					
M1	25	20	20	5x5	3-2	3,0	83,2	1,467	0,35929	2,9
M2	40	20	32	5x5	4-2	3,0	83,5	1,778	0,31297	2,4
M3	40	20	32	5x5	8-2	3,0	82,7	2,618	0,22258	2,6
M4	40	20	32	5x5	1-2	3,0	82,9	2,114	0,27617	3,4
M5	40	20	32	5x5	1-3	3,0	84,6	2,049	0,27289	3,6
M6	45	20	36	5x5	1-3	2,5	79,3	2,392	0,24421	4,1
M7	45	20	36	5x5	1-3	2,6	79,9	2,338	0,24788	4,3
M8	45	20	36	5x5	1-3	2,7	80,6	2,519	0,25198	4,2
M9	45	20	36	5x5	1-3	2,8	81,1	2,237	0,25596	4,0
M10	45	20	36	5x5	1-3	2,9	81,8	2,187	0,25930	3,8
M11	45	20	36	5x5	1-3	3,1	82,7	2,671	0,26712	3,4
M12	45	20	36	5x5	1-3	3,2	83,8	2,073	0,27170	3,2
M13	45	20	36	5x5	1-3	3,3	84,3	2,033	0,27614	2,9
M14	45	20	36	5x5	1-3	3,4	84,9	1,944	0,28042	2,5
M15	45	20	36	5x5	1-3	3,5	85,3	1,952	0,28562	2,0

Model M6 ters çözüm denemesi sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeli Şekil 3.42.'de gösterilmiştir. Bu model için hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.43.'de karşılaştırılmıştır. Dalga şekilleri arasındaki uyumun yeterince tatmin edici olduğu gözlemlenmektedir. Deprem esnasında açığa çıkan sismik moment ( $M_o$ )  $2.392 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.96$ ) ve ortalama kayma açısı  $73^\circ$  bulunmuştur. Şekil 3.42.'de verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının yaklaşık 10-15 km çaplı, en büyük kayma genliği 4.1 m olan ve odağın eğim aşağısı ve KB 'sına doğru yerleşmiş kabaca dairesel bir pürüzün kırılması ile kontrol edildiği görülmektedir. Bu büyük pürüzün KB'sında yüzey ve derinde yerleşmiş yaklaşık 1 m'lik ve 0.5 m'lik ikincil kayma alanları bulunmaktadır. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde bu ikincil kaymaların varlığı 4.1 m'lik büyük pürüze göre küçük de olsa kendini hissettirmektedir. Moment boşalım fonksiyonundan kırılmanın yaklaşık olarak 23 sn sürdüğü gözlemlenmektedir.

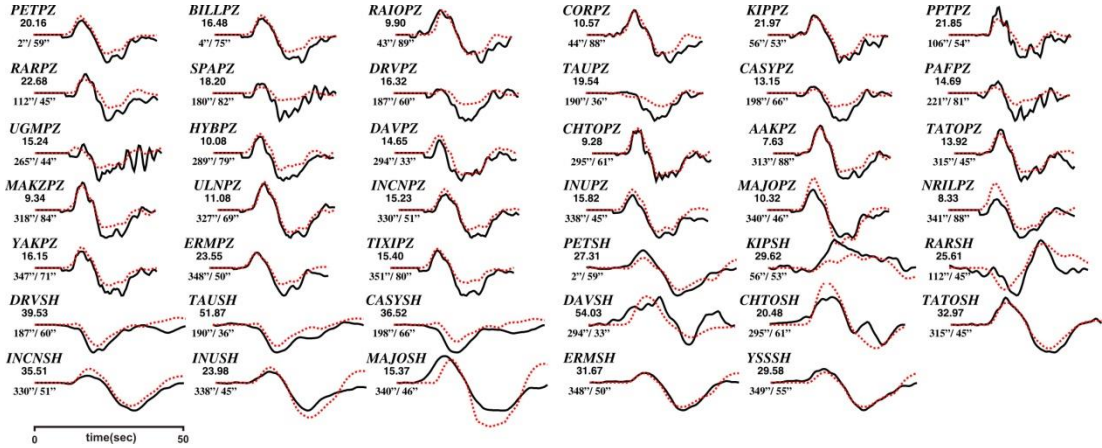


## 14 Ekim 1996 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.2392E+20$ (Nm),  $M_w = 6.9$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (302.0, 31.0, 79.3, 25.0)



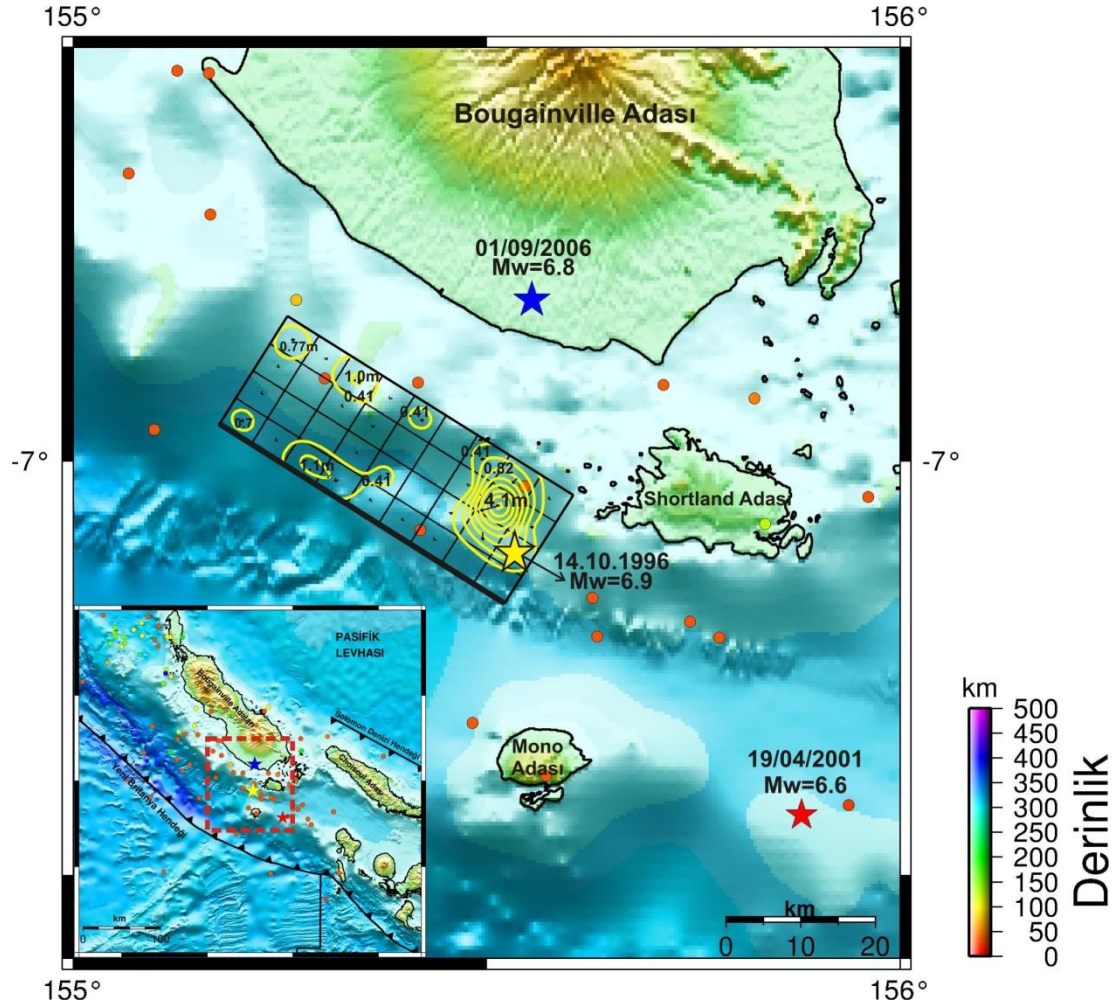
Şekil 3.42. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.23.'deki Model M6 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.43. 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M6 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin kayma dağılım konturlarının harita iz düşümü Şekil 3.44.'de verilmiştir. Depremden sonra 6 aylık süre içerisinde meydana

gelen artçı dağılımlar incelendiğinde bu depremlerin kırılma düzlemi üzerine pek düşme dikleri görülebilir.





16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depreminin sonlu-fay özelliklerinin incelenmesinde ISC-GEM projesinden elde edilen odak lokasyonu kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Depremin çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri Tablo 3.24.'de listelenmiştir.

Tablo 3.24. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
00:51:20.46	-4.751	152,486	73,7	40,0	252	33	85	USGS-NEIC
00:51:32.10	-4.990	152,760	42,0	45,0	262	28	96	HRV-GCMT

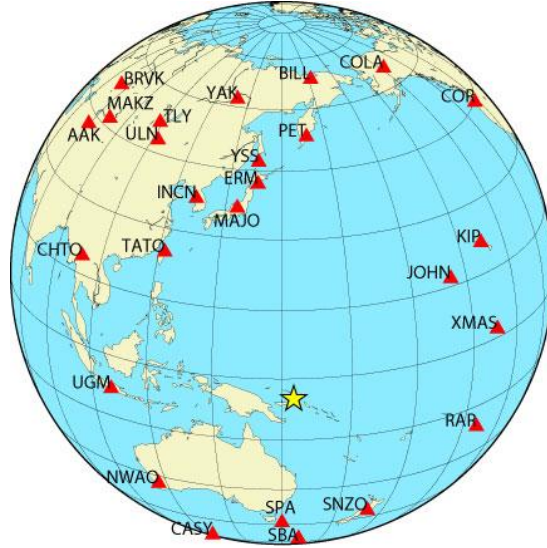
### 3.2.8.2. Kullanılan telesismik veri

16 Mayıs 1999 Yeni Britanya ( $M_w \approx 7.0$ ) depreminin modellenmesi amacıyla 25 istasyonda kaydedilmiş P ve 11 istasyonda kaydedilmiş SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekli kullanılmıştır. Kullanılan istasyonlar listesi Tablo 3.25.'de listelenmiş ve istasyonların küresel dağılımları Şekil 3.46.'de gösterilmiştir. Ters çözüm işlemi için P ve SH dalga şekillerinin alet etkisi giderilmiş, gürültü seviyeleri göz önünde bulundurularak 0.01 - 1.0 Hz frekans aralığında bant geçişli Butterworth filtresi uygulanmış ve 0.5 sn örnekleme aralığı ile örneklenmiştir. Depremin büyüklüğü ve dalga şekillerinin görsel incelenmesi sonucunda ters çözümde kullanılacak P ve SH dalga şekillerinin kayıt uzunluğu 70 sn olarak seçilmiştir.



Tablo 3.25. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	4,36	57,99	P, SH
BILL	68,07	166,45	5,39	73,45	P
COLA	64,87	-147,86	21,71	82,00	P
COR	44,59	-123,30	45,12	89,20	P
JOHN	16,73	-169,53	59,35	43,23	P
KIP	21,42	-158,01	59,68	55,07	P, SH
RAR	-21,21	-159,77	114,12	49,10	P
SNZO	-41,31	174,70	145,7	41,62	P
SBA	-77,85	166,76	176,9	73,51	P
SPA	-90,00	0	180,00	85,27	P
CASY	-66,28	110,54	196,86	68,06	P
NWAO	-32,93	117,24	224,96	43,29	P, SH
UGM	-7,91	110,52	263,42	41,83	P
CHTO	18,81	98,94	295,78	57,74	P, SH
AAK	42,64	74,49	313,70	84,46	P
TATO	24,97	121,5	316,08	42,31	P, SH
MAKZ	46,81	81,98	319,12	80,37	P
BRVK	53,06	70,28	323,45	89,13	P
ULN	47,87	107,05	328,42	65,93	P, SH
TLY	51,68	103,64	330,21	70,01	P
INCN	37,48	126,62	332,50	48,59	P, SH
MAJO	36,55	138,20	343,21	43,39	P, SH
YAK	62,03	129,68	348,77	69,02	P
ERM	42,02	143,16	350,59	47,51	P, SH
YSS	46,96	142,76	351,62	52,40	P
XMAS	2,04	-145,45	83,41	50,47	SH
UGM	-7,91	110,52	263,42	41,83	SH



Şekil 3.46. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.8.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depreminin Şekil 3.45.'de verilen kaynak mekanizma çözümünde KB eğimli düzlem (doğrultu  $262^\circ$ , eğim  $28^\circ$  ve rake  $96^\circ$ ) hendeğin geometrisiyle uyum sergilendinden fay düzlemi olarak seçilmiştir (Tablo 3.24.). 55 km x 25 km'lik bir kırılma düzlemi deprem faylanmasını temsil için seçilmiş ve ISC-GEM odak lokasyonu ( $4.728^\circ\text{G} - 152.514^\circ\text{D}$  ve 45.0 km) dikkate alınarak deprem kaynak bölgesine oturtulmuştur (Şekil 3.47.). Deprem odağının model fay düzlemi üzerindeki konumu ters çözüm denemelerinde belirlenmeye çalışılmıştır. Kaymanın uzaysal dağılımı için model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 55 fay parçasına (doğrultu boyunca 11 ve eğim boyunca 5 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.47.).



Şekil 3.47. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 55 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KD ve GB kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 7.5 km, 7.5 km ve 47.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Ters çözümde başlangıç olarak kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Daha sonra ki ters çözüm denemelerin de kırılma hızının ( $V_r$ ) 2.5 ile 3.0 km/sn arasında değiştiği modellemelerle kırılma hızına karar verilmiştir. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 8 üçgen zaman fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Bunun sonucunda model fay düzlemi üzerinde 9 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn'den daha küçük kırılma hızlarına olanak sağlanmıştır.

#### 3.2.8.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Boyutları amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) hesaplanan bir fay modeli içeren Model M1 ilk ters çözüm denemesini oluşturmuştur (Tablo 3.26.) Model M1 sonuçları incelendiğinde kaymanın faylanma alanının köşelerine sıkışmış olduğu gözlemlenmiştir. Aynı boyutlar kullanılarak deprem odağı faylanma alanının her iki kenarına doğru kaydırılarak denemeler yapılmış fakat yine de kayma dağılımını fiziksel olarak ortaya koymakta güçlüklerle karşılaşmıştır. Fay boyutları hem derinlik hem de doğrultu boyunca genişletilerek oluşturulan Model M2 ile yapılan denemede (Tablo 3.26.) faylanma bölgeleri yine köşelere sıkışmış olarak karşımıza çıkmıştır. Kayma alanını içerebilmek için aynı faylanma boyutlarıyla depremin odağı GB kenarına (Model M3) ve KD kenarına (Model M4) kaydırılarak ters çözüm denemeleri yapılmıştır (Model M3). Model M4 denemesinden olumlu sonuç elde edilmiştir. Model M5 ile odak KD kenarında bir fay parçası kadar içe kaydırılmış ve Model M6 ters çözüm denemesi ile faylanma boyutu derinlik anlamında bir fay parçası kısaltılarak depremin kayma dağılımını tatmin edici bir şekilde ortaya çıkarılmıştır (Tablo 3.26.). Sonraki yapılan ters çözüm denemelerinde ise farklı kırılma hızları ( $V_r$ ) denenmiş ve yapılan bu denemeler sonucunda kırılma hızının 3.5 km/sn olduğu M13 modelinin gözlenmiş veriyen en iyi uyumu sağlayan yapay sismogramları ürettiği görülmüştür.

Tablo 3.26. 16 Mayıs 1996 Yeni Britanya Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> N <sub>o</sub>					
M1	35	25	35	5x5	4-3	3,0	91,0	26,88	0,28243	7,2
M2	55	30	66	5x5	6-3	3,0	96,3	35,96	0,22947	7,7
M3	55	30	66	5x5	11-3	3,0	96,8	41,26	0,23473	3,2
M4	55	30	66	5x5	1-3	3,0	96,0	43,22	0,19973	4,6
M5	55	30	66	5x5	2-3	3,0	96,0	42,79	0,19868	4,6
M6	55	25	55	5x5	2-4	3,0	96,9	34,36	0,24691	4,0
M7	55	25	55	5x5	2-4	2,5	92,4	34,40	0,26087	2,7
M8	55	25	55	5x5	2-4	2,6	96,9	34,81	0,24818	3,2
M9	55	25	55	5x5	2-4	2,7	96,8	34,60	0,24803	2,9
M10	55	25	55	5x5	2-4	2,8	96,9	34,50	0,24796	3,0
M11	55	25	55	5x5	2-4	2,9	96,5	34,46	0,24785	3,5
M12	55	25	55	5x5	2-4	3,1	97,0	34,33	0,24614	4,4
M13	55	25	55	5x5	2-4	3,2	97,1	39,43	0,19472	3,1
M14	55	25	55	5x5	2-4	3,3	96,9	39,11	0,19613	3,1
M15	55	25	55	5x5	2-4	3,4	96,8	38,74	0,19480	3,0
M16	55	25	55	5x5	2-4	3,5	96,7	38,81	0,19486	3,1

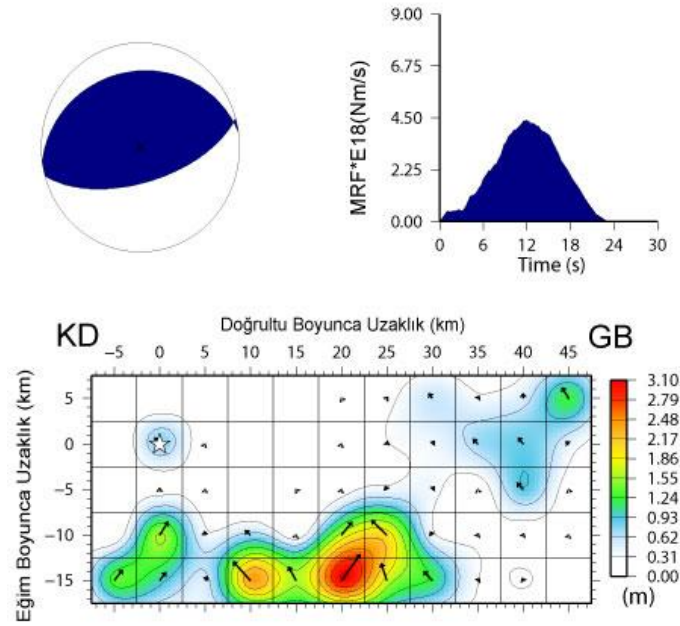
Model M13 ters çözüm denemesi sonucu elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.48.'de gösterilmiştir. M13 modeli için hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.49.'da karşılaştırılmıştır. Hesaplanan ve gözlenmiş dalga şekilleri arasındaki uyum sonuçların güvenilirliği açısından ikna edicidir. Deprem esnasında serbestlenen serbestlenen toplam sismik moment ( $M_o$ ) ve rake açısı sırasıyla  $3.943 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.0$ ) ve  $97^\circ$  olarak elde edilmiştir. Derinlik boyunca alt yarıda ve doğrultu boyunca KD yarıda toplanan 40 km x 10 km'lik kayma alanı Şekil 3.48.'de verilen kayma dağılım modelinin en vurucu özelliğidir. Odakta kayma 8.8 m'lik değeri ile göreceli olarak küçüktür. Asıl kayma bölgesinde üç fay pürüzü uzaysal olarak tanımlanabilir. Bu pürüzlerden en GB'da yer alanında en büyük kayma (3.1 m) gözlenmiştir. GB kenarında üst köşede sıkışan yaklaşık 1m'lik kayma değeri bulunan pürüz faylanma alanı boyutları artırılarak ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Fakat tüm denemelerde bu bölgede köşeye sıkışan bir pürüz bulunmaktadır. Moment boşalım grafiği incelendiğinde ilk bakışta depremin tek bir



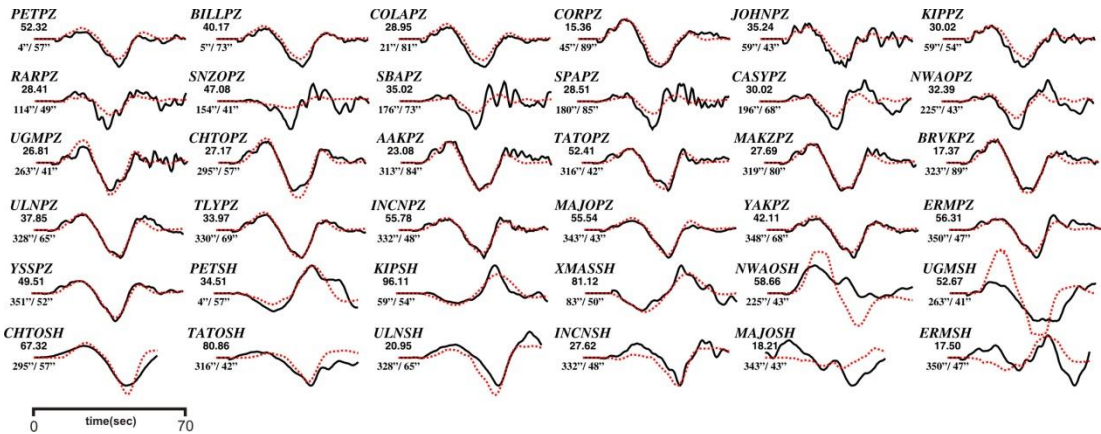
pürüzün kırılması sonucu gerçekleştiği gibi bir izlenim elde edilebilir. Ancak, kaymanın uzaysal dağılımı bu durumun pürüzlerin kırıldığı zaman aralıklarının örtüşmesi sonucu olduğunu önermektedir. Moment boşalımı başlangıcındaki “omuz” şekli muhtemelen kırılmanın odaktaki çekirdeklenmesini yansıtmaktadır.

### 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya Depremi

Moment =  $0.3943E+20$ (Nm),  $M_w = 7.0$   
(Strike,Dip,Slip,h) = (262.0, 28.0, 97.1, 45.0)

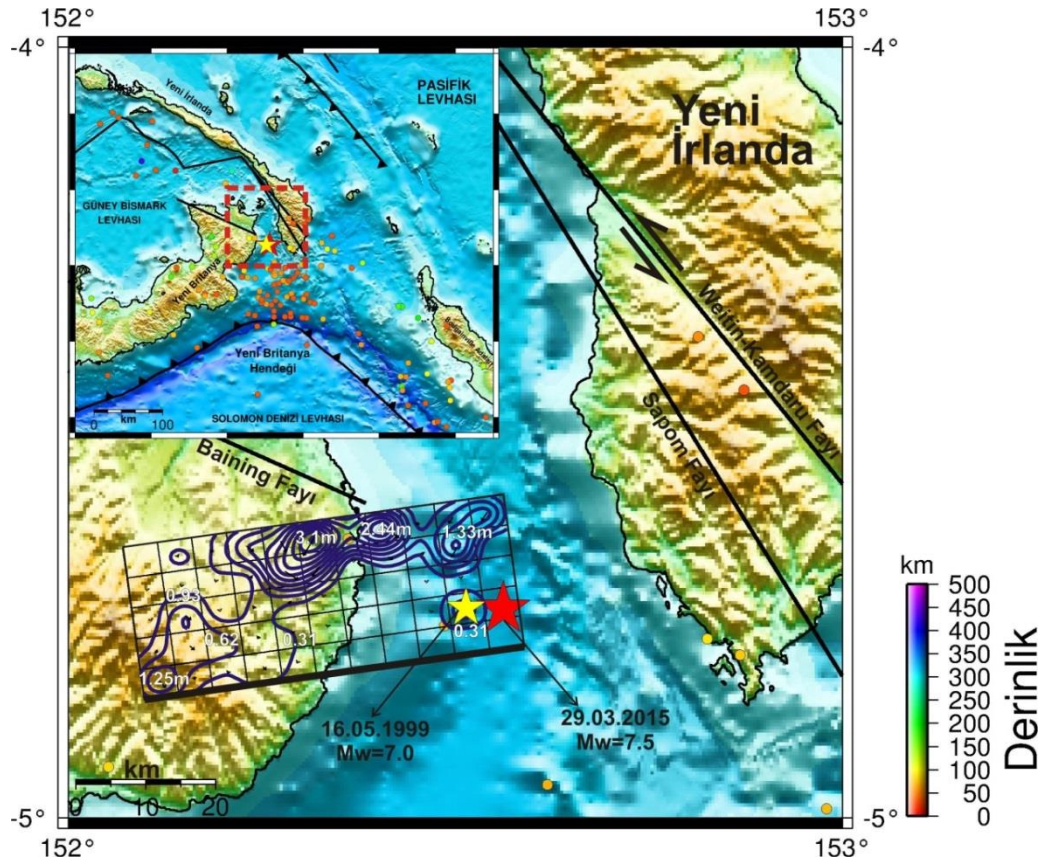


Şekil 3.48. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.26.’daki Model M13 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.49. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model 13 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

Elde edilen kayma dağılımı konturları harita iz düşümü Şekil 3.50.'de gösterilmiştir. Bu şekil elde edilen kayma dağılım modelinin iki açıdan fiziksel olarak mantıklı olduğunu göstermektedir. Kırılmanın GB'ya doğru tek taraflı ilerlemesi makuldür. Çünkü, odağın olduğu bölgede hendeğin doğrultusu değişmektedir. Dolayısıyla geometrik bir süreksizlik oluşturmaktadır. İkincisi ise odağın hemen doğusunda 29 Mart 2015 depremi ( $M_w=7.5$ ) kırılmasının meydana gelmesidir (bkz Bölüm 3.2.26).



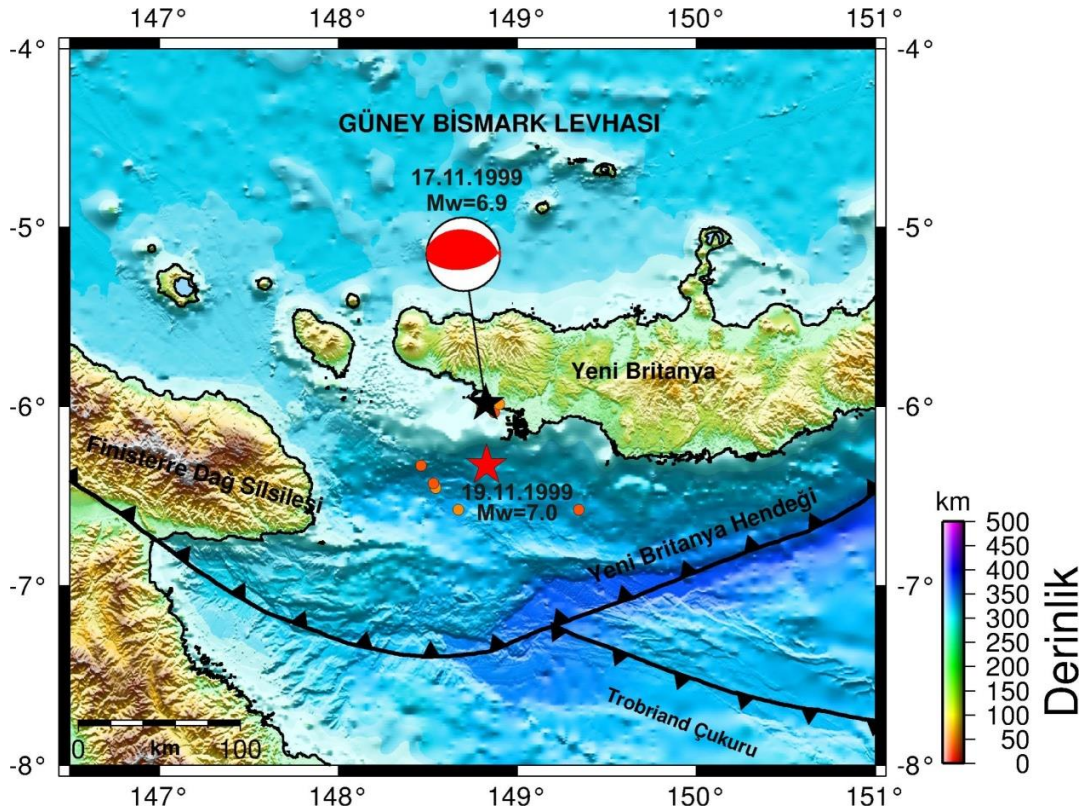
Şekil 3.50. 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler anaşok sonrası 6 aylık zaman zarfında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 16 Mayıs 1999 depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.31 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.9. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.9.1. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 6.9$ )

17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) Yeni Britanya Hendeğinin ve Yeni Britanya adasının batı kenarında Yeni Britanya Hendeği'nin Trobriand Çukuru ile kesiştiği yerin kuzeyinde meydana gelmiştir (Şekil 3.51.). Deprem tipik bir dalma-

batma zonu depremi olması nedeniyle bindirme karakterli bir depremdir. Bu depremden yaklaşık iki gün sonra aynı bölgede ve bu depremin odağının yaklaşık 50 km kadar güneyinde 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi ( $M_w \approx 7.0$ ) meydana gelmiştir (Şekil 3.51.). İki deprem arasında meydana gelen az sayıda artçı depremin sonraki depremin odağı civarında toplanmış olması bu iki deprem arasında bir gerilme etkileşiminin olası olduğunu önermektedir.



Şekil 3.51. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi dış merkez lokasyonu (siyah yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 17 Kasım 1999 ve 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçışokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı depremlerin odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

17 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin modellenmesinde ISC-GEM projesi sonucu elde edilen dış merkez koordinatları kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Depremin çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri Tablo 3.27.'de derlenmiştir.

Tablo 3.27. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
00:51:20.46	-4,751	152,486	73,7	40,0	275	43	94	USGS-NEIC
00:51:32.10	-4,990	152,760	42,0	45,0	279	35	103	HRV-GCMT

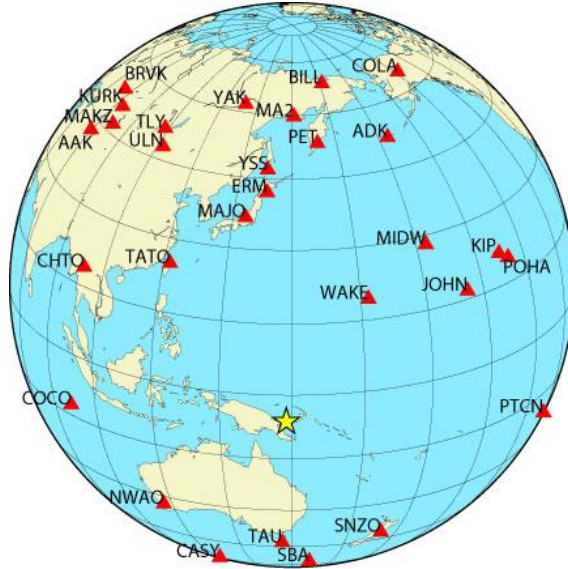
### 3.2.9.2. Kullanılan telesismik veri

Depremin modellenmesinde 28 istasyonda kaydedilmiş P ile 5 istasyonda kaydedilmiş SH geniş-bant yer değiştirme dalga şekli kayıtları kullanılmıştır. Ters çözüm işlemlerinde kullanılan istasyonların listesi Tablo 3.28.'de verilmiştir. Özellikle KB kadranında toplanmış olmalarına rağmen bu istasyonlar odak etrafında azimutal çevreleme sağlamaktadır (Şekil 3.52.). Kullanılan P ve SH dalga şekillerinin alet etkisi giderildikten sonra veriler 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanarak filtrelenmiştir. Bu işlemlerden sonra veriler 0.5 sn örnekleme aralığı ile örneklenmiştir. Depremin büyüklüğü ve verilerin sinyal içeriği göz önüne alınarak P dalga şekillerinin modellenebilmesi için 50 sn'lik kayıt uzunluğunun ve SH dalga şekillerinin modellenebilmesi için ise 60 sn'lik kayıt uzunluğunun sonlu-fay ters çözümünde kullanılmasına karar verilmiştir.



Tablo 3.28. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

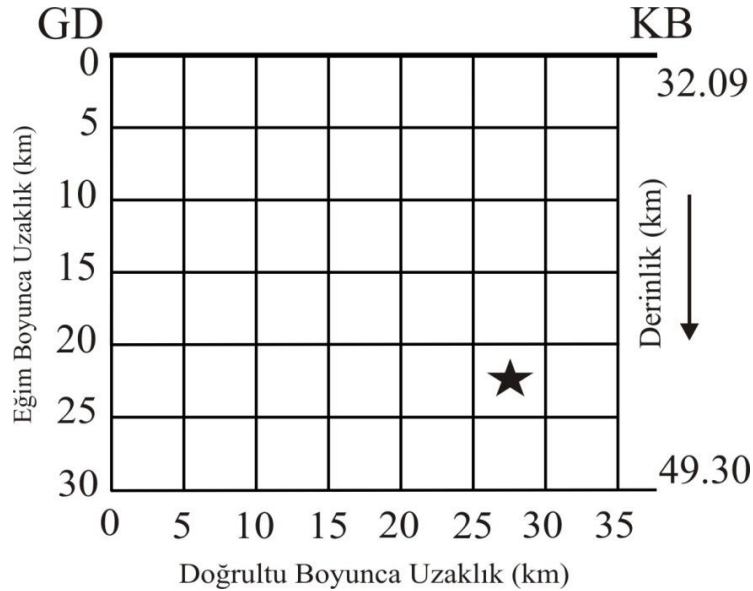
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimet( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
MA2	59,58	150,77	1,13	5,63	P
BILL	68,07	166,45	6,75	75,15	P
PET	53,02	158,65	6,89	59,65	P
COLA	64,87	-147,86	22,42	84,61	P
ADK	51,88	-176,68	22,74	64,99	P,SH
WAKE	19,28	166,65	34,48	30,86	P
MIDW	28,22	-177,37	41,93	47,34	P
JOHN	16,73	-169,53	60,45	47,12	P
KIP	21,42	-158,01	60,51	58,97	P
POHA	19,76	-155,53	63,26	60,56	P
PTCN	-25,07	-130,1	114,44	79,47	P
SNZO	-41,31	174,7	150,67	42,19	P
SBA	-77,85	166,76	176,08	72,43	P
TAU	-42,91	147,32	181,73	36,9	P
CASY	-66,28	110,54	195,83	65,76	P
NWAO	-32,93	117,24	223,3	39,75	P
CHTO	18,81	98,94	298,04	54,99	P,SH
AAK	42,64	74,49	314,45	82,68	P
MAKZ	46,81	81,98	320,15	78,93	P
TATO	24,97	121,5	320,57	40,79	P,SH
KURK	50,72	78,62	323,08	82,37	P
BRVK	53,06	70,28	323,9	87,96	P
ULN	47,87	107,05	330,55	65,15	P,SH
TLY	51,68	103,64	332,01	69,34	P
MAJO	36,55	138,20	347,73	43,71	P
YAK	62,03	129,68	350,60	69,64	P,SH
ERM	42,02	143,16	354,45	48,32	P
YSS	46,96	142,76	354,91	53,26	P



Şekil 3.52. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.9.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi kırılma alanı 30 km x 35 km'lik bir model fay düzlemi ile temsil edilmiştir. Model fayın faylanma parametreleri HRV-GCMT çözümünden (doğrultu 279°, eğim 35° ve rake 103°) alınmıştır (Tablo 3.27.). KD eğimli düğüm düzlemi hendeğin depremin odağının olduğu yerdeki geometrisi ile uyumludur. ISC-GEM lokasyonu (5.982°G - 148.825°D ve 45.0 km) dikkate alınarak model fay deprem kaynak bölgesine yerleştirilmiştir. Model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 42 fay parçasına (doğrultu boyunca 7 ve eğim boyunca 6 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.53.). Deprem odağının model fayın kenarlarına olan uzaklıkları yapılacak olan ters çözüm denemelerinde tespit edilmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.53. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 42 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 22.5 km, 7.5 km ve 27.5) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Modellemede başlangıç olarak giriş dosyasına kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak girilmiştir. Daha sonra yapılan denemelerle en uygun kırılma hızı belirlenmeye çalışılacaktır. Fay parçalarının her birinde kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreyle birbiriyle örtüşen 7 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Bu durumda model fay düzlemi üzerinde 8 sn'lik bir toplam kayma süresine imkân verilmiştir.

#### 3.2.9.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) belirlenen fay boyutları (30 km x 20 km) ile yapılan ters çözüm denemesinde (Tablo 3.29.'da Model M1) boyutların yetersiz kaldığı görülmüştür. Doğrultu ve eğim boyunca bir fay parçası olacak şekilde boyutlar arttırılmış ve Model M2 oluşturulmuştur (Tablo 3.29.). Model M2 ile yapılan ters çözüm sonucunda nispeten olumlu sonuçlar yakalanmış ve odağın model fay düzlemi üzerindeki yeri konusunda iki ters çözüm denemesi odağın KB ve GD kenarlarına yakın olduğu Model M3 ve M4 denemeleri sırasıyla yapılmıştır. Bu denemeler neticesinde odağın KB kenarında bulunduğu bir deneme olan Model M4 denemesinde daha tatmin edici sonuçlar ortaya çıkmıştır. Faylanma alanının yüzey kısmında sıkışmış durumda bulunan kayma bölgesinin rahatlatılması için fay boyutları eğim boyunca bir fay parçası daha genişletilmiş ve aynı zamanda odak eğim boyunca bir fay parçası kadar derine alınmıştır (Model M5). Model M5 denemesi sonucu yüzeyde sıkışan kayma bölgesi rahatlatılmıştır. Aynı zamanda odağın bir fay parçası derine indirildiği pozisyon korunarak doğrultu boyunca faylanma alanının orta ve GD kısımlarında ters çözüm denemeleri yapılmıştır (sırasıyla Model M6 ve M7). Fakat ortaya çıkan hata miktarı ve kayma alanlarının fiziksel durumları Model M5'de ortaya çıkan sonuçların daha uygun olduğunu önermektedir.

Tüm bu denemeler sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti için hızların 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değiştiği bir çok ters çözüm denemesi yapılmıştır. Yapılan bu denemeler neticesinde kırılma hızının ( $V_r$ ) 2.5 km/sn olduğu ters çözüm denemesi M8 final çözümü olarak kabul edilmiştir (Tablo 3.29.).

Tablo 3.29. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	30	20	24	5x5	3-2	3,0	99,9	2,343	0,25192	3,9
M2	35	25	35	5x5	4-3	3,0	95,3	2,402	0,24751	4,3
M3	35	25	35	5x5	2-3	3,0	95,0	2,586	0,24939	4,2
M4	35	25	35	5x5	6-3	3,0	94,5	2,646	0,24109	4,1
M5	35	30	42	5x5	6-2	3,0	93,2	2,830	0,22883	3,5
M6	35	30	42	5x5	4-2	3,0	94,6	2,672	0,23263	3,6
M7	35	30	42	5x5	2-2	3,0	94,2	2,830	0,22990	3,7
M8	35	30	42	5x5	6-2	2,5	92,3	2,958	0,22319	3,6
M9	35	30	42	5x5	6-2	2,6	92,4	2,928	0,22500	3,5
M10	35	30	42	5x5	6-2	2,7	92,6	2,910	0,22532	3,5
M11	35	30	42	5x5	6-2	2,8	92,7	2,871	0,22743	3,5
M12	35	30	42	5x5	6-2	2,9	92,1	2,854	0,22770	3,5
M13	35	30	42	5x5	6-2	3,1	93,5	2,791	0,22956	3,4
M14	35	30	42	5x5	6-2	3,2	93,8	2,760	0,23130	3,4
M15	35	30	42	5x5	6-2	3,3	94,1	2,735	0,23325	3,4
M16	35	30	42	5x5	6-2	3,4	94,4	2,714	0,23224	3,5
M17	35	30	42	5x5	6-2	3,5	94,7	2,695	0,23343	3,5

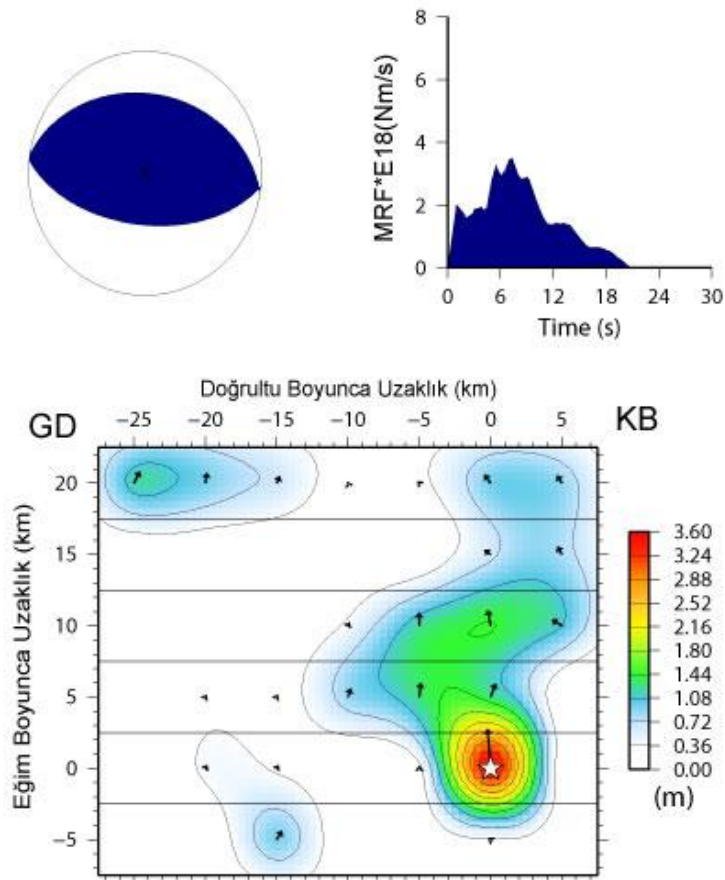
Model M8 ters çözüm sonucu elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.54.'de ve modelden hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.55.'de karşılaştırılmıştır. Gözlenen ve hesaplanan yapay dalga şekillerinin karşılaştırılması tatmin edici bir uyuma ulaşıldığını önermektedir. Deprem esnasında serbestlenen toplam sismik moment ( $M_o$ )  $2.958 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.92$ ) ve değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı yaklaşık  $93^\circ$  olarak elde edilmiştir. Şekil 3.54.'de verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının yaklaşık 10 km çapında, en büyük kayma genliği 3.6 m olan ve odakta merkezlenmiş hemen hemen dairesel bir fay pürüzüyle kontrol edildiği söylenebilir. Bu pürüzün devamında kayma KB kenarı boyunca eğim yukarı doğru yayılmaktadır. Faylanma alanının GD kenarında yüzeyde ve derinde yaklaşık olarak sırasıyla 1m ve 0.9 m kayma genliğine sahip olan ikincil kayma bölgeleri daha bulunmaktadır. Bu pürüzler faylanma alanının doğrultu ve eğim yönünde genişletilmesi ile yapılan ters



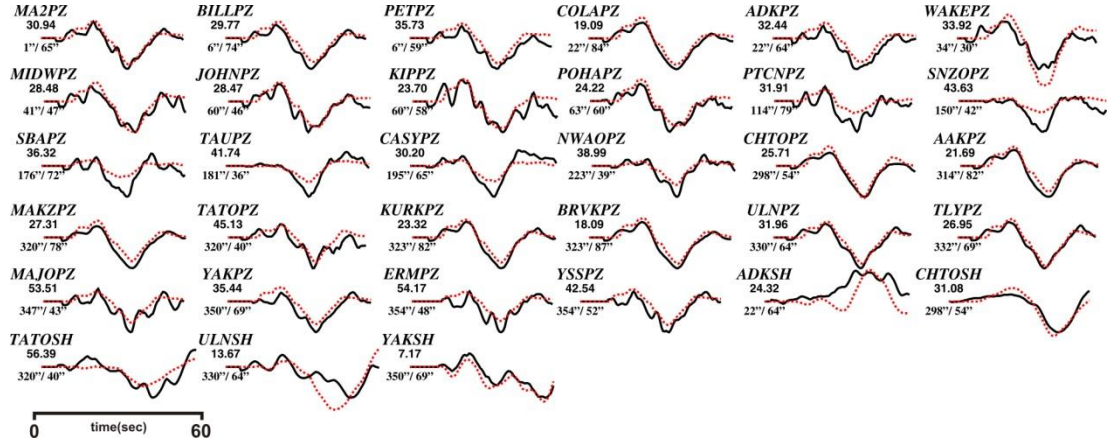
çözüm denemelerinde ortadan kaybolmaktadır. Bu nedenle bu iki pürüzün modellemeden kaynaklanan bir suni kayma bölgesi olduğu yorumu ağır basmıştır. Moment boşalım fonksiyonu moment serbestlemesinin yaklaşık olarak 20 sn sürdüğünü ve olayın baskın tek bir alt olayla gerçekleştiğini öne sürmektedir.

### 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi

Moment =  $0.2958E+20$ (Nm),  $M_w = 6.9$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (279.0, 35.0, 92.3, 45.0)

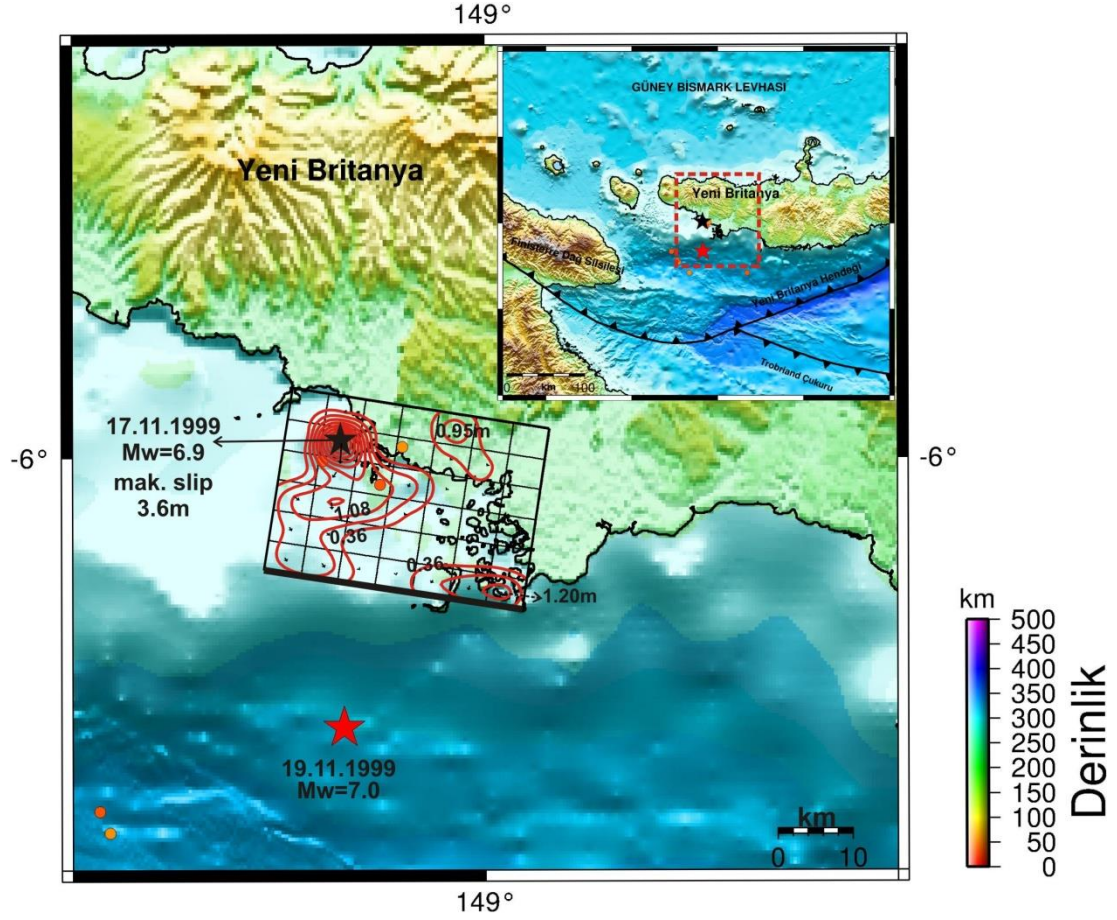


Şekil 3.54. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.29.'daki Model M8 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.55. 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M8 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

17 Kasım 1999 depreminin ters çözümü sonucu elde edilen kayma dağılım modelinin harita projeksiyonu Şekil 3.56.'da verilmiştir. İki deprem arasında meydana gelen  $M_w \geq 3.5$  dan büyük az sayıda artçının bir kısmının büyük pürüz etrafında toplandığı gözlemlenmektedir. Diğer bir kısmının ise bu depremden hemen sonra meydana gelen 19 Mayıs 1999 ( $M_w \approx 7.0$ ) depremi episantrı civarında meydana geldiği görülmektedir. Bu bilgiler detaylı gerilme değişimleri analizleri ile desteklenerek 19 Mayıs 1999 depreminin oluşum süreçlerinin aydınlatılmasına çalışılacaktır.

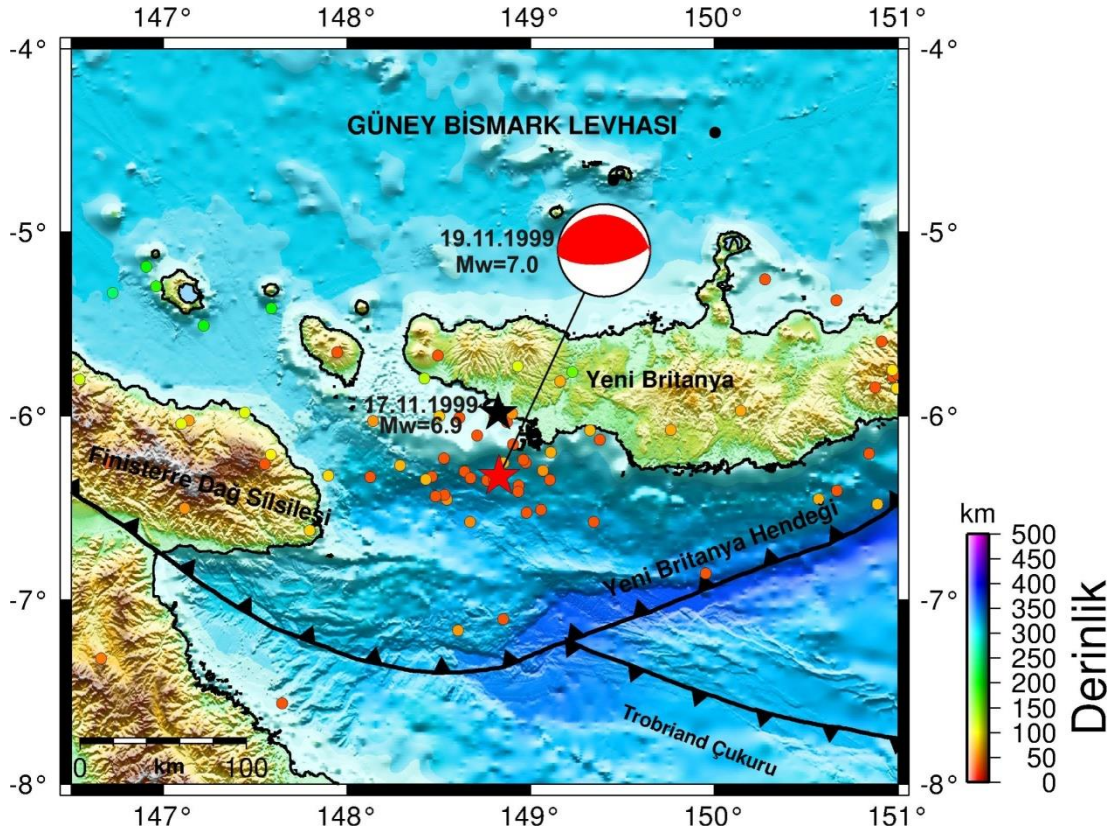


Şekil 3.56. 17 Kasım 1999 Yeni Gine depremi (siyah yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 17 Kasım 1999 ve 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artışokları göstermektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 17 Kasım 1999 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.36 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.10. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 7.0$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.10.1. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 7.0$ )

19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 7.0$ ) Yeni Britanya Hendeğinin batı kısmında ve 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depreminin ( $M_w \approx 6.9$ ) ise güneyinde meydana gelmiş bir depremdir (Şekil 3.57.). Bu depremin 17 Kasım 1999 Yeni Britanya Depreminin yaklaşık iki gün sonra meydana gelmiş olması oldukça dikkat çekici bir husustur. İki depremin birbirlerine çok benzer bir şekilde tipik bir dalma-batma zonu depremi olarak meydana gelmişlerdir.



Şekil 3.57. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 19 Kasım 1999 depreminden sonra 6 aylık dönemde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı depremlerin odak parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

Depremin ISC-GEM kataloglarından elde edilmiş odak koordinatları ( $6.327^\circ\text{G}$  -  $148.829^\circ\text{D}$  ve 35.0 km) modellemede kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Depremin çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri Tablo 3.30.'da derlenmiştir.

Tablo 3.30. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
13:56:46.45	-6,351	148,763	33,0	18,0	280	32	97	USGS-NEIC
13:57:02.00	-6,490	148,980	33,0	40,0	275	25	100	HRV-GCMT

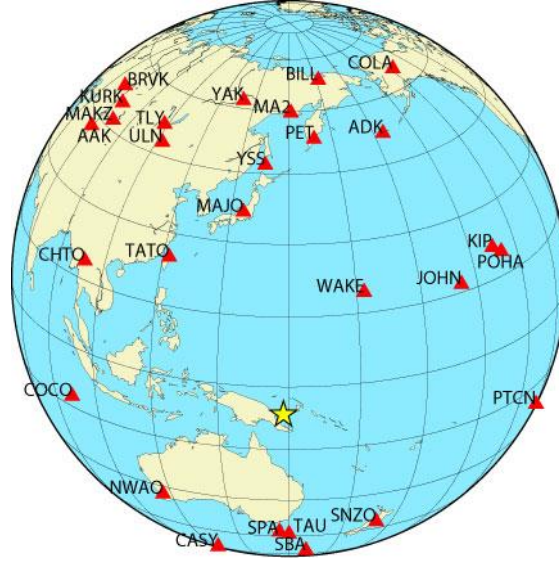


### 3.2.10.2. Kullanılan telesismik veri

Depremin ters çözüm işleminde 28 adet istasyonda P ve 9 adet istasyonda SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri kullanılmıştır. Tablo 3.31.'de bu istasyonlara ait detaylı bilgiler ve Şekil 3.58.'de ise bu istasyonların yeryüzündeki dağılımları verilmiştir. İstasyonların odak etrafındaki azimutal dağılımının iyi olduğu görülmektedir. Veriler ters çözüm işlemine başlamadan önce bir takım işlemlerden geçirilmiştir. İlk olarak alet etkisi giderilmiş ve 0.01 - 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Aynı zamanda veriler 0.5 sn örnekleme aralığı ile örneklenmiştir. P dalga şekillerinin modellenebilmesi için 50 sn kayıt uzunluğu tercih edilirken SH dalga şekillerinin modellenebilmesi için ise 60 sn kayıt uzunluğu tercih edilmiştir. Bu tercih depremin büyüklüğü göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.31. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

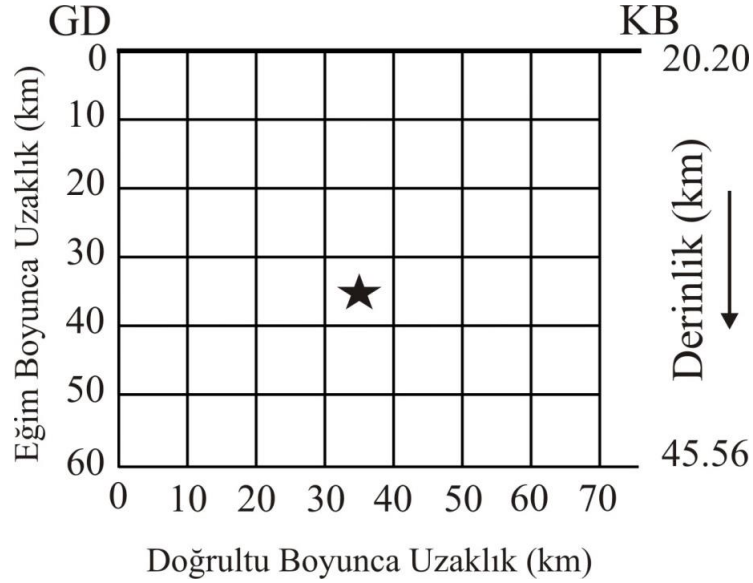
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
MA2	59,58	150,77	1,15	65,92	P
BILL	68,07	166,45	6,76	75,44	P
PET	53,02	158,65	6,90	59,94	P
COLA	64,87	-147086	22,42	84,89	P
ADK	51,88	-176,68	22,71	65,27	P, SH
WAKE	19,28	166,65	34,26	31,12	P
JOHN	16,73	-169,53	60,24	47,30	P
KIP	21,42	-158,01	60,38	59,14	P, SH
POHA	19,76	-155,53	63,13	60,73	P
PTCN	-25,07	-130,10	114,39	79,38	P
SNZO	-41,31	174,70	150,49	41,95	P
SBA	-77,85	166,76	176,07	72,15	P
SPA	-90,00	0	180,00	83,68	P
TAU	-42,91	147,32	181,69	36,61	P, SH
CASY	-66,28	110,54	195,86	65,47	P
NWAO	-32,93	117,24	223,51	39,51	P, SH
COCO	-12,19	96,83	259,43	51,45	P
CHTO	18,81	98,94	298,23	55,09	P, SH
AAK	42,64	74,49	314,46	82,85	P
MAKZ	46,81	81,98	320,19	79,13	P
TATO	24,97	121,50	320,82	40,99	P, SH
KURK	50,72	78,62	323,11	82,58	P
BRVK	53,06	70,28	323,91	88,17	P
ULN	47,87	107,05	330,63	65,38	P, SH
TLY	51,68	103,64	332,08	69,58	P, SH
MAJO	36,55	138,20	347,83	43,98	P
YAK	62,03	129,68	350,63	69,91	P, SH
YSS	46,96	142,76	354,96	53,34	P



Şekil 3.58. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.10.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi sonlu-fay özelliklerinin belirleme aşamasında ilk olarak giriş dosyasına Tablo 3.30.'da farklı sismolojik merkezler tarafından verilmiş depreme ait kaynak parametrelerinden HRV-GCMT çözümünden elde edilen doğrultu ( $275^\circ$ ), eğim ( $25^\circ$ ) ve rake ( $100^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır. Depremin ISC-GEM odak lokasyonu 70 km x 60 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi alınarak kırılma geometrisi tanımlanmıştır. Model fay düzlemi 10 km x 10 km boyutlarında 42 fay parçasına (doğrultu boyunca 7 ve eğim boyunca 6 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.59.). Deprem odağının model fay üzerindeki konumu yapılacak ters çözüm denemeleri ile belirlemeye çalışılacaktır.



Şekil 3.59. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 10 km aralıklarla toplam 42 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, GD ve KB kenarlara olan uzakları sırasıyla (35 km, 35 km ve 35 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Modellemede başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Yapılacak ters çözüm denemeleriyle en uygun kırılma hızı belirlenmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 10 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 11 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.10.4. Modelleme sonuçları ve tatışma

Fay boyutları belirlenirken Blaser ve ark. (2010) tarafından okyanusal kabukta meydana gelen depremlerin fay boyutlarının belirlenmesinde kullanılan ampirik bağıntılardan yararlanılmıştır. Blaser ve ark. (2010) kullanılarak oluşturulan Model M1 (Tablo 3.32.) ile yapılan ters çözümde fay boyutları oldukça küçük kalmış ve kayma alanı çevrelenememiştir. Doğrultu ve eğim boyunca fay parçaları eklenerek oluşturulan Model M2 ve aynı boyutlarla fakat odağın konumu değiştirilerek oluşturulan Model M3 ve M4 sonucu yapılan ters çözüm denemelerinde de kayma bölgeleri köşelere sıkışmış bir şekilde elde edilmiştir. Odağın derinlik ve doğrultu boyunca çeşitli yerlerde bulunması ile yapılan çok sayıda ters çözüm denemesi ile de

istenen sonuçlar yakalanamamıştır. Bu aşamada fay parçalarının 5 km olan kenar uzunluklarının 10 km'ye çıkarılmasına karar verilmiştir. Böylelikle oluşturulan yeni Model M5 ile deprem modellenmiş ve kayma bölgeleri fiziksel olarak tatmin edici bir şekilde ortaya çıkarılabilmektedir. Aynı zamanda Model M6 ve M7 ile sırasıyla odağın GD ve KB'ya yakın kısımlara konumlandırıldığı yapılan ters çözüm denemeleri de yapılmıştır (Tablo 3.32.). Her ne kadar ters çözüm denemesi M6 (odağın GD kenarında bulunduğu ters çözüm denemesi) M5'den daha düşük bir hata değeri önerse de kaymanın fiziksel durumu değerlendirilerek en uygun çözüm olarak ters çözüm denemesi M5 seçilmiştir. Bu arada odağın eğim boyunca daha derin ve daha sığda olduğu çok sayıda ters çözüm denemelerinin de yapıldığını ve en uygun çözüme bu aşamadan sonra karar verildiğini vurgulamak gerekir. Kırılma hızı ( $V_r$ ) tespiti için bir çok ters çözüm denemesi yapılmış ve kırılma hızının 2.5 km/sn olduğu ters çözüm denemesi M8'i en iyi çözüm olarak önermektedir.

Tablo 3.32. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	35	25	35	5x5	4-3	3,0	92,5	3,224	0,32519	3,4
M2	45	30	54	5x5	5-3	3,0	90,8	3,377	0,32220	2,8
M3	45	30	54	5x5	2-3	3,0	93,1	4,113	0,30681	3,8
M4	45	30	54	5x5	8-3	3,0	93,7	4,018	0,32043	3,7
M5	70	60	42	10x10	4-3	3,0	95,9	4,590	0,28164	1,5
M6	70	60	42	10x10	4-3	3,0	94,5	4,923	0,27943	1,5
M7	70	60	42	10x10	4-3	3,0	95,6	5,055	0,2806	1,5
M8	70	60	42	10x10	4-3	2,5	96,4	4,819	0,27948	1,7
M9	70	60	42	10x10	4-3	2,6	96,4	4,794	0,28013	1,7
M10	70	60	42	10x10	4-3	2,7	96,2	4,751	0,28035	1,7
M11	70	60	42	10x10	4-3	2,8	96,0	4,688	0,28100	1,7
M12	70	60	42	10x10	4-3	2,9	95,8	4,629	0,28148	1,6
M13	70	60	42	10x10	4-3	3,1	96,3	4,551	0,28244	1,5
M14	70	60	42	10x10	4-3	3,2	96,5	4,507	0,28354	1,4
M15	70	60	42	10x10	4-3	3,3	96,7	4,466	0,28517	1,4
M16	70	60	42	10x10	4-3	3,4	96,9	4,436	0,28651	1,3
M17	70	60	42	10x10	4-3	3,5	97,1	4,404	0,28777	1,3

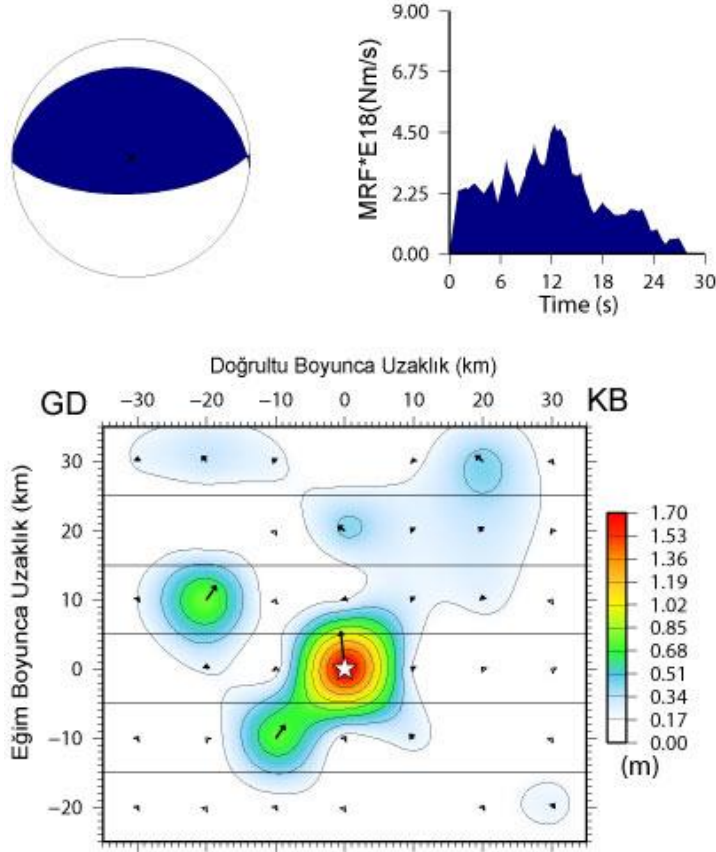


Model M8 ters çözüm sonucu elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.60.'da verilmiştir. Hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.61.'de karşılaştırılmıştır. Gözlenen ve hesaplanan yapay dalga şekillerinin karşılaştırılması tatmin edici bir uyuma ulaşıldığını önermektedir. Deprem esnasında serbestlenen toplam sismik moment ( $M_o$ )  $4.819 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.06$ ) ve değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı  $96^\circ$  olarak elde edilmiştir.

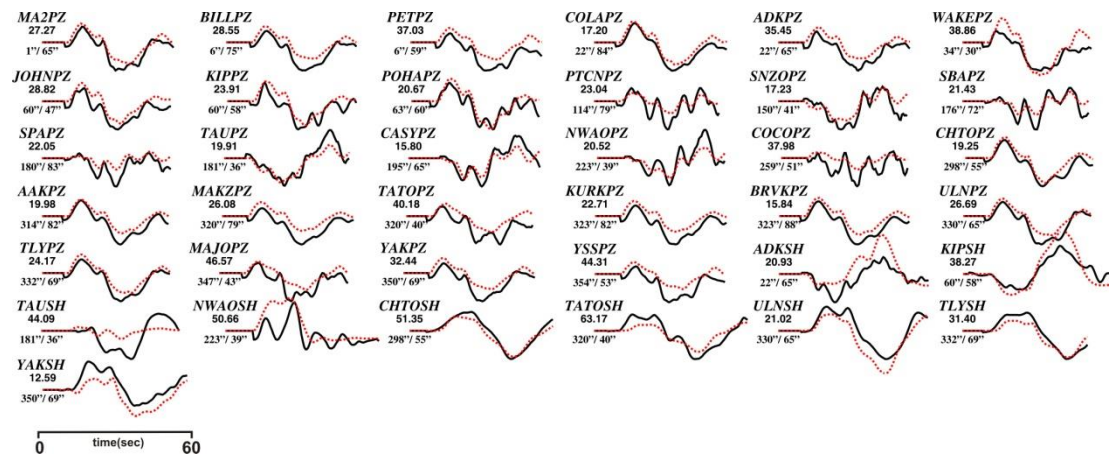
Şekil 3.60.'da verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının asıl olarak yaklaşık 10 km çapında, en büyük kayma genliği 1.7 m olan ve odakta merkezlenmiş kabaca dairesel bir fay pürüzü tarafında kontrol edildiği görülmektedir. Bu pürüzden itibaren fayın KB sığ köşesine uzanan düşük kaymalı bir alan bulunmaktadır. Odağın eğim yukarısında GD kenarına yakın yaklaşık olarak dairesel 5 km yarıçapında ve en büyük kayma genliği değeri 0.7 m olan ikinci bir pürüz bulunmaktadır. Çeşitli fay boyutları kullanılarak yapılan ters çözüm denemelerinin tümünde bu pürüz kendini göstermektedir. Bu nedenle depremin biri kaymaca büyük diğeri küçük iki pürüz tarafından kontrol edildiği açıkça görülmektedir. Bahsi geçen bu durum moment boşalım fonksiyonundaki heterojeniteden de farkedilebilir. Sonuç olarak, depremin moment serbestlemesinin yaklaşık olarak 28 sn sürdüğü ve iki alt olayla gerçekleştiği kısaca söylenebilir.

## 19 Kasım 1999 Yeni Britanya Depremi

Moment =  $0.4819E+20$ (Nm),  $M_w = 7.1$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (275.0, 25.0, 96.4, 35.0)

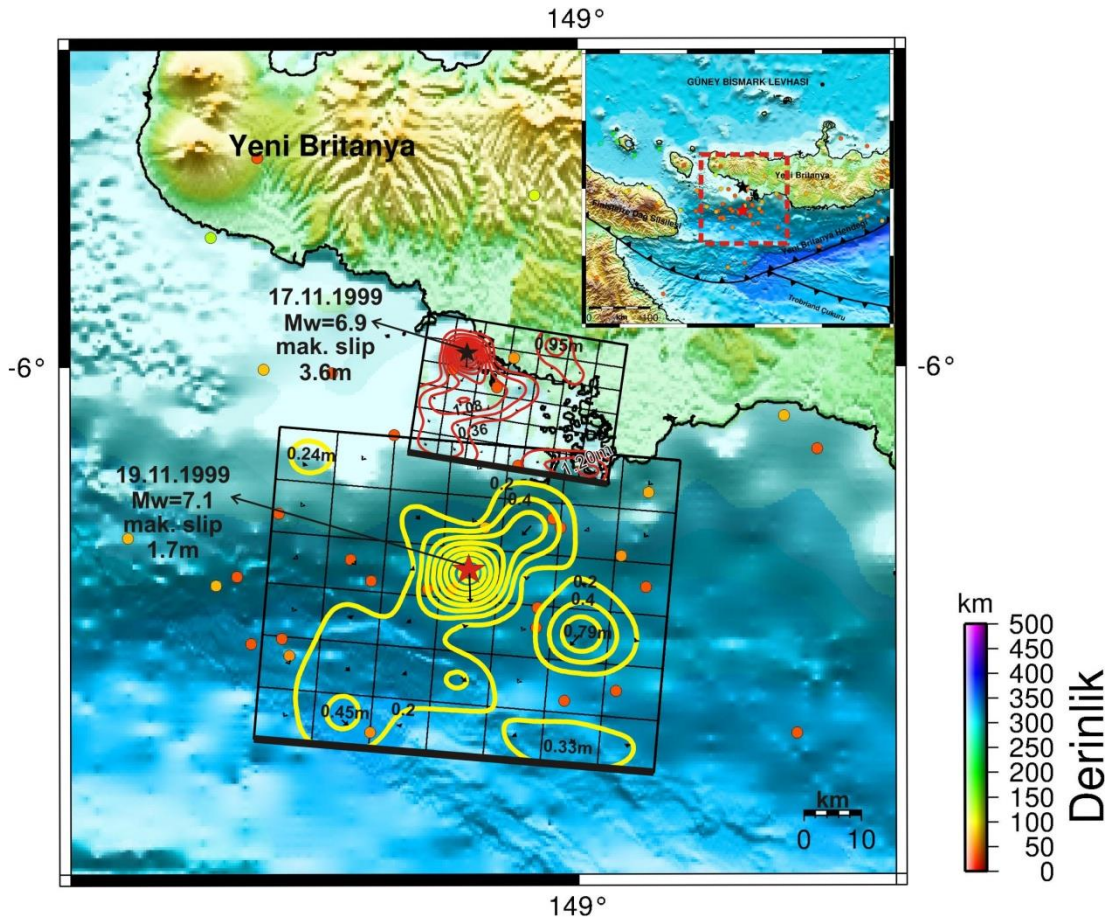


Şekil 3.60. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.32.'deki Model M8 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.61. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M8 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

Şekil 3.62.'de 19 Kasım 1999 ve 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremlerinin modellenmesi sonucu elde edilen kayma dağılımları harita projeksiyonu üzerinde gösterilmektedir. İki depremde kayma dağılımları incelendiğinde bu deprem kırılmalarının levhalar arası yüzeyde uzaysal olarak birbirini tamamlayacak bir geometriye sahip oldukları görülebilir. Aradaki en büyük fark modellenmenin bize önerdiği en büyük kayma değerlerindedir (Şekil 3.62.). 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminden sonra meydana gelen az sayıda artçıların ( $M_w \geq 3.0$ ) birçoğu 19 Kasım Yeni Britanya depreminin faylanma alanı içerisinde ve asıl kayma bölgeleri çevresinde kalmaktadır.

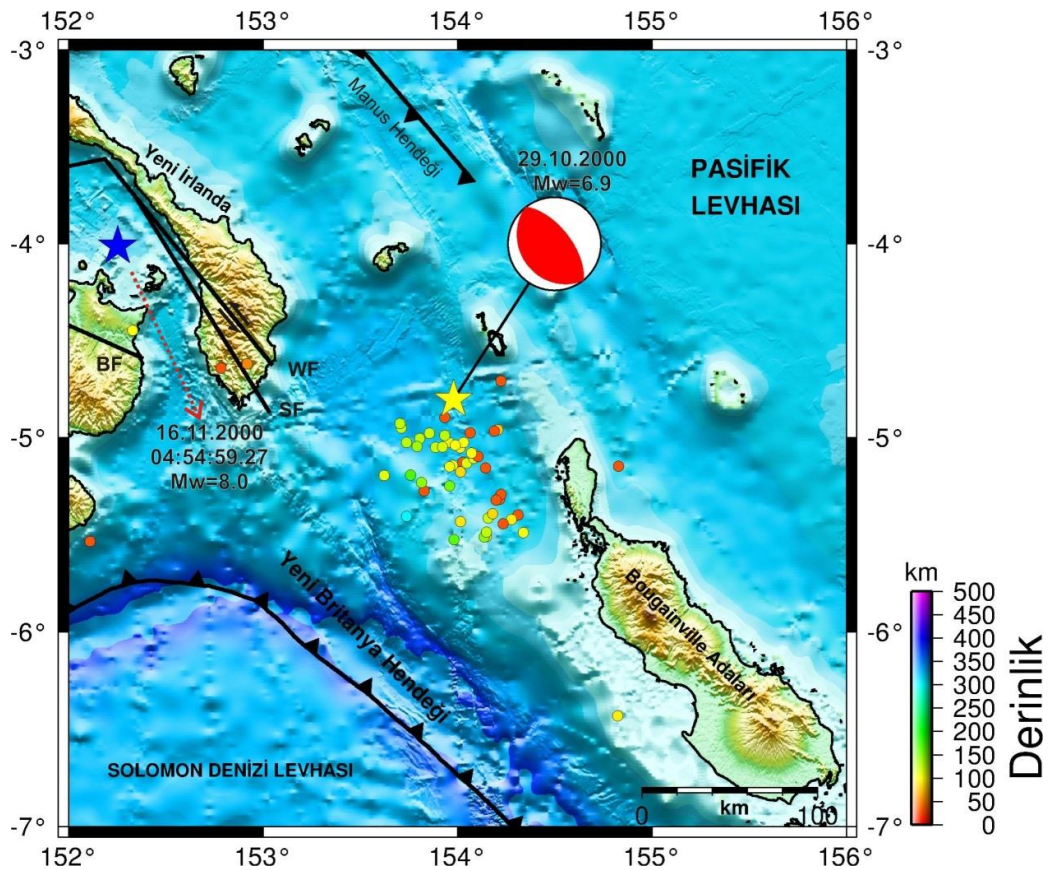


Şekil 3.62. 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen 17 Kasım 1999 Yeni Britanya depremi (siyah yıldız) kayma dağılımı konturları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 19 Kasım 1999 Yeni Britanya depreminden sonra 6 ay içerisinde meydana gelen  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 19 Kasım 1999 depremi için konturlar (sarı çizgiler) 0.2 m ve 17 Kasım 1999 depremi için konturlar (kırmızı çizgiler) 0.36 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.11. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.11.1. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.9$ )

Sismik olarak dünyanın en aktif bölgelerinden biri olarak bilinen Papua Yeni Gine’de özellikle 2000 yılında Yeni İrlanda bölgesi civarında büyük bir deprem aktivitesi yaşanmıştır. Birbirinin ardı ardına gerçekleşen bu depremlerin ilk ayağını Yeni Britanya Hendeği kaynaklı 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi ( $M_w \approx 6.9$ ) depremi oluşturmaktadır (Şekil 3.63.). Tipik bir dalma-batma zonu depremi olan bu depremden bir sonraki büyük depreme (16 Kasım 2000 – 04:54:59.27 depremi) kadar geçen sürede  $M_w \geq 3.0$  artçı şoklar Yeni İrlanda Bölgesi ve yüzlerce kilometre uzakta olan Yeni Britanya Bölgesine kadar uzanmaktadır (Şekil 3.63.).



Şekil 3.63. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi dışmerkez lokasyonu (sarı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri USGS-NEIC kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 29 Ekim 2000 ile 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloğlarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). WF: Weitin-Kamdarı Fayı, SF: Sapom Fayı, BF: Baining Fayı.



29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesi için yapılacak ters çözümde kullanılacak odak konumu ISC-GEM kataloglarından elde edilmiştir (Tablo 3.1.). 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen kaynak parametreleri Tablo 3.33.'de derlenmiştir.

Tablo 3.33. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

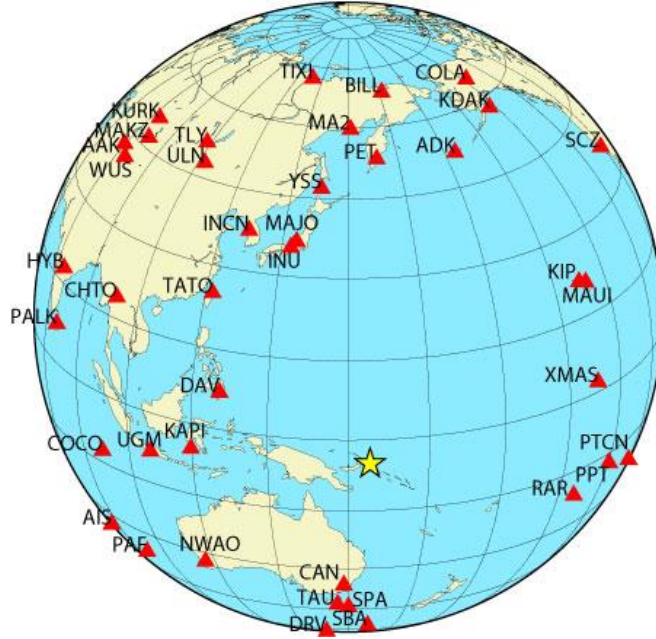
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
08:37:08.77	-4,766	153,945	50	26,0	140	33	91	USGS-NEIC
08:37:19.70	-5,210	153,950	92,1	30,0	142	27	90	HRV-GCMT

### 3.2.11.2. Kullanılan telesismik veri

Depremin sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesi için yapılan modelleme çalışmalarında 34 adet istasyonda kaydedilmiş P ve 16 adet istasyonda kaydedilmiş SH yerdeğiştirme dalga şekli kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait detaylı bilgiler Tablo 3.34.'de verilmiş ve istasyonların azimutal dağılımları Şekil 3.64.'de gösterilmiştir. İlk aşamada kullanılacak P ve SH dalga şekillerinin alet etkisi giderilmiştir. Daha sonra verilerdeki gürültü seviyesi göz önünde bulundurularak 0.01 - 1.0 Hz frekans aralığında bant geçişli Butterworth süzgeç uygulanmıştır. Aynı zamanda veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Depremin büyüklüğü göz önünde bulundurularak ters çözüm işleminde P ve SH dalga şekillerini için 60 sn kayıt uzunluğunun kullanılması uygun görülmüştür. Bu sayede sonlu-fay özellikleri tam olarak ortaya koyulabileceği hedeflenmektedir.

Tablo 3.34. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	3,37	58,26	P, SH
BILL	68,07	166,45	4,86	73,69	P
ADK	51,88	-176,68	20,05	62,25	P, SH
COLA	64,87	-147,86	21,40	81,83	P
KDAK	57,78	-152,58	26,21	76,08	P
SCZ	36,60	-121,40	53,09	88,81	P
KIP	21,42	-158,01	58,84	54,07	P
MAUI	20,77	-156,24	60,37	55,34	P, SH
PPT	-17,57	-149,58	107,71	56,61	P
RAR	-21,21	-159,77	114,21	47,69	P
PTCN	-25,07	-130,1	114,61	75,19	P
SBA	-77,85	166,76	177,19	73,07	P
SPA	-90,00	0	180,00	84,91	P
DRV	-66,66	140,00	186,16	62,32	P, SH
TAU	-42,91	147,32	187,77	38,26	P, SH
CAN	-35,22	149,00	187,86	30,56	P, SH
PAF	-49,35	70,21	220,83	82,02	P
NWAO	-32,93	117,24	226,13	44,02	P, SH
UGM	-7,91	110,52	263,86	43,15	P, SH
KAPI	-5,01	119,75	268,58	33,99	P
HYB	17,42	78,55	289,10	77,64	P
CHTO	18,81	98,94	295,50	59,14	P, SH
WUS	41,2	79,22	312,88	81,97	P
AAK	42,64	74,49	313,52	85,71	P
MAKZ	46,81	81,98	318,87	81,55	P
KURK	50,72	78,62	322,05	84,74	P
ULN	47,87	107,05	327,88	66,96	P, SH
TLY	51,68	103,64	329,73	71,01	P
INCN	37,48	126,62	331,47	49,56	P, SH
INU	35,35	137,03	339,88	43,44	P, SH
MAJO	36,55	138,20	341,84	44,15	P
YSS	46,96	142,76	350,51	52,97	P, SH
TIXI	71,63	128,87	352,18	78,46	P
MA2	59,58	150,77	358,26	64,72	P, SH
XMAS	2,04	-157,45	82,85	49,14	SH
TATO	24,97	121,5	315,17	43,53	SH



Şekil 3.64. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.11.3. Sonlu fay model parametrisasyonu

29 Ekim 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay özelliklerinin belirleme aşamasında ilk olarak USGS-NEIC çözümünden elde edilen doğrultu ( $140^\circ$ ), eğim ( $33^\circ$ ) ve rake ( $91^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır (Tablo 3.33.). Depreme ait odak lokasyonu ( $4.803^\circ\text{G} - 153.981^\circ\text{D}$  ve  $45.0\text{ km}$ ) ISC-GEM kataloglarından alınarak  $88\text{ km} \times 48\text{ km}$  boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tanımlanmış ve model fay düzlemi  $8\text{ km} \times 8\text{ km}$  boyutlarında 66 fay parçasına (doğrultu boyunca 11 ve eğim boyunca 6 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.65.). ISC-GEM odak lokasyonu dikkate alınarak model fay düzlemi deprem kaynak bölgesine yerleştirilmiştir. Deprem odağının model fay üzerindeki konumu yapılacak ters çözüm denemeleri ile belirlemeye çalışılacaktır. Modellemelerde başlangıçta kırılma hızı  $3.0\text{ km/sn}$  alınmıştır. Ters çözümde her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim düşümlü  $1.0\text{ sn}$  süreli birbiriyle örtüşen 7 üçgen zaman fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Model fay düzlemi üzerinde  $8\text{ sn}$ 'lik bir toplam kayma süresine imkan tanınmıştır.



Şekil 3.65. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 8 km aralıklarla toplam 66 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarına olan uzakları (sırasıyla 28 km, 12 km ve 76 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

#### 3.2.11.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Depreme ait kayma dağılımının elde edilebilmesi için çok sayıda ters çözüm denemesi yapılmıştır (Tablo 3.35.). Amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) belirlenen fay boyutları yapılan ters çözüm denemesinde (Model M1) kaymanın uzaysal dağılımını içermeye yetersiz kalmış ve hata miktarı oldukça yüksek çıkmıştır (Tablo 3.35.). Yeni oluşturulan model M2 denemesinde fay boyutları genişletilmiş fakat yine de tatmin edici bir çözüme ulaşılamamıştır. Aynı boyutlara sahip fakat odağın yerinin belirlenmesi için tasarlanan Model M3 ve M4 denemelerinde de gözlenmiş verilere tatmin edici uyum sağlanamamıştır. Bu aşamadan sonra yeni modeller tasarlanırken fay parçasının uzunlukları artırılmış ve Model M5 elde edilmiştir. Ters çözüm denemesi M5 her ne kadar hata miktarının düşürse de kayma bölgelerinin ortaya çıkarılmasında bir takım sorunlar yaşanmıştır. Model M6 ve M7 denemelerinde ise sadece odağın yeri değiştirilerek hesaplamalar yapılmış ve kaymanın uzaysal dağılımları gözlenmiştir. Bu denemelerde odağın yerinin KB kenarına yakın olduğu çözüm daha uygun bulunmuştur (Tablo 3.35.'de Model M7). Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde fay boyutlarının bir kez daha genişletilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla Model M8 ve M9 ters çözüm denemeleri yapılmış ve



kayma bölgeleri uzaysal olarak tatmin edici bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti hızın 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değişen çeşitli değerleri ile modellemeler yapılmıştır. Bunun sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ ) 2.5 km/sn olduğu M10 modelinin veriye en iyi uyumu verdiği görülmüştür.

Tablo 3.35. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

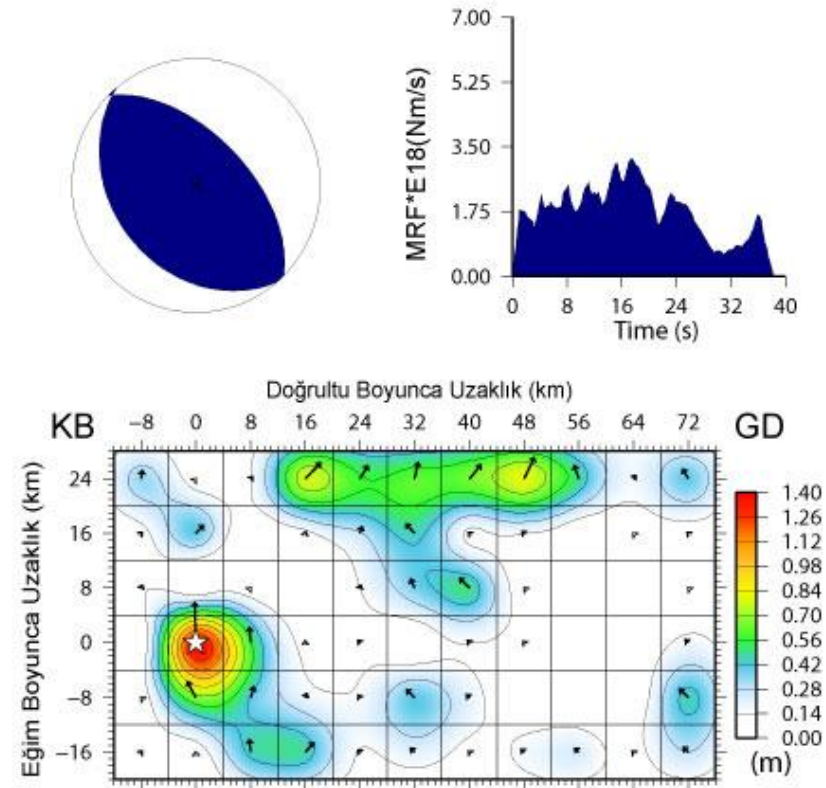
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	30	20	24	5x5	3-2	3,0	84,0	1,486	0,51047	3,4
M2	45	25	45	5x5	5-3	3,0	86,0	1,595	0,45982	2,2
M3	45	25	45	5x5	8-3	3,0	89,8	2,456	0,44311	2,8
M4	45	25	45	5x5	2-3	3,0	88,2	2,628	0,39614	2,2
M5	72	40	45	8x8	5-3	3,0	88,3	2,781	0,37933	1,2
M6	72	40	45	8x8	8-3	3,0	93,4	3,155	0,38196	1,1
M7	72	40	45	8x8	2-3	3,0	87,3	3,595	0,35026	0,9
M8	88	40	55	8x8	2-3	3,0	89,9	4,001	0,34094	1,0
M9	88	48	66	8x8	2-3	3,0	88,3	4,226	0,34598	1,0
M10	88	48	66	8x8	2-3	2,5	94,2	5,314	0,30291	1,4
M11	88	48	66	8x8	2-3	2,6	93,2	5,212	0,30528	1,3
M12	88	48	66	8x8	2-3	2,7	91,8	5,106	0,30996	1,3
M13	88	48	66	8x8	2-3	2,8	87,7	4,344	0,34323	1,1
M14	88	48	66	8x8	2-3	2,9	88,6	4,293	0,34443	1,0
M15	88	48	66	8x8	2-3	3,1	87,8	4,131	0,33322	1,0
M16	88	48	66	8x8	2-3	3,2	87,3	4,072	0,33487	0,9
M17	88	48	66	8x8	2-3	3,3	87,2	4,009	0,33653	0,9
M18	88	48	66	8x8	2-3	3,4	86,1	3,947	0,33366	0,8
M19	88	48	66	8x8	2-3	3,5	85,7	3,893	0,33479	0,8

Model M10 ters çözüm denemesi sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.66.'da gösterilmiştir. Elde edilen bu model için hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.67.'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunun yeterince tatmin edici bir uyuma ulaştığı gözlemlenmektedir. Deprem esnasında serbestlenen toplam sismik moment ( $M_o$ )  $5.314 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.09$ ) ve değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı  $94^\circ$  olarak

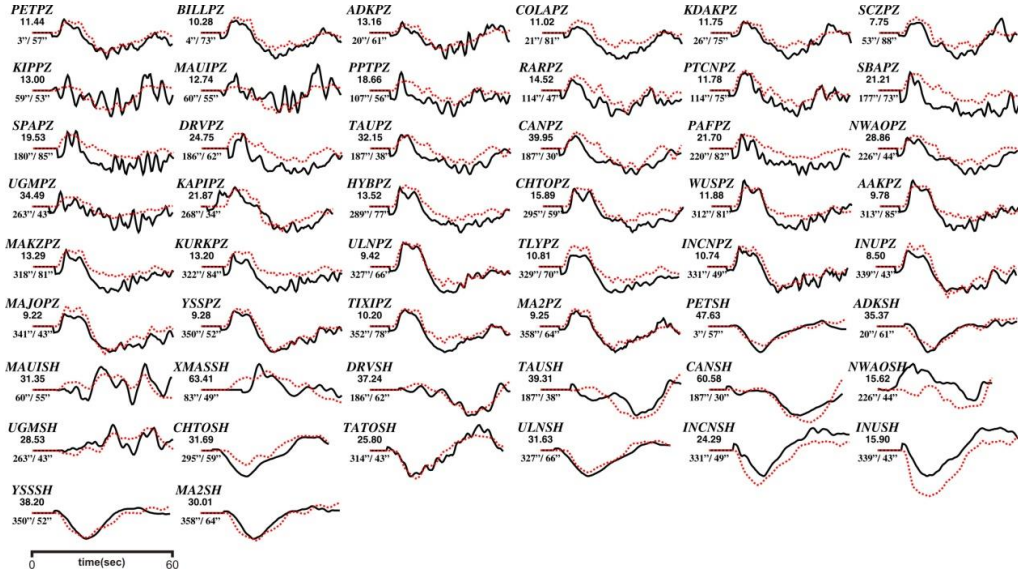
elde edilmiştir. Şekil 3.66.'da verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde depremin oluş sürecinin birden fazla irili ufaklı pürüzlerin kırılmasından kaynaklı karmaşık bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Deprem kırılması odakta merkezlenmiş, kabaca dairesel, yaklaşık 20 km çapında ve en büyük kayma genliği 1.4 m olan bir fay pürüzünün kırılmasıyla başlamıştır. Bu pürüzün eğim yukarısında sığda yerleşmiş 50 km uzunluğunda ve 10 km genişliğinde bir faylanma alanını artan ve uzaysal olarak iki pürüz olarak tanımlanabilecek bir kayma bölgesi 0.83 m en büyük kayma genliği ile göze çarpmaktadır. İlave olarak, kayma dağılımı modeli üzerinde KB kenarında yüzeye yakın 0.34 m'lik ve GD kenarında derine yerleşmiş 0.45 m'lik küçük pürüzler bulunmaktadır. Moment boşalım fonksiyonundan da anlaşılacağı üzere depremin boşalım süreci oldukça karmaşıktır. Enerji serbestlenmesi yaklaşık olarak 39 sn sürmüştür.

### 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Depremi

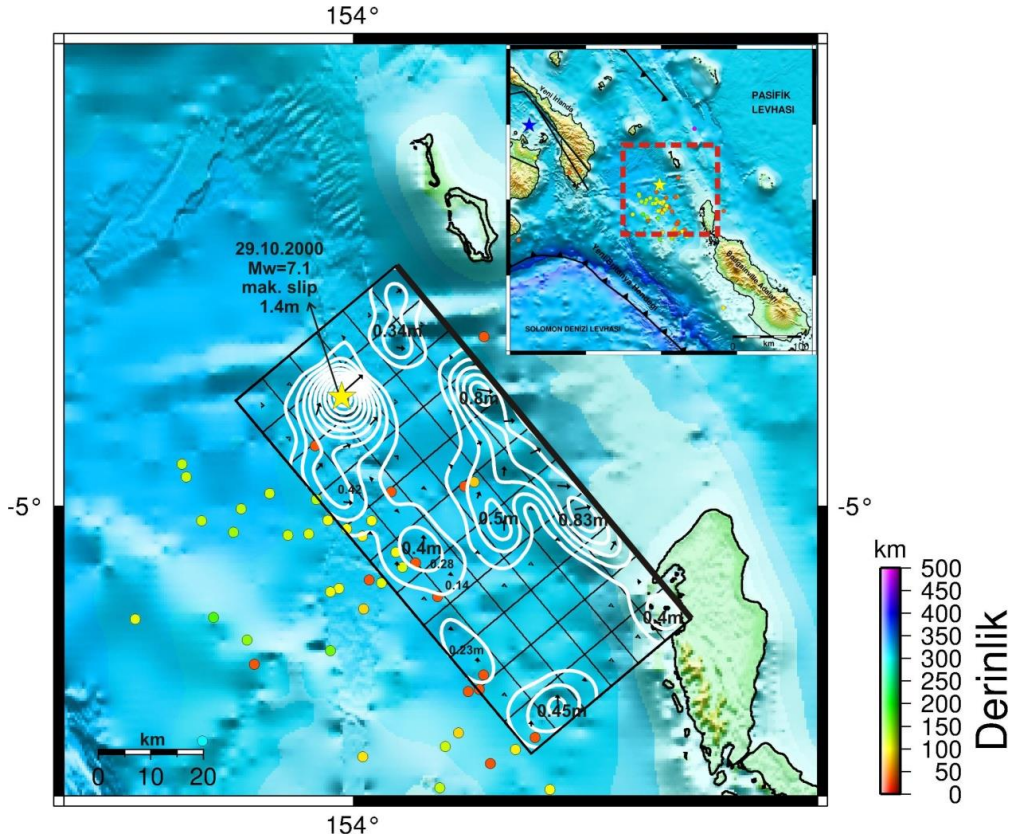
Moment =  $0.5314E+20$ (Nm),  $M_w = 7.1$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (140.0, 33.0, 94.2, 45.0)



Şekil 3.66. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.35.'deki Model M10 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.67. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M10 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir



Şekil 3.68. 29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 29 Ekim 2000 depremi ile bir sonraki büyük deprem olan 16 Kasım 2000 (A) depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 29 Ekim 2000 depremi için konturlar (beyaz çizgi) 0.14 m aralıklarla çizilmiştir

29 Ekim 2000 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümü ile elde edilen ve Şekil 3.66.'da gösterilen kayma dağılım modelinin harita projeksiyonu Şekil 3.68.'de verilmiştir. Artçı depremlerin en büyük kayma değerinin tespit edildiği odakta merkezlenmiş pürüz etrafında yoğunlaştığı gözlemlenmektedir.

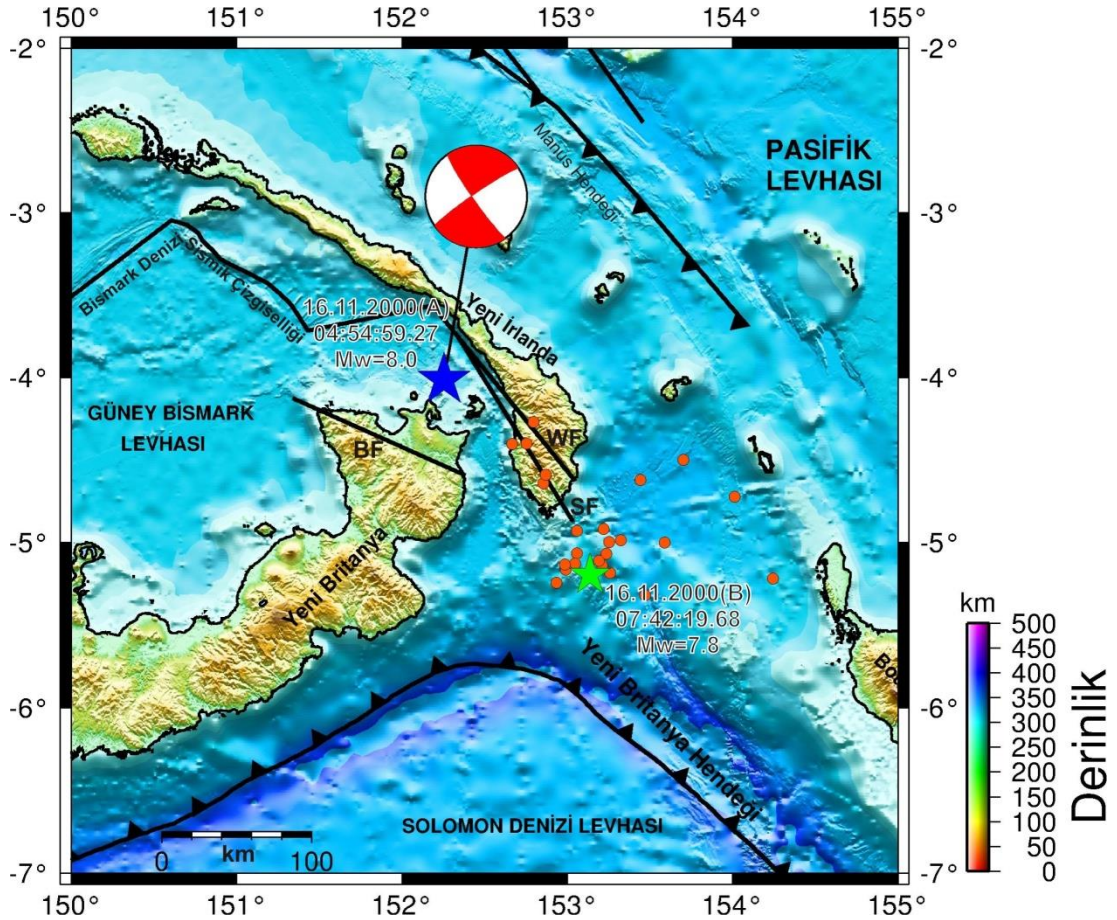
### **3.2.12. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 8.0$ ) sonlu fay analizi**

#### **3.2.12.1. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 8.0$ )**

Yeni İrlanda bölgesi civarında 16 Kasım 2000 tarihinde meydana gelen ve orjin zamanı 04:54:59.27 olan bu deprem ( $M_w \approx 8.0$ ) çalışmada incelenen en büyük ikinci depremdir (Tablo 3.1.). Depremin dışmerkezi Yeni İrlanda ve Yeni Britanya adaları arasında konumlanmıştır (Şekil 3.69.). Deprem Weitin-Kamdarı fayı ile ilişkilendirilmiştir (Park ve Mori, 2007a). Fay üzerinde 5 m'den fazla doğrultu atım karakteristikli yüzey deformasyonları gözlemlenmiştir (Park ve Mori, 2007a). Tregoning ve ark. (2005) GPS gözlemleri sonucunda Weitin-Kamdarı fayı boyunca 8 m'yi aşan sol yanal hareket belirlemişlerdir. ISC bülteni deprem esnasında Yeni İrlanda, Yeni Britanya ve Bougainville kıyılarında 3 m dalga yüksekliğini aşan tsunami olayı gözlemlendiğine işaret etmektedir (Geist ve Parsons, 2005). Weitin-Kamdarı fayı Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği'nin en doğu kesimini teşkil etmekte olup KB-GD doğrultulu uzanmaktadır (bkz. Bölüm 1.2.2.1.).

Bu depremden çok kısa bir süre sonra Yeni İrlanda bölgesinin güneydoğusunda aynı gün başka bir büyük depremi ( $M_w \approx 7.8$ , 07:42:19.68) meydana gelmiş olması oldukça dikkat çekicidir. Bundan sonraki bölümlerde iki deprem arasında tarih karışıklığı yaşanmaması nedeniyle ilk deprem 16 Kasım 2000 (A) ikinci deprem ise 16 Kasım 2000 (B) olarak isimlendirilmiştir.





Şekil 3.69. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümü ERI (<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>) web sitesinden ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 29 Ekim 2000 ve 16 Kasım 2000 (A) Yeni Britanya depremleri arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). WF:Weitin-Kamdarı Fayı, SF: Sapom Fayı, BF: Baining Fayı

16 Kasım 2000 (A) depreminin çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri Tablo 3.36.'da derlenmiştir. Yapılan kaynak mekanizma çözümleri Weitin-Kamdarı Fayı'nın transform karakterine işaret etmektedir. Büyük olasılıkla bu fay açılma karakterli Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği'nin Bölüm 1.2.2.1.'de üçüncü bölümüyle Yeni Britanya Hendeği arasında uzanmaktadır. Bu durum bu fayın trench-ridge türü bir transform fayı olduğunu önermektedir. Kayma dağılımının elde edilmesi amacı için yapılacak modellemelerde ISC-GEM projesi kapsamında elde edilen odak parametreleri ( $-4.011^{\circ}G-152.254^{\circ}D$  ve 30.0 km) kullanılmıştır (Tablo 3.1.).

Tablo 3.36. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
04:54:56.74	-3.980	152.169	33,0	330,0	180	14	143	USGS-NEIC
04:55:36.50	-4.560	152.790	24,0	1200	236	88	133	HRV-GCMT
-	-3.970	152.320	35,0	1600	145	84	-5	ERI <sup>a</sup>
-	-	-	15	2200	320	70	58	Park ve Mori, (2007a)

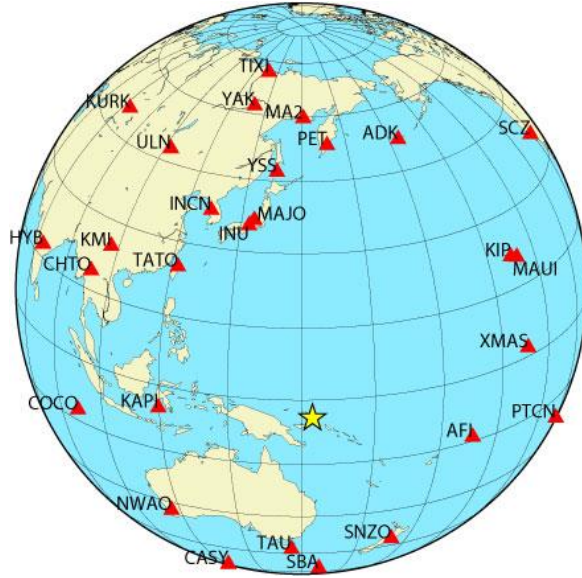
<sup>a</sup> ERI, Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü (Earthquake Research Institute, University of Tokyo), (Yagi ve Kikuchi, 2000)

### 3.2.12.2. Kullanılan telesismik veri

16 Kasım 2000 (A) depreminin modellenmesinde toplam 23 istasyonda kaydedilmiş P ve 11 istasyonda kaydedilmiş SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekli kayıtları kullanılmıştır. Ters çözüm işleminde kullanılan istasyonların listesi Tablo 3.37.'de ve bu istasyonlara ait azimutal dağılım ise Şekil 3.69.'da verilmiştir. Veri işlem aşamasında ilk olarak P ve SH dalga şekillerinden etkisi giderildikten sonra verilerdeki gürültü seviyesi göz önüne alınarak 0.01 - 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Aynı zamanda veriler 0.5 sn aralıklarla örneklenmiştir. Ters çözüm işleminde P dalga şekilleri için 100 sn ve SH dalga şekilleri için ise 150 sn kayıt uzunluğu depremin büyüklüğü ve dalga şekillerinde sinyaller dikkate alınarak seçimiştir.

Tablo 3.37. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( $^{\circ}$ )	Boylam( $^{\circ}$ )	Azimut( $^{\circ}$ )	Uzaklık( $^{\circ}$ )	Faz
PET	53,02	158,65	3,93	58,43	P,SH
ADK	51,88	-176,68	20,49	62,65	P,SH
SCZ	36,6	-121,4	53,17	89,53	P
KIP	21,42	-158,01	59,13	54,83	P,SH
MAUI	20,77	-156,24	60,64	56,10	P,SH
XMAS	2,04	-157,45	82,85	49,14	P
AFI	-13,91	-171,78	105,90	36,82	P
PTCN	-25,07	-130,10	114,57	75,87	P
SNZO	-41,31	174,70	155,00	40,94	P
SBA	-77,85	166,76	177,02	72,99	P
TAU	-42,91	147,32	186,84	38,03	P
CASY	-66,28	110,54	197,09	67,76	P
NWAO	-32,93	117,24	225,71	42,36	P
COCO	-12,19	96,83	258,8	55,93	P
KAPI	-5,01	119,75	268,82	33,19	P,SH
HYB	17,42	78,55	289,26	76,92	P
TATO	24,97	121,5	315,95	43,06	P,SH
KURK	50,72	789,62	322,19	84,34	P
ULN	47,87	107,05	328,27	66,64	P
INCN	37,48	126,62	332,21	49,29	P,SH
YAK	62,03	129,68	348,54	69,62	P
TIXI	71,63	128,87	352,42	78,47	P
MA2	59,58	150,77	358,71	64,82	P
INU	35,35	137,03	340,8	43,28	SH
CHTO	18,81	98,94	295,85	58,47	SH
MAJO	36,55	138,20	342,74	44,02	SH
YSS	46,96	142,76	351,2	52,97	SH



Şekil 3.70. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.12.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin sonlu-fay model parametrizasyonunda ERI çözümünden elde edilen doğrultu ( $145^\circ$ ), eğim ( $84^\circ$ ) ve rake ( $-5^\circ$ ) açıları kullanılmıştır. 200 km x 40 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tanımlanmış, model fay düzlemi 10 km x 10 km boyutlarında 80 fay parçasına (doğrultu boyunca 20 ve eğim boyunca 4 fay parçası) bölünmüş ve ISC-GEM odağı kullanılarak deprem kaynak bölgesine yerleştirilmiştir (Şekil 3.71.). Deprem odağının model fay üzerindeki konumu yapılacak ters çözüm denemeleri ile belirlemeye çalışılacaktır.



Şekil 3.71. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 10 km aralıklarla toplam 80 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarına olan uzakları (sırasıyla 25 km, 5 km ve 185 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Kırılma hızı ( $V_r$ ), modellemeye başlarken 3.0 km/sn olarak tercih edilmiştir. Modelleme esnasında ters çözüm denemeleri yapılarak depremi temsil eden en uygun kırılma hızı belirlenmeye çalışılacaktır. Ters çözümde her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.5 sn süreli birbiriyle örtüşen 11 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle hesaplamalarda, model fay düzlemi üzerinde 18 sn'lik bir toplam kayma süresine ulaşılmıştır. Aynı zamanda bu işlemle 3.0 km/sn'den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.



#### 3.2.12.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin kayma dağılımının belirlenmesi için başlangıçta kırılma boyutları amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) ve doğrultu atımlı bir faylanma sonucu oluşmuş olduğu göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Model M1, Tablo 3.38.). Model M1 ve deprem odağının sırasıyla KB, GD kenarlarına yakın yerleştirildiği Model M2 ve M3 ile yapılan ters çözüm sonuçları incelendiğinde Model M2 denemesinin diğerlerine göre daha az miktarda hata ile sonuçlandığı görülebilir (Tablo 3.38.). Kayma dağılımı incelendiğinde ise kırılma alanının özellikle uzunluk boyutunda fazla olduğu ve genişlik boyutunda ise bir fay parçası uzatılmasının daha uygun olabileceği düşünülmüştür. Bu fay boyutlarıyla sadece odak lokasyonu merkezde Model M4, KB kenarında M5 ve GD kenarında M6 alınarak denemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde odağın KB kenarında bulunduğu Model M5 denemesinin dalga şekillerine daha iyi bir uyum verdiği görülmüştür.

Önemli parametrelerden biri olan kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti için hızların 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değişen çeşitli denemeler yapılmıştır (Tablo 3.38). Kırılma hızının 2.5 km/sn olduğu ters çözüm denemesi Model M7'nin en az hata oranı ile en uygun çözümü önerdiği ortaya çıkmıştır. Final sonucu olarak model M7 ile yapılan ters çözüm denemesi kabul edilmiştir. Önemle belirtilmelidir ki bu depremin gerek kırılma boyutları gerekse diğer sonlu-fay parametreleri için burada değinilmeyen çok sayıda ters çözüm denemesi yapılmış ve burada sadece Tablo 3.38.'dekilere anlatım kolaylığı açısından değinilmiştir.

Tablo 3.38. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

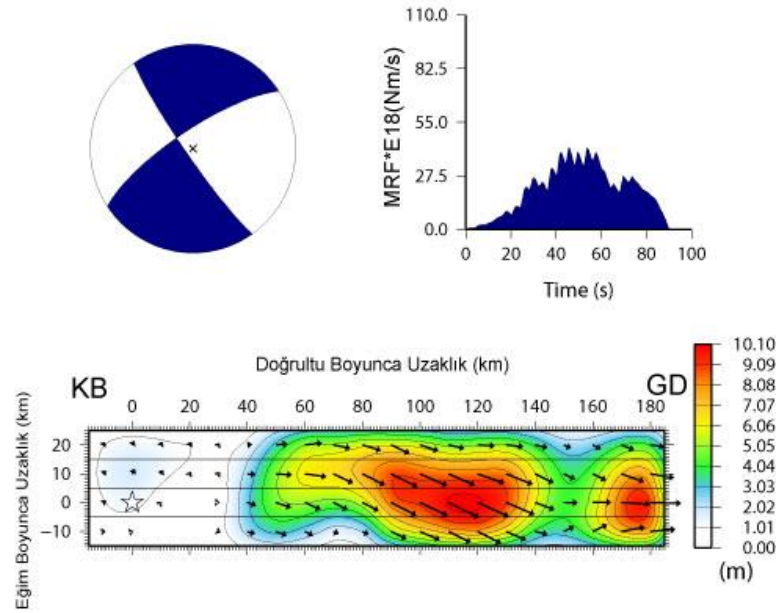
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	250	30	75	10x10	13-2	3,0	-13,3	62,66	0,74177	12,6
M2	250	30	75	10x10	2-2	3,0	-8,1	210,8	0,38620	11,1
M3	250	30	75	10x10	24-2	3,0	60,4	157,1	0,67742	9,4
M4	200	40	80	10x10	10-2	3,0	-2,7	34,04	0,84467	6,6
M5	200	40	80	10x10	2-2	3,0	-19,5	161,9	0,47761	8,0
M6	200	40	80	10x10	19-2	3,0	61,1	50,98	0,88370	4,7
M7	200	40	80	10x10	2-2	2,5	-14,3	197,8	0,41759	10,1
M8	200	40	80	10x10	2-2	2,6	-16,9	189,1	0,43753	9,5
M9	200	40	80	10x10	2-2	2,7	-18,3	182,9	0,44908	9,2
M10	200	40	80	10x10	2-2	2,8	-18,7	176,0	0,45751	8,6
M11	200	40	80	10x10	2-2	2,9	-19,2	169,0	0,46739	8,3
M12	200	40	80	10x10	2-2	3,1	-16,5	154,2	0,49025	8,4
M13	200	40	80	10x10	2-2	3,2	-19,8	147,3	0,50345	8,8
M14	200	40	80	10x10	2-2	3,3	-20,3	141,2	0,51715	9,3
M15	200	40	80	10x10	2-2	3,4	-20,7	135,2	0,52944	9,9
M16	200	40	80	10x10	2-2	3,5	-20,8	129,6	0,53890	10,3

Model M7 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.72.'de gösterilmiştir. Elde edilen bu model için ortaya çıkmış hesaplanan ve gözlemlenen dalga şekilleri Şekil 3.73.'de karşılaştırılmıştır. Deprem esnasında serbestlenen toplam sismik moment ( $M_o$ )  $197.8 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=8.13$ ) ve kayma açısı  $-14^\circ$  olarak elde edilmiştir. Şekil 3.72.'de gösterilen kayma dağılım modeli incelendiğinde kaynak sürecinin tek yönlü kırılma yayılımı ile olduğu görülmektedir. Faylanmanın odağı da içeren KB'daki 50 km uzunluğundaki kayma genliği göreceli olarak küçüktür (1.7 m). Odaktan yaklaşık olarak 40 km GD'ya doğru iki büyük kayma bölgesi yada pürüz bulunmaktadır. İlk pürüz yaklaşık 100 km x 40 km'lik bir alanı kaplamaktadır. En büyük kayma genliği 10.1 m ile kendini göstermektedir. İkinci pürüz ise fayın GD ucunda odaktan 160 ile 180 km arasındaki fay uzunluğunu örtmektedir. Bu pürüzün en büyük kayma genliği 8.5 m olarak belirlenmiştir. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde kırılma sürecinin yaklaşık 90 sn sürdüğü

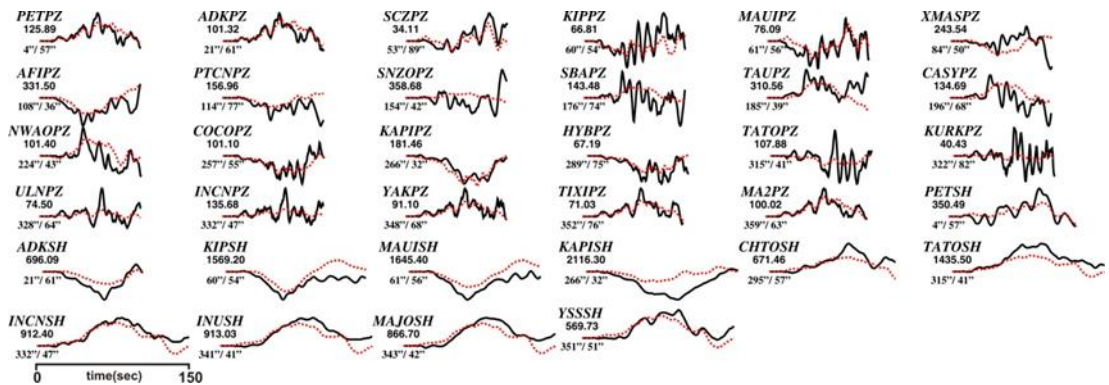
ve en büyük sismik moment serbestlenmesinin 40 – 60 sn aralığında meydana geldiği görülebilir. Sonuç olarak 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda depremi oldukça karmaşık bir moment serbestlenmesine sahip bir transform faylanam sonucu oluşmuş olup kırılma süreci iki pürüzün yenilmesi ile kontrol edilmiştir.

### 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi

Moment =  $0.1978E+22$ (Nm),  $M_w = 8.1$   
(Strike,Dip,Slip,h) = (145.0, 84.0, -14.3, 30.0)

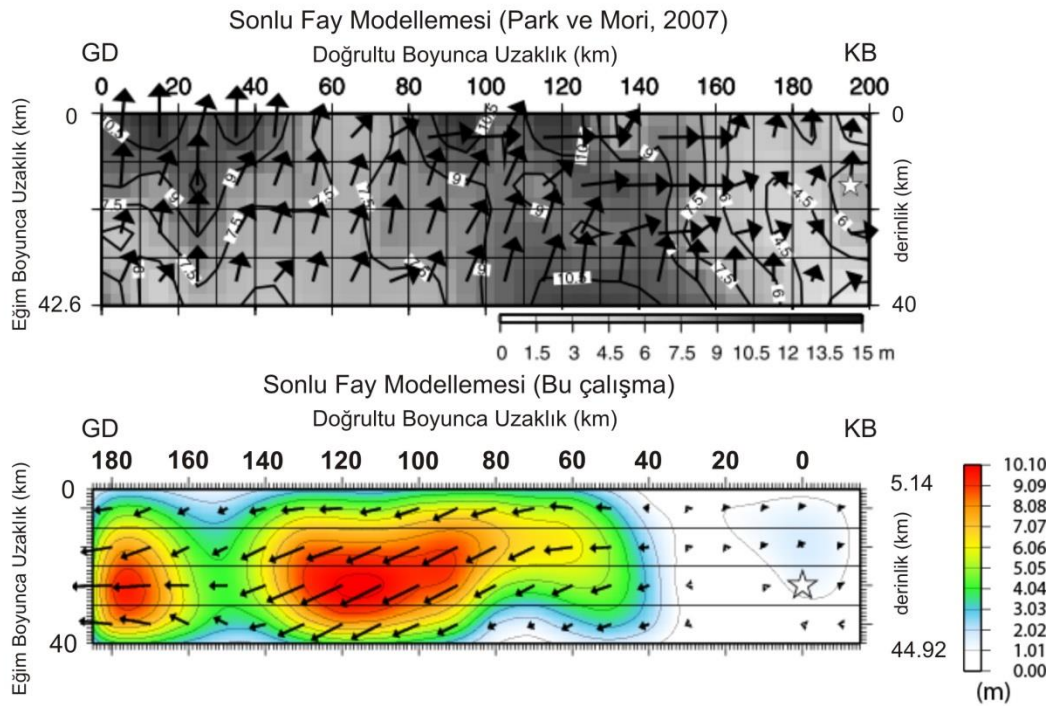


Şekil 3.72. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.38.'deki Model M7 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.73. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M7 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

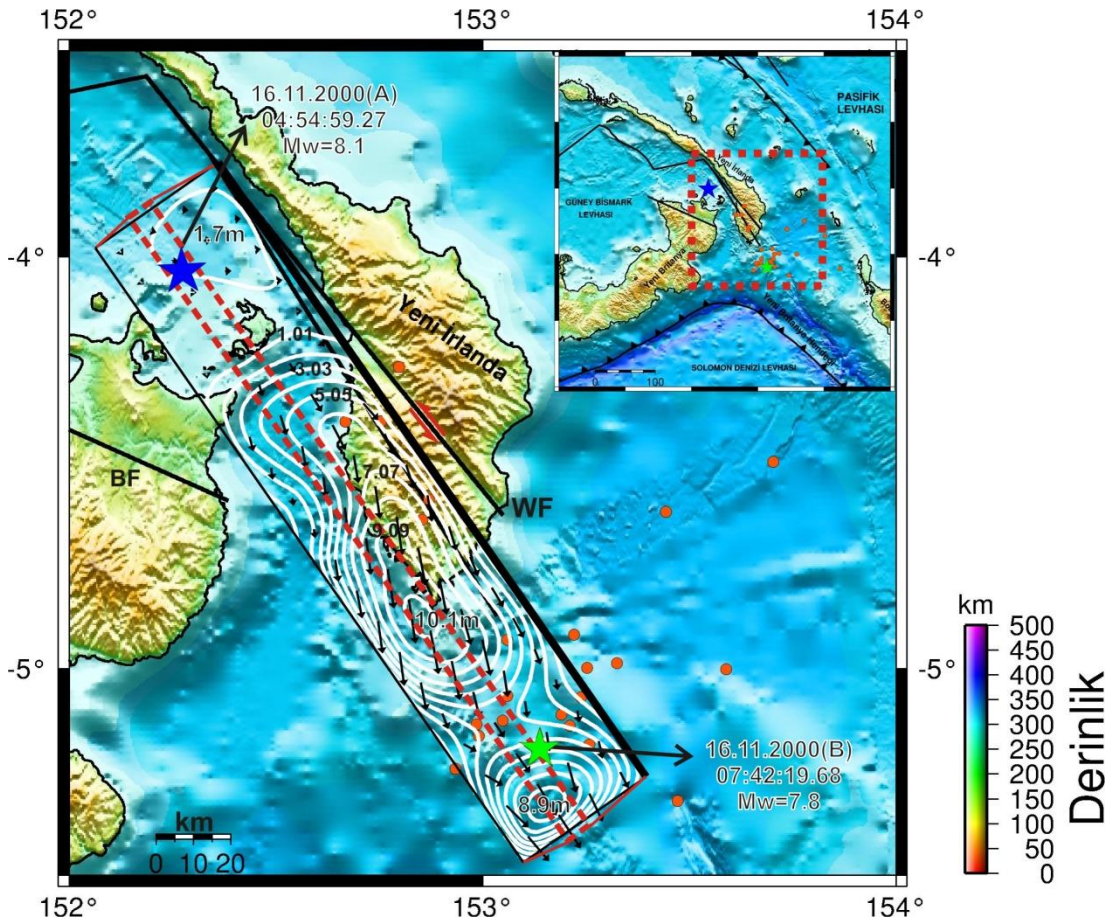
16 Ağustos 2000 (A) depremi için bir sonlu-fay modeli daha önce Park ve Mori (2007a) tarafından uzak-alan P dalga şekillerinden elde edilmiştir. Bu çalışma ile Park ve Mori (2007a) tarafından elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.74.'de karşılaştırılmıştır. Depreme ait kayma modelleri arasında önemli benzerlikler vardır. Her iki modelde de kırılmanın tek yönlü bir ilerlemesi ve KB bölgesinde nispeten daha az kayma genliği değerleri gözlemlenmiştir. Aynı zamanda odaktan hemen hemen eşit uzaklıklarda GD'ya doğru aynı en büyük kayma genlik değerlerini taşıyan bölgeler bulunmuştur. En önemli farklar kayma vektörü açılarında ve GD uçtaki göreceli olarak küçük pürüze ait kaymanın Park ve Mori (2007a)'da daha sığda yerleşmesidir. Önemle belirtmelidir ki, Park ve Mori (2007a) tarafından yapılan modelleme de sadece P dalga şekilleri kullanılmıştır. Bu çalışmada ise P dalga şekillerinin yanında SH dalga şekilleri de kullanılmıştır. SH dalgalarının kayma vektör açısına olan duyarlılığı düşünüldüğünde bu çalışmada belirlenen kayma açılarının daha güvenilir olduğu iddia edilebilir.



Şekil 3.74. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için Park ve Mori (2007a) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması

16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için elde edilen kayma dağılımının harita projeksiyonu üzerindeki gösterimi Şekil 3.75.'de verilmiştir. Faylanma alanı

üzerinde bulunan kesikli kırmızı çizgi bu depremin harita üzerindeki gerçek iz düşümünü belirtmektedir. Depremin eğimi yüksek olduğundan harita üzerine çizildiğinde kayma bölgeleri net olarak gösterilemediğinden böyle bir yola başvurulmuştur. Faylanma alanının GD ucunda depremden sonra kısa bir süre içerisinde meydana gelen artçı depremler 16 Kasım 2000 (B) depremi etrafında kümelenmiştir. Bu olayın oluşu ilk depremin ikinci deprem üzerinde bir gerilme biriktirebileceği şeklinde yorumlanmıştır. Bu amaç iki deprem gerilme değişimleri açısından detaylı bir şekilde incelenecek ve tetikleme mekanizmasının bulguları ortaya koyulmuş olacaktır.



Şekil 3.75. 16 Kasım 2000 (A) Yeni İrlanda Bölgesi depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 16 Kasım 2000 (A) depremi ile bir sonraki büyük deprem olan 16 Kasım 2000 (B) depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 16 Kasım 2000 (A) depremi için konturlar (beyaz çizgi) 1.01 m aralıklarla çizilmiştir. Şekilde kırmızı kesikli çizgi ile belirtilen alan 16 Kasım 2000 (A) depremi için bulunan ve Şekil 3.72.'de verilen kırılma modelinin üzerindeki gerçek iz düşümünü göstermektedir. Gerçek izdüşüm alındığında kayma dağılım konturları belirgin olmayacağından kırılma modeli yatay kabul edilerek kayma konturları gösterilmiştir. WF:Weitin-Kamdaru Fayı, SF: Sapom Fayı, BF: Baining Fayı

### **3.2.13. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 7.8$ ) sonlu fay analizi**

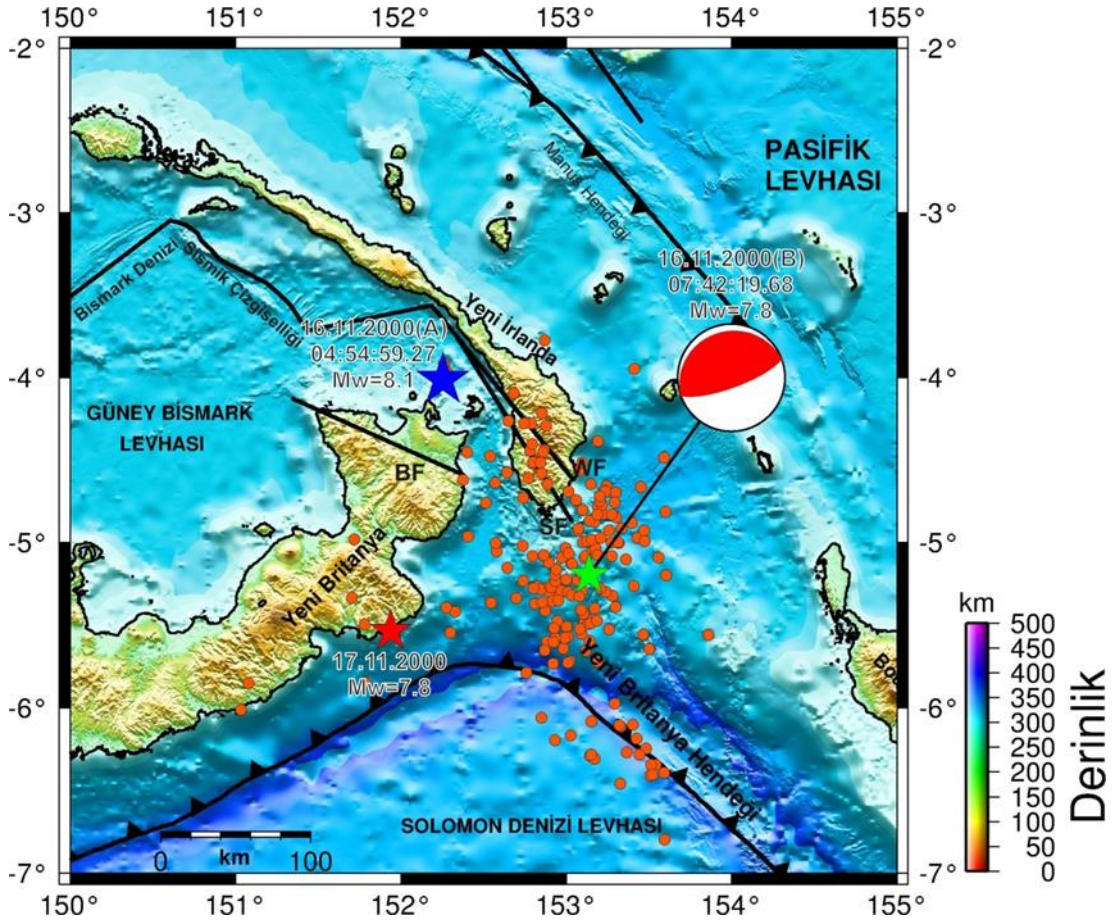
#### **3.2.13.1. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 7.8$ )**

16 Kasım 2000 günü Yeni İrlanda bölgesinde meydana gelen bu deprem ( $M_w \approx 7.8$ ) Yeni İrlanda Bölgesinin yaklaşık olarak güneyinde ve Yeni Britanya Hendeğinin doğusuna yerleşmiş bir dış merkeze sahiptir (Şekil 3.76.). Bu çalışmada 16 Kasım 2000 (B) olarak adlandırılan bu deprem hem 16 Kasım 2000 (A) depreminden yaklaşık 3 saat sonra hemde bu depremin kırılmasının GD ucunda meydana gelmesi bakımından oldukça dikkat çekmiştir.

Park ve Mori (2007a) yaptığı çalışmalarda bu depremin Yeni Britanya Hendeği üzerinde oluştuğu kabulünü yapmışlardır. Depremin kaynak mekanizma çözümünün baskın ters mekanizmalı bir faylanma türünü önermesi bu tezi kuvvetlendirmektedir (Tablo 3.39.). Aynı zamanda Tregoning ve ark. (2005) 16 Kasım 2000 (B) ve bir sonraki bölümde irdelenecek 17 Kasım 2000 depremlerinin Wadati-Benioff zonu üzerinde yaklaşık  $20^\circ$  eğimle kendini gösteren Yeni Britanya dalma-batma zonu levha sınırında bindirme karakterli olaylar olarak gerçekleştiğini öne sürmüşlerdir.

16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ISC-GEM kataloglarından elde edilmiş dışmerkez koordinatları modelleme yapılırken kullanılmıştır (Tablo 3.1.). 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Depremi için çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen kaynak parametreleri Tablo 3.39.'da derlenmiştir.





Şekil 3.76. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (yeşil yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)' dan alınmıştır. Şekildeki daireler 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi ve 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremleri arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). WF: Weitin-Kamdarı Fayı, SF: Sapom Fayı, BF: Baining Fayı

Tablo 3.39. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
07:42:16.93	-5,233	153,102	30,0	100,0	288	24	122	USGS-NEIC
07:42:44.50	-5,030	153,170	31,2	650,0	253	15	93	HRV-GCMT
-	-	-	26,0	220,0	240	17	70	Park ve Mori, (2007a)

### 3.2.13.2. Kullanılan telesismik veri

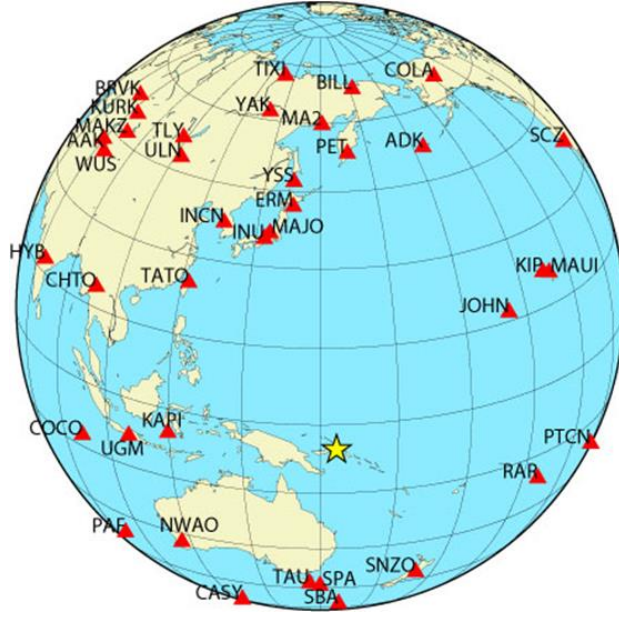
16 Kasım 2000 (B) depreminin sonlu-fay analizinde toplam 37 istasyonda kaydedilmiş P ve 11 istasyonda kaydedilmiş SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekli

kullanılmıştır. Ters çözüm işleminde kullanılan istasyonların listesi Tablo 3.40.'da verilmiştir. Aynı şekilde bu istasyonlara ait azimutal dağılımlar ise Şekil 3.77.'de gösterilmiştir. Veri işlem aşamasında ilk olarak P ve SH dalga şekillerinden alet etkisi giderilmiş ardından verilerdeki 0.01 - 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanarak 0.5 sn aralıklarla yeniden örnekleme yapılmıştır. Ters çözüm işleminde P ve SH dalga şekilleri için 100 sn'lik kayıt uzunluğu kullanılmıştır.

Tablo 3.40. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	3,93	58,43	P,SH
BILL	68,07	166,45	5,16	73,89	P
ADK	51,88	-176,68	20,49	62,65	P,SH
COLA	64,87	-147,86	21,57	82,24	P
SCZ	36,60	-121,4	53,17	89,53	P
JOHN	16,73	-169,53	58,53	42,99	
KIP	21,42	-158,01	59,13	54,83	P,SH
MAUI	20,77	-156,24	60,64	56,10	P,SH
RAR	,21,21	-159,77	113,88	48,38	P
PTCN	-25,07	-130,10	114,57	75,87	P
SNZO	-41,31	174,70	155,00	40,94	P,SH
SBA	-77,85	166,76	177,02	72,99	P
SPA	-90,00	0	180,00	84,78	P
TAU	-42,91	147,32	186,84	38,03	P
CASY	-66,28	110,54	197,09	67,76	P
PAF	-49,35	70,21	220,82	81,39	P
NWAO	-32,93	117,24	225,71	42,36	SH
COCO	-12,19	96,83	258,80	55,93	P
UGM	-7,91	110,52	263,97	42,34	P,SH
KAPI	-5,01	119,75	268,82	33,19	P
HYB	17,42	78,55	289,26	76,92	P
CHTO	18,81	98,94	295,85	58,47	P,SH
WUS	41,20	79,22	313,04	81,46	P
AAK	42,64	74,49	313,65	85,21	P
TATO	24,97	121,5	315,95	43,06	P,SH
MAKZ	46,81	81,98	319,05	81,11	P
KURK	50,72	789,62	322,19	84,34	P
BRVK	53,06	70,28	323,40	89,86	P
ULN	47,87	107,05	328,27	66,64	P
TLY	51,68	103,64	330,07	70,72	P
INCN	37,48	126,62	332,21	49,29	P,SH
INU	35,35	137,03	340,80	43,28	P
MAJO	36,55	138,20	342,74	44,02	P
YAK	62,03	129,68	348,54	69,62	P
ERM	42,02	143,16	350,10	48,09	P
YSS	46,96	142,76	351,20	52,97	P
TIXI	71,63	128,87	352,42	78,47	P
MA2	59,58	150,77	358,71	64,82	P,SH





Şekil 3.77. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.13.3. Sonlu fay model parametrisasyonu

110 x 50 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tanımlanmış ve model fay düzlemi 10 x 5 km boyutlarında 110 fay parçasına (doğrultu boyunca 11 ve eğim boyunca 10 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.78.). HRV-GCMT çözümünden elde edilen doğrultu ( $253^\circ$ ), eğim ( $15^\circ$ ) ve rake ( $93^\circ$ ) açıları model fay parametreleri olarak kullanılmıştır (Tablo 3.39.). Kırılma başlangıcı olarak ISC-GEM odak parametreleri ( $5.195^\circ\text{G} - 153.139^\circ\text{D}$  ve 32.0 km) kullanılmıştır. Deprem odağının model fayın derinlik kenarlarına uzaklıkları yapılacak ters çözüm denemeleri ile belirlemeye çalışılacaktır.

Başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Değişik kırılma hızları ile yapılacak ters çözüm denemeleriyle bu parametrenin en uygun değeri belirlenmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.5 sn süreli birbiriyle örtüşen 10 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 16.5 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanımıştır.



Şekil 3.78. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi doğrultu boyunca 10 km ve eğim boyunca 5 km aralıklarla toplam 110 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KD ve GB kenarına olan uzakları (sırasıyla 37.5 km, 55 km ve 55 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

### 3.2.13.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depreminin modellenebilmesi birçok ters çözüm denemesi yapılmıştır (Tablo 3.41.). Modellemeye Blaser ve ark. (2010) tarafından önerilen okyanusal kabukta meydana gelmiş bindirme türü faylanmalı depremlerin fay boyutlarının elde edilmesinde kullanılan ampirik bağıntılardan elde edilen değerlerle başlanmıştır (Model M1). Odağın faylanma alanının merkezinde yer aldığı bu ters çözüm denemesinde depreme ait kayma bölgeleri odaktan uzakta ve faylanma alanının derindeki bölümünde ortaya çıkmıştır. Odağın KD ve GB fay kenarlarına kaydırıldığı sırasıyla Model M2 ve M3 ters çözüm denemelerinde kayma bölgeleri köşelere sıkışmış olarak belirlenmiştir. Özellikle Model M2 ile yapılan ters çözümde daha düşük hata değeri elde edilmiş olsa da kayma uzaysal dağılımı fiziksel olarak mantıklı değerlendirilmemiştir. Doğrultu boyunca faylanma alanı iki fay parçası genişletilerek odağın merkezde olduğu bir ters çözüm denemesi daha yapılmıştır (Tablo 3.41.'de Model M4). Bu denemenin sonucu Model M2 denemesine göre daha makul bulunmuştur. Hatırlatılmalıdır ki, çok farklı odak konumları, fay boyutları için Tablo 3.41.'de gösterilmemiş birçok ters çözüm denemesi yapılarak kırılma özellikleri kısıtlanmaya çalışılmıştır. Bu denemeler sonucunda odağın fay düzleminin merkezinde yerleştiği ve fayın KD ve GB derin

köşelerine yerleşmiş iki pürüzün bulunduğu bir sonlu-fay modeli elde edilmiştir. Çok sayıda ters çözüm denemesi sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ ) 2.8 km/sn olduğu çözüm final çözümü olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.41. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

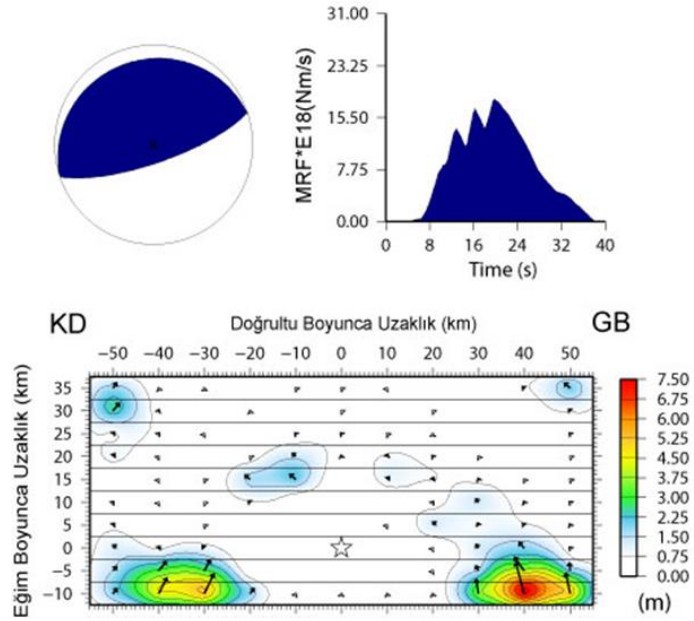
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	$M_o$ ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	$M_o-N_o$					
M1	100	50	100	10x5	5-3	3,0	91,6	22,89	0,37081	7,0
M2	100	50	100	10x5	2-3	3,0	87,1	25,51	0,36373	6,9
M3	100	50	100	10x5	8-3	3,0	95,3	22,62	0,40368	6,6
M4	110	50	110	10x5	6-3	3,0	91,8	23,09	0,37377	6,9
M5	110	50	110	10x5	6-3	2,5	92,2	23,58	0,37598	7,3
M6	110	50	110	10x5	6-3	2,6	92,0	23,54	0,37479	7,5
M7	110	50	110	10x5	6-3	2,7	91,8	23,50	0,37408	7,5
M8	110	50	110	10x5	6-3	2,8	91,7	23,42	0,37373	7,5
M9	110	50	110	10x5	6-3	2,9	91,7	23,19	0,37382	7,4
M10	110	50	110	10x5	6-3	3,1	91,4	22,66	0,38004	6,5
M11	110	50	110	10x5	6-3	3,2	91,1	22,41	0,38192	6,9
M12	110	50	110	10x5	6-3	3,3	90,7	22,14	0,38196	7,2
M13	110	50	110	10x5	6-3	3,4	90,6	21,87	0,38268	7,3
M14	110	50	110	10x5	6-3	3,5	90,2	22,20	0,37380	7,2

Model M8 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.79.'da gösterilmiş ve elde edilen bu model için ortaya çıkan hesaplanan ve gözlemlenen dalga şekilleri Şekil 3.80.'de karşılaştırılmıştır. Şekil 3.79.'da gösterilen kayma dağılımı için hesaplanan sismik moment ( $M_o$ )  $23.42 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.52$ ) ve kayma açısı  $-91^\circ$ 'dir. Kayma dağılım modeli çok sayıda değişik faylanma parametrelerinin denendiği ters çözümler sonucunda gözlenmiş veriye en iyi uyumu veren çözümü yansıtıyor olsa da güvenilir bir sonuç olarak değerlendirilmesi güç görünmüştür. Odak ve etrafında genişçe bir alanda kayma olmaması, pürüzlerin fayın köşelerine sıkışmış hali ve önceki bir sonlu-fay analizinden (Park ve Mori, 2007a) elde edilen modelden büyük farklılık (Şekil 3.81.) böyle bir değerlendirmenin nedenleri arasında gösterilebilir. Dolayısıyla bu deprem için çalışmada tatmin edici bir sonuca ulaşamamıştır. Bu durumun neden kaynaklanmış olabileceğide malesef

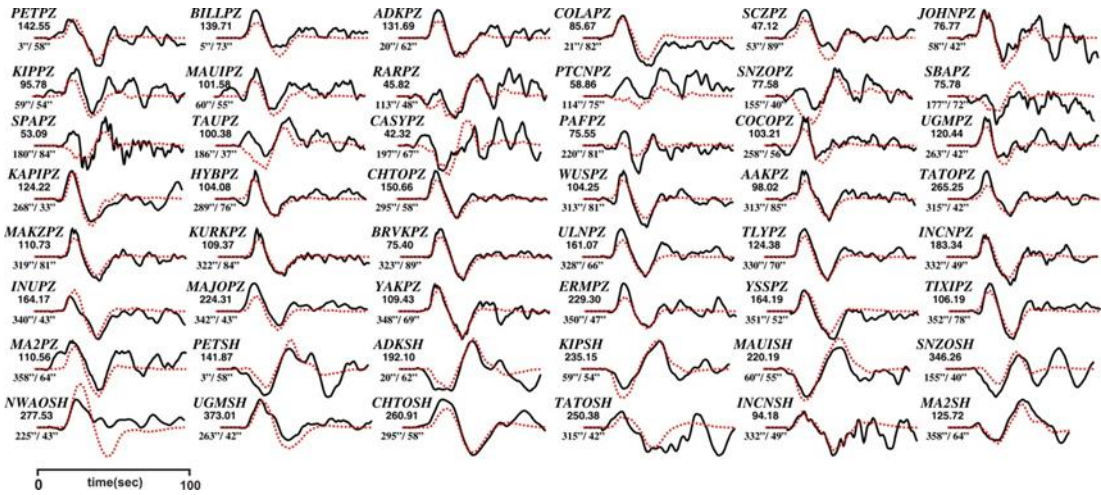
belirlenememiştir. Elde edilen en iyi çözümün harita izdüşümü Şekil 3.82.'de gösterilmiştir.

### 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Depremi

Moment =  $0.2342E+21$ (Nm),  $M_w = 7.5$   
(Strike,Dip,Slip,h) = (253.0, 15.0, 91.8, 32.0)

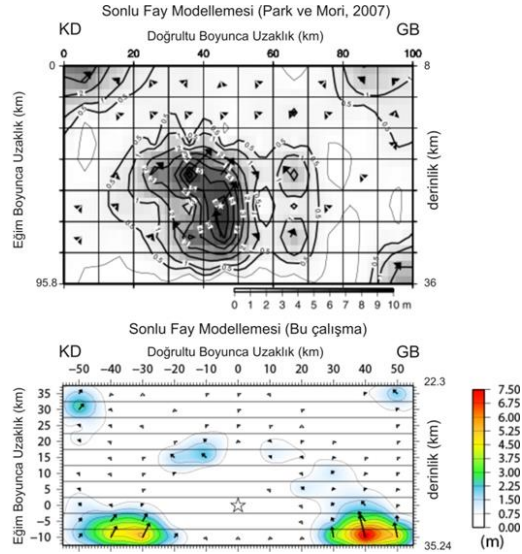


Şekil 3.79. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.41.'deki Model M8 denemesinin sonucunda elde edilmiştir

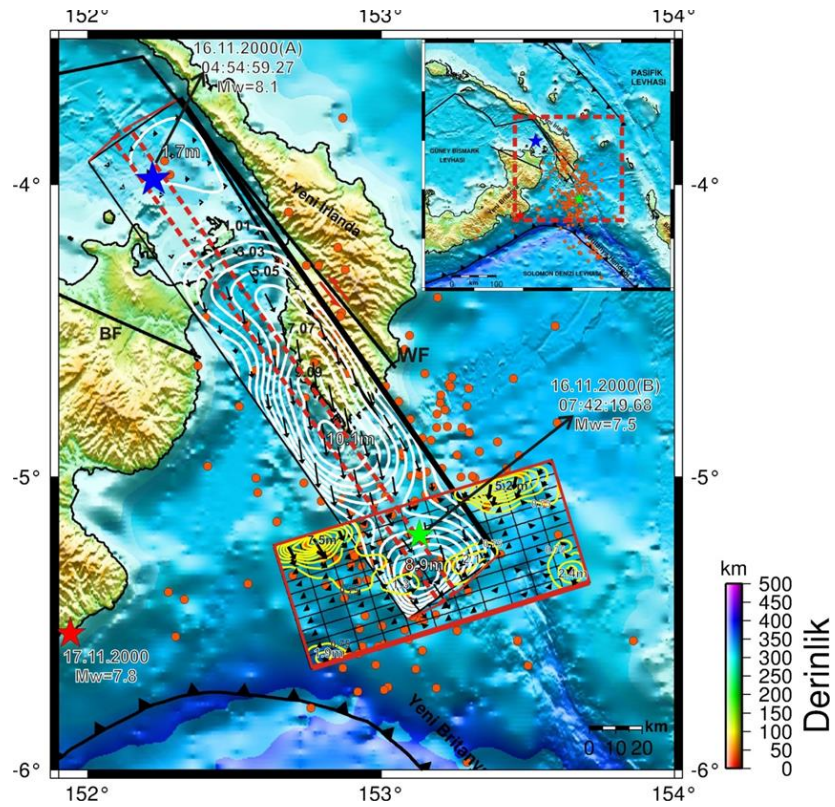


Şekil 3.80. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M8 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir





Şekil 3.81. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi için Park ve Mori (2007a) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması

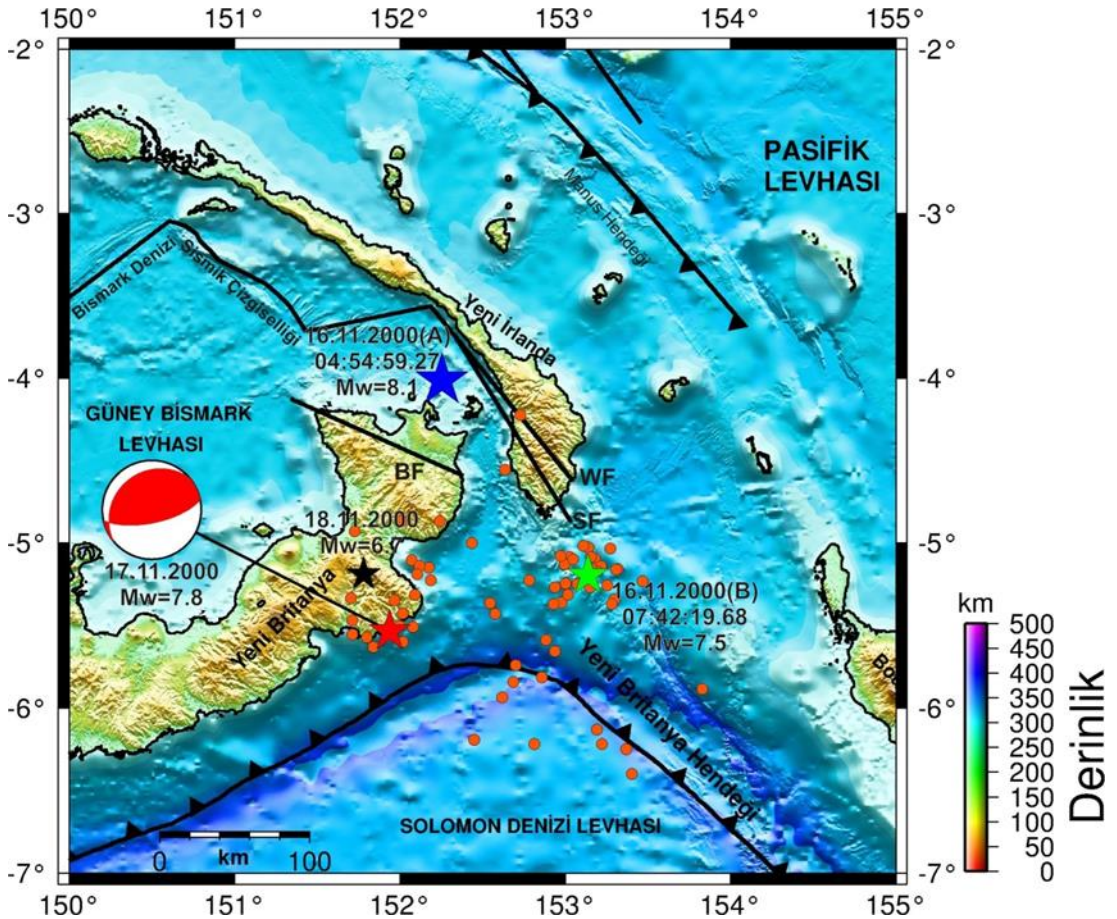


Şekil 3.82. 16 Kasım 2000 (B) Yeni İrlanda Bölgesi depremi (yeşil yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen 16 Kasım 2000 (A) depremi kayma dağılımı da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 16 Kasım 2000 (B) depremi ile bir sonraki büyük deprem olan 17 Kasım 2000 depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Siyah çerçeveli alan 16 Kasım 2000 (A) depreminin faylanma alanını, kırmızı çerçeveli alan ise 16 Kasım 2000 (B) depreminin faylanma alanını göstermektedir. 16 Kasım 2000 (A) depremi için konturlar (beyaz çizgi) 1.01m, 16 Kasım 2000 (B) depremi için konturlar (sarı çizgi) 0.75m aralıklarla çizilmiştir. Şekilde kırmızı kesikli çizgi ile belirtilen alan 16 Kasım 2000 (A) depreminin faylanma alanının harita üzerindeki gerçek iz düşümünü göstermektedir. WF: Weitin-Kamdarı Fayı, BF: Baining Fayı

### 3.2.14.17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 7.8$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.14.1. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 7.8$ )

17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 7.8$ ), 16 Kasım 2000 (A) depreminden yaklaşık 40 ve 16 Kasım 2000 (B) depreminden sonra ise yaklaşık 37 saat sonra Yeni Britanya Hendeği civarında meydana gelmiş büyük bir depremdir (Şekil 3.83.). Tipik bir dalma-batma zonu depremi olan bu deprem 2000 yılı deprem silsilesinin önemli depremlerinden biridir.



Şekil 3.83. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi dış merkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler iki deprem arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloğlarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). WF: Weitin-Kamdarı Fayı, SF: Sapom Fayı, BF: Baining Fayı

17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismolojik merkezler tarafından yapılan kaynak mekanizması çözümleri ters faylanma mekanizması önermektedir (Tablo 3.42.). Kaynak mekanizması çözümü bir düzlemin düşeye yakın olduğu tipik bir dalma-batma zonu depremidir. Yeni Britanya Hendeği'ndeki Solomon Denizi Levhası'nın dalım yönü dikkate alındığında KB'ya eğimli düzlem fay düzlemi olduğu değerlendirilmiştir.

Tablo 3.42. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ Nm)	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
21:01:56.49	-5,496	151,781	33,0	200	281	32	94	USGS-NEIC
21:02:20.10	-5,260	151,340	17,0	560	230	24	64	HRV-GCMT
-	-	-	36,0	250	230	25	57	Park ve Mori, (2007a)
-	-	-	20,0	150	245	34	69	ERI <sup>a</sup>

<sup>a</sup> ERI, Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü (Earthquake Research Institute, University of Tokyo), (Yagi ve Kikuchi, 2000)

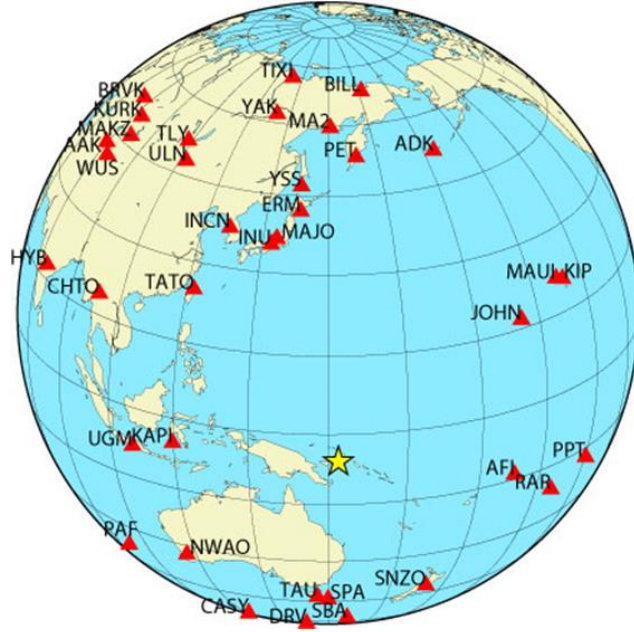
### 3.2.14.2. Kullanılan telesismik veri

Depremin ters çözüm işleminde 37 P ve 12 SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekli kullanılmıştır. Kullanılan istasyonlara ait ayrıntılı bilgiler Tablo 3.43.'de listelenmiştir. Azimutal dağılımları Şekil 3.84.'de gösterilen bu istasyonlardan alınan dalga şekillerine 0.01 - 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmış ve veriler 0.5 sn aralığıyla yeniden aralıklarla örneklenmiştir. P ve SH dalga şekilleri için 80 sn'lik bir bir zaman penceresi ters çözüm için seçilmiştir. Bu tercihin depremin büyüklüğü göz önüne alındığında sonlu-fay kırılma özelliklerini belirlemek için yeterli olacağı ön görülmüştür.

Tablo 3.43. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	4,81	58,83	P,SH
BILL	68,07	166,45	5,63	74,3	P
ADK	51,88	-176,68	21,16	63,37	P,SH
JOHN	16,73	-169,53	59,08	44,23	P
KIP	21,42	-158,01	59,52	56,07	P,SH
MAUI	20,77	-156,24	60,99	57,35	P,SH
AFI	-13,91	-171,78	105,90	36,82	P,SH
PPT	-17,57	-149,58	107,25	58,46	P
RAR	-21,21	-159,77	113,32	49,42	P
SNZO	-41,31	174,70	153,66	41,22	P
SBA	-77,85	166,76	176,74	72,76	P
SPA	-90,00	0	180,00	84,48	P
DRV	-66,66	140,0	185,28	61,69	P
TAU	-42,91	147,32	185,38	37,60	P
CASY	-66,28	110,54	196,74	67,11	P
PAF	-49,35	70,21	220,82	80,34	P
NWAO	-32,93	117,24	225,09	42,24	P
UGM	-7,91	110,52	264,28	41,05	P,SH
KAPI	-5,01	119,75	269,37	31,91	P
HYB	17,42	78,55	289,55	75,82	P
CHTO	18,81	98,94	296,49	57,46	P,SH
WUS	41,20	79,22	313,33	80,74	P
AAK	42,64	74,49	313,86	84,50	P
TATO	24,97	121,50	317,29	42,40	P,SH
MAKZ	46,81	81,98	319,36	80,51	P
KURK	50,72	789,62	322,44	83,30	P
BRVK	53,06	70,28	323,53	89,35	P
ULN	47,87	107,05	328,93	66,24	P,SH
TLY	51,68	103,64	330,63	70,35	P
INCN	37,48	126,62	333,42	48,98	P
INU	35,35	137,03	342,30	43,16	P
MAJO	36,55	138,20	344,21	43,95	P,SH
YAK	62,03	129,68	349,14	69,66	P
ERM	42,02	143,16	351,38	48,18	P
YSS	46,96	142,76	352,29	53,08	P,SH
TIXI	71,63	128,87	352,80	78,60	P
MA2	59,58	150,77	359,42	65,10	P,SH

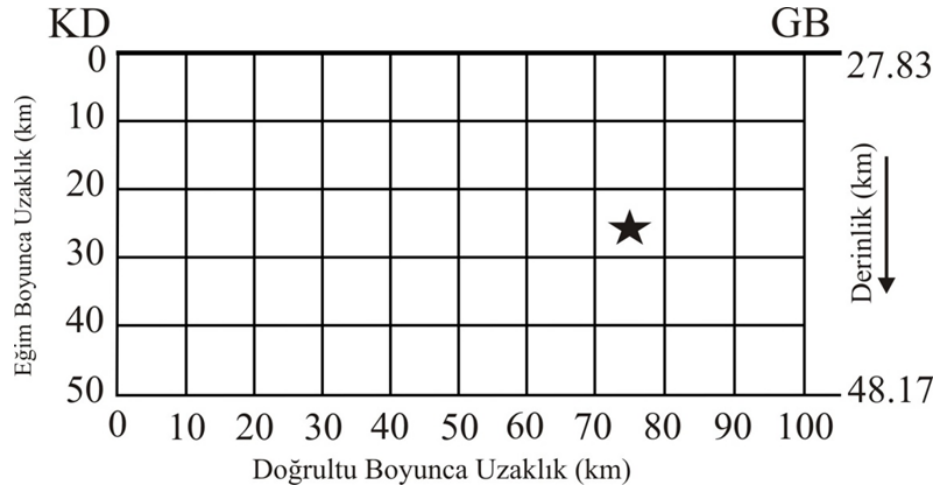




Şekil 3.84. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.14.3. Sonlu-fay Model Parametrizasyon

Faylanma parametreleri olarak HRV-GCMT çözümünden elde edilen doğrultu ( $230^\circ$ ), eğim ( $24^\circ$ ) ve rake ( $64^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır (Tablo 3.42.). Blaser ve ark. (2010) tarafından verilen amirik bağıntılardan  $100 \text{ km} \times 50 \text{ km}$  boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için başlangıçta tanımlanmış, model fay düzlemi  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  boyutlarında 50 fay parçasına (doğrultu boyunca 10 ve eğim boyunca 5 fay parçası) bölünmüş ve ISC-GEM kataloğundan alınan odak konumu ( $5.535^\circ\text{G} - 151.940^\circ\text{D}$  ve  $38 \text{ km}$ ) dikkate alınarak deprem kaynak bölgesine yerleştirilmiş (Şekil 3.85.). Odağın fay düzlemi üzerindeki konumu ters çözüm denemeleriyle belirlenecektir.



Şekil 3.85. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 10km aralıklarla toplam 50 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KD ve GB kenarına olan uzakları (sırasıyla 25 km, 75 km ve 25 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmış ve denemeler sonucunda en uygun kırılma hızı belirlenecektir. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.5 sn süreli birbiriyle örtüşen 11 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 18 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.14.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Başlangıç ters çözüm denemesinde (Model M1) depremin odağı faylanma alanının ortasında konumlanmıştır. Bu şekilde yapılan ters çözüm sonucunda depreme ait kaymanın alanı KD kenarına sıkışmış olduğu görülmüştür. Odağın KD kenarına konumlandığı ters çözüm denemesi (Model M2) ile yapılan ters çözüm denemesi modelleme sonucunda kayma alanı iyice KD kenarına sıkışmıştır. GB kenarında odağın konumlandığında ters çözüm denemesinde (Model M3) ise kayma alanının tam olarak çevrelenemediği görülmüştür. Her ne kadar Model M2 ile yapılan ters çözüm sonucu hata miktarı daha az çıksa da kaymanın fiziksel olarak değerlendirildiğinde Model M3 ile yapılan ters çözüm en uygun olarak kabul edilmiştir. Önemle belirtilmelidir ki, burada değinilmeyen çeşitli fay boyutları ve odağın faylanma alanı üzerindeki çeşitli lokasyonları için çok sayıda ters çözüm denemeleri yapılmıştır. Kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti için yapılan çok sayıda ters

çözüm denemesi sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ ) 3.4 km/sn olduğu ters çözüm denemesi Model M12 final çözümü olarak kabul edilmiştir (Tablo 3.44.).

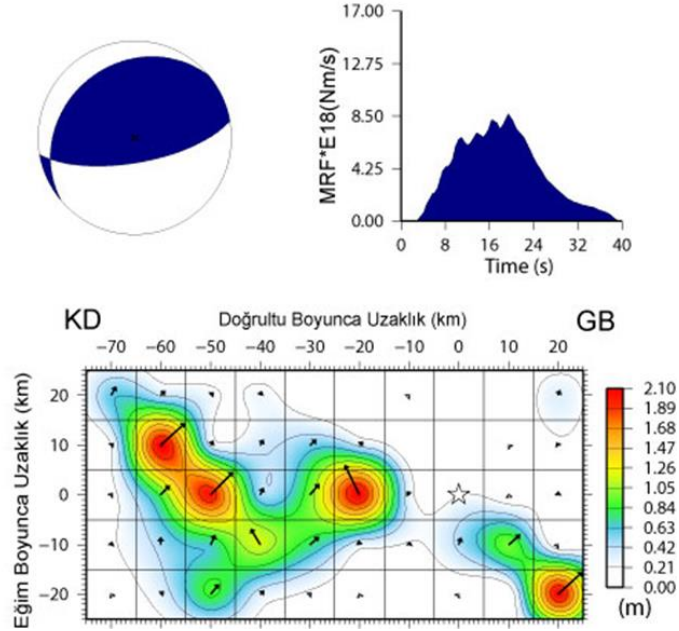
Tablo 3.44. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	$M_0$ ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	$M_0-N_0$					
M1	100	50	100	10x10	6-3	3.0	61.8	11.49	0.29581	3.5
M2	100	50	100	10x10	2-3	3.0	67.4	12.69	0.28611	3.7
M3	100	50	100	10x10	8-3	3.0	62.8	12.82	0.29512	3.6
M4	100	50	100	10x10	8-3	2.5	63.1	12.98	0.30370	2.4
M5	100	50	100	10x10	8-3	2.6	63.1	12.92	0.30224	2.2
M6	100	50	100	10x10	8-3	2.7	63.0	12.88	0.30015	2.4
M7	100	50	100	10x10	8-3	2.8	63.0	12.86	0.29862	3.2
M8	100	50	100	10x10	8-3	2.9	62.6	12.87	0.29862	3.5
M9	100	50	100	10x10	8-3	3.1	63.0	12.76	0.29437	3.3
M10	100	50	100	10x10	8-3	3.2	62.9	12.70	0.29256	2.9
M11	100	50	100	10x10	8-3	3.3	62.3	12.83	0.28657	2.4
M12	100	50	100	10x10	8-3	3.4	62.1	12.77	0.28546	2.1
M13	100	50	100	10x10	8-3	3.5	62.2	12.62	0.28689	2.1

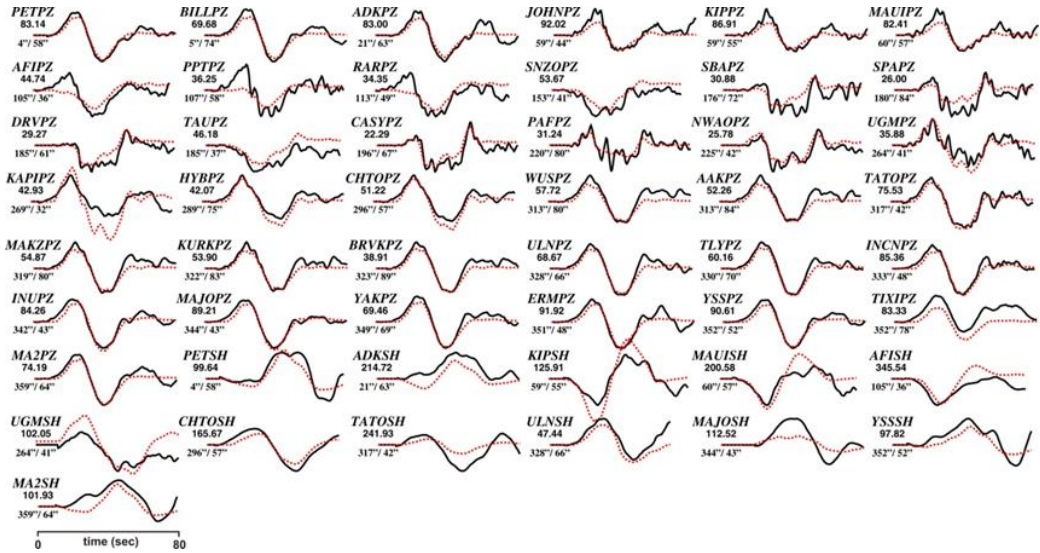
Model M12 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.85.'de gösterilmiştir. Model M12 ile ortaya çıkan kayma dağılımından hesaplanan ve gözlemlenen dalga şekilleri Şekil 3.86.'da karşılaştırılmıştır. Deprem esnasında serbestlenen toplam sismik moment ( $M_0$ )  $12.77 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.34$ ) ve kayma açısı  $62^\circ$  olarak bulunmuştur. Sismik moment önceki hesaplamalara göre daha küçük çıkmıştır (Tablo 3.42.). En yakın hesaplama USGS-NEIC'in hesapladığı sismik momenttir. Şekil 3.86.'da verilen kayma dağılımı heterojen bir kırılmaya işaret etmektedir. Kırılma çoğunlukla ağırlıklı olarak KD'ya doğru yayılmıştır. Yani kırılma daha çok tek taraflı olarak yayılmıştır. Odağın KD'sundaki asıl kayma bölgesi kenar uzunluğu yaklaşık 50 km olan bir eşkenar üçgenle çevrelenen bir alan olarak ifade edilebilir ve üç belirgin yüksek kayma bölgesi diğer bir pürüz olarak değerlendirilmiştir. En yüksek kayma genliği (2.1 m) odağın KD'sunda ve GB'sında derinde yerleşmiş bir üçüncü pürüz üzerinde belirlenmiştir. Kaynak-zaman fonksiyonu yaklaşık 40 sn süren bir kırılma sürecine işaret etmektedir.

## 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi

Moment =  $0.1277E+21$ (Nm),  $M_w = 7.3$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (230.0, 24.0, 62.2, 38.0)

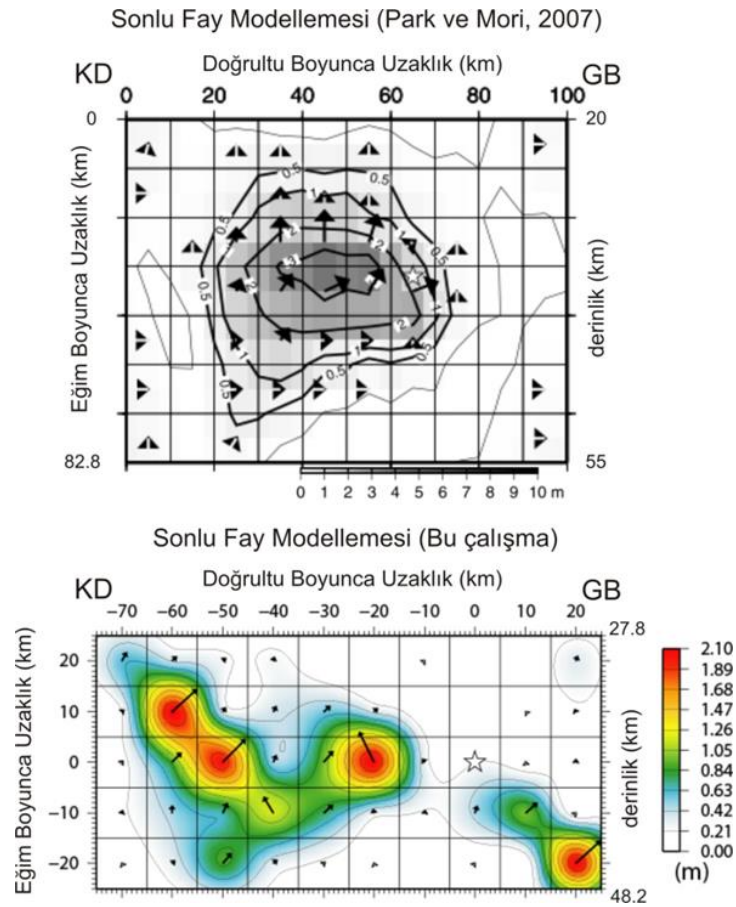


Şekil 3.86. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.44.'deki Model M12 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.87. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M12 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

Aynı deprem Park ve Mori (2007a) tarafından da telesismik P dalgaları kullanılarak modellenmiştir. Şekil 3.88.'de her iki modelde karşılaştırılmıştır. Kayma dağılım modelleri incelendiğinde her iki modelde de odağın GB kenarına yakın şekilde konumlandığı ve asıl kaymanın odağın KD'sunda yerleştiği görülebilir. Ancak, Park ve Mori (2007a) tarafından belirlenen model kayma daha homojen ve en büyük kayma genliği (4 m) daha yüksektir. Park ve Mori (2007a)'nin sadece P dalgaları şekillerinin kullanıldığı hatırlatılmalıdır.

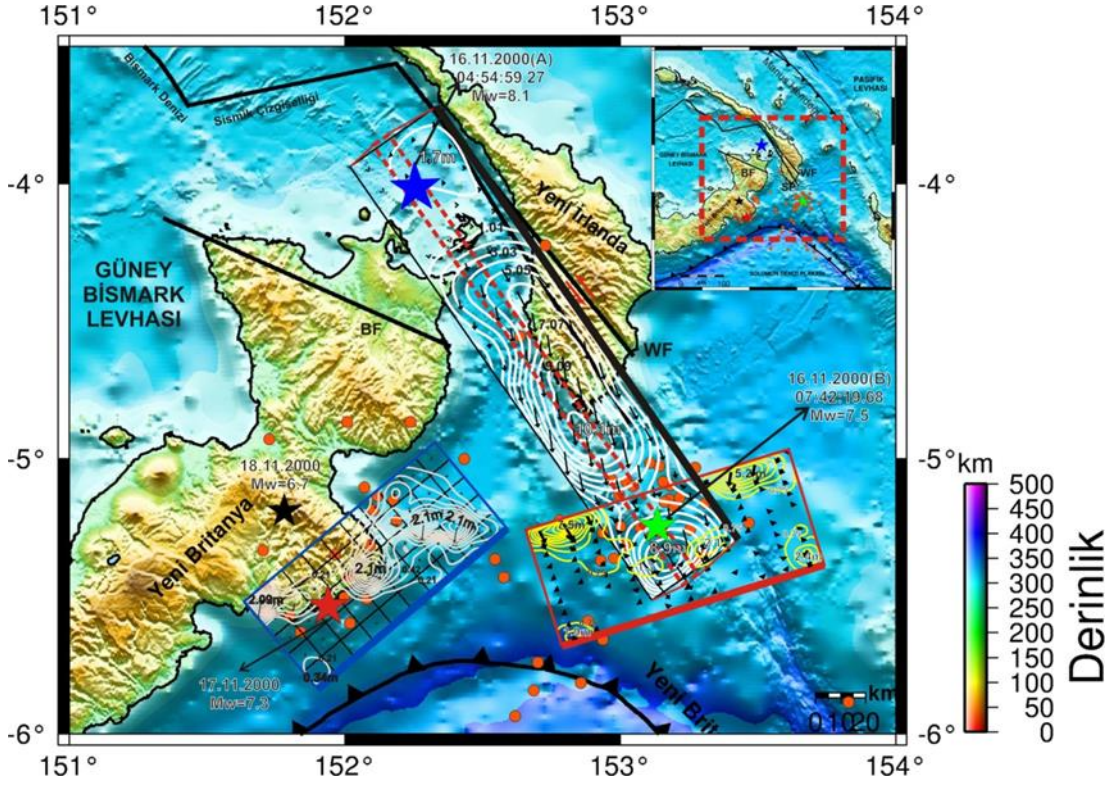


Şekil 3.88. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için Park ve Mori (2007a) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması

Yapılan ters çözüm sonucu 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için elde edilen kayma dağılımı harita projeksiyonu Şekil 3.89.'da bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen iki depremin (16 Kasım 2000 (B) ve 16 Kasım 2000 (A) depremleri) kayma dağılımlarıyla gösterilmiştir. 17 Kasım 2000 depreminden sonra meydana gelen artçı depremler faylanma alanındaki pürüzlerin etrafında toplanmıştır. Bu bölge aynı zamanda bu depremden kısa bir süre meydana gelen 18 Kasım 2000



depreminin dışmerkezine oldukça yakın konumdadır. Bu nedenle 18 Kasım 2000 depreminin oluşumunda 17 Kasım 2000 depreminin gerilme birikimi konusunda herhangi bir rol üstlenip üstlenmediği tartışılmalıdır.

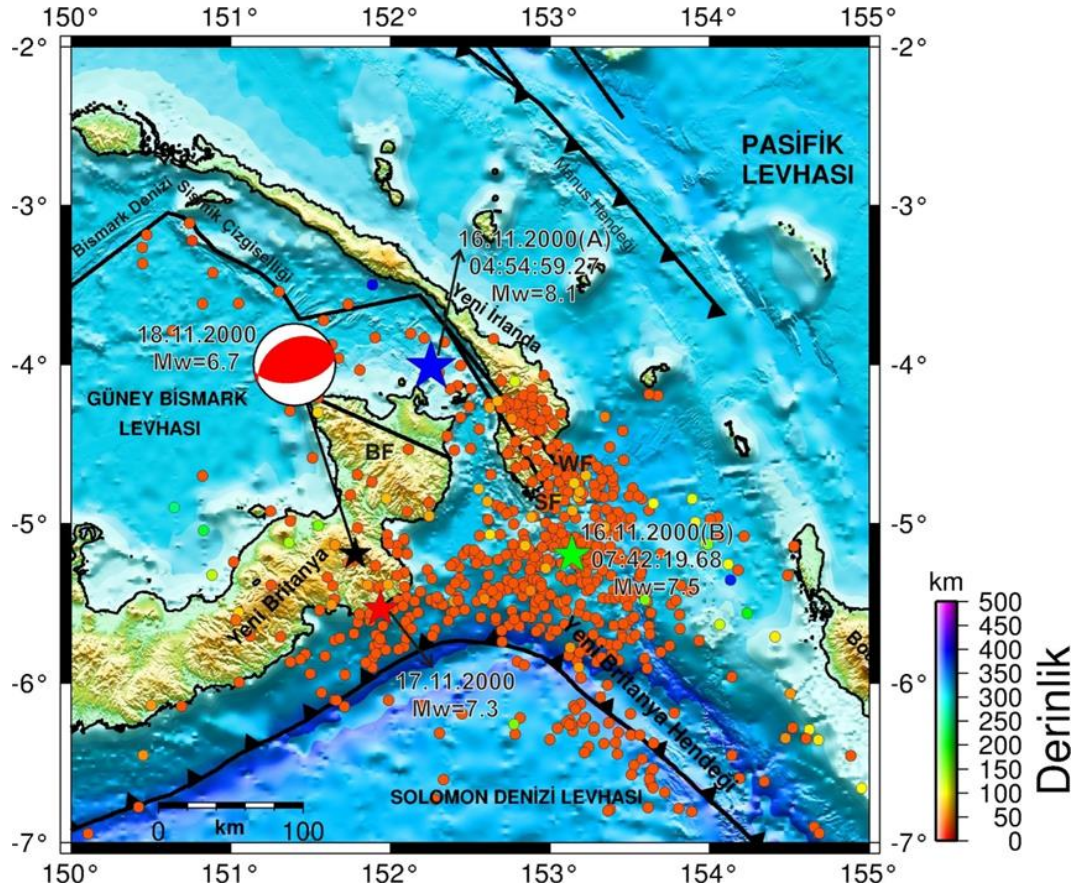


Şekil 3.89. 17 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen 16 Kasım 2000 (A) ve 16 Kasım 2000 (B) depremlerinin kayma dağılımları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 17 Kasım 2000 depremi ile bir sonraki büyük deprem olan 18 Kasım 2000 depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Siyah çerçevesi alan 16 Kasım 2000 (A) depreminin faylanma alanını, kırmızı çerçevesi alan 16 Kasım 2000 (B) depreminin faylanma alanını ve lacivert çerçevesi alan ise 17 Kasım 2000 depreminin faylanma alanını göstermektedir. 16 Kasım 2000 (A) depremi için konturlar (beyaz çizgi) 1.01 m, 16 Kasım 2000 (B) depremi için konturlar (sarı çizgi) 0.75 m ve 17 Kasım 2000 depremi için konturlar (krem rengi çizgi) 0.21 m aralıklarla çizilmiştir. Şekilde kırmızı kesikli çizgi ile belirtilen alan 16 Kasım 2000 (A) depreminin faylanma alanının harita üzerindeki gerçek iz düşümünü göstermektedir. WF: Weitin-Kamdaru Fayı, BF: Baining Fayı

### 3.2.15.18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.15.1. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.7$ )

2000 yılında meydana gelmiş önemli depremlerden biri de 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremidir ( $M_w \approx 6.7$ ). Bu deprem Yeni Britanya adasının altında, 17 Kasım 2000 depremine oldukça yakın bir konumda meydana gelmiştir (Şekil 3.90.). Depremın faylanma türü bindirme karakterli olduğundan oluşumunun Yeni Britanya Hendeğinin dalımı neticesinde levhalar arası yüzeyde meydana geldiği söylenebilmektedir.



Şekil 3.90. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi dış merkez lokasyonu (siyah yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminden sonraki 6 ay içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanındaki derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloğlarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). WF: Weitin-Kamdarı Fayı, SF: Sapom Fayı, BF: Baining Fayı



Depremin çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen kaynak parametreleri (Tablo 3.45.) 17 Kasım 2000 depremi kaynak mekanizmasına benzer bir kaynak mekanizmasına sahiptir. Bu durum bu depremin levhalar arası bir yüzeyde benzer geometrik kırılmanın ilerlemesine karşılık geldiğini önermektedir. Ters çözüm işlemi yapılırken odak lokasyonu bilgileri ISC-GEM tarafından verilmiş parametreler tercih edilmiştir.

Tablo 3.45. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

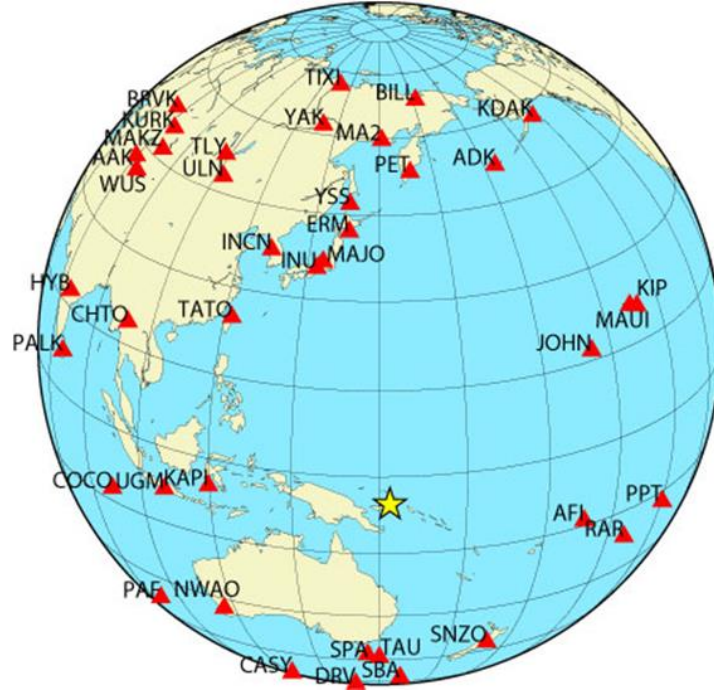
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
06:54:58.35	-5,228	151,771	33,0	15	261	42	88	USGS-NEIC
06:55:10.10	-5,430	151,850	50,0	16	243	37	75	HRV-GCMT

### 3.2.15.2. Kullanılan telesismik veri

18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin sonlu-fay ters çözümü için toplam 39 istasyonda kaydedilmiş P ve 10 istasyonda kaydedilmiş SH geniş-bant yer değiştirme dalga şekilleri kullanılmıştır. Tablo 3.46.'da listelenen bu istasyonların azimutal dağılımı Şekil 3.91.'de verilmiştir. Verilerden alet etkisi giderildikten sonra 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulaması yapılmıştır. Aynı zamanda veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Yapılacak ters çözüm işlemi için depremin büyüklüğü göz önüne alınarak 60 sn'lik bir zaman penceresi ters çözüm için seçilmiştir. Bu zaman penceresi kaynakla ilgili sinyalleri içerecek uzunlukta olduğu dalga şekillerinin gözle denetlenmesinden belirlenmiştir.

Tablo 3.46. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

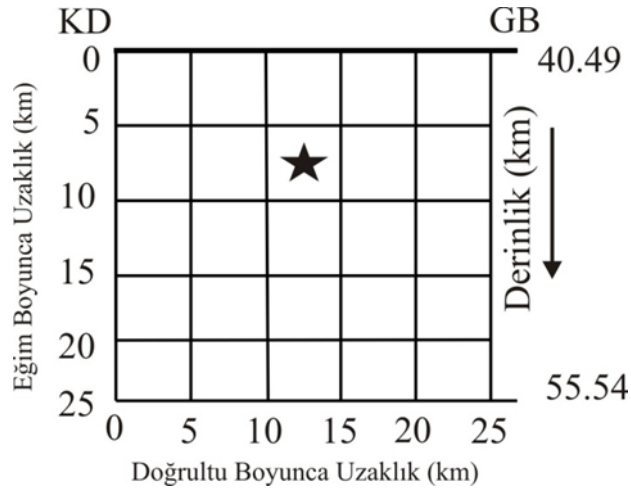
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	4,89	58,58	P
BILL	68,07	166,45	5,68	74,06	P
ADK	51,88	-176,68	21,26	63,17	P,SH
KDAK	57,78	-152,58	26,85	77,21	P
JOHN	16,73	-169,53	59,36	44,18	P
KIP	21,42	-158,01	59,71	56,02	P,SH
MAUI	20,77	-156,24	61,17	57,31	P
AFI	-13,91	-171,78	106,20	36,98	P,SH
PPT	-17,57	-149,58	107,39	58,62	P
RAR	-21,21	-159,77	113,50	49,60	P
SNZO	-41,31	174,70	153,70	41,49	P
SBA	-77,85	166,76	176,72	73,02	P
SPA	-90,00	0	180,00	84,73	P
DRV	-66,66	140,00	185,22	61,93	P
TAU	-42,91	147,32	185,24	37,84	P
CASY	-66,28	110,54	196,68	67,32	P
PAF	-49,35	70,21	220,79	80,47	P
NWAO	-32,93	117,24	224,83	42,36	P
UGM	-7,91	110,52	263,99	40,89	P
KAPI	-5,01	119,75	268,97	31,82	P
PALK	7,27	80,70	279,42	71,95	P
HYB	17,42	78,55	289,50	75,65	P
CHTO	18,81	98,94	296,38	57,26	P
WUS	41,20	79,22	313,32	80,50	P
AAK	42,64	74,49	313,86	84,26	P
TATO	24,97	121,50	317,19	42,15	P,SH
MAKZ	46,81	81,98	319,35	80,26	P
KURK	50,72	789,62	322,44	83,55	P
BRVK	53,06	70,28	323,53	89,09	P
ULN	47,87	107,05	328,92	65,97	P,SH
TLY	51,68	103,64	330,62	70,08	P
INCN	37,48	126,62	333,40	48,71	P,SH
INU	35,35	137,03	342,33	42,90	P
MAJO	36,55	138,20	344,24	43,68	P,SH
YAK	62,03	129,68	349,17	69,40	P,SH
ERM	42,02	143,16	351,44	47,92	P,SH
YSS	46,96	142,76	352,35	52,82	P
TIXI	71,63	128,87	352,83	78,34	P
MA2	59,58	150,77	359,48	64,84	P,SH



Şekil 3.91. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.15.3. Solu fay model parametrisasyonu

Amirik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) 30 km x 15 km boyutlarında bir düzlem belirlenmesine rağmen bir sonraki adımda anlaşılacağı üzere 25 km x 25 km boyutlarında bir fay düzleminin daha uygun olduğu görülmüştür (Şekil 3.92.). Doğrultusu, eğimi ve rake açısı Tablo 3.45.'de verilen HRV-GCMT çözümünden sırasıyla 243°, 37° ve 75° olarak alınmıştır. ISC-GEM olarak konumu (5.190°G - 151.780°D ve 45.0 km) dikkate alınarak deprem kaynak bölgesinde konumlandırılan fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 25 fay parçasına bölünmüştür (Şekil 3.92.). Odağın fay üzerindeki konumu ise yapılacak ters çözüm denemelerinde belirlenecektir.



Şekil 3.92. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5km aralıklarla toplam 25 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KD ve GB kenarına olan uzakları (sırasıyla 7.5 km, 12.5 km ve 12.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ), 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Ters çözüm denemeleri sonucunda en uygun kırılma hızı belirlenmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 7 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 8 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.15.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Blaser ve ark. (2010) tarafından geliştirilen ampirik bağıntılardan oluşturulan bir başlangıç fay modelinde (Tablo 3.47., Model M1) odak faylanma alanının tam merkezine yerleştirilmiş ve asıl kayma bölgesi tam odağın etrafında ve küçük kayma bölgeleri fayın GB kenarına sıkışmış olarak belirlenmiştir. Odak KD kenarına yakın yerleştirildiğinde (Model M2) hata küçük bir miktar azalmış olmasına rağmen odak etrafındaki asıl kayma bölgesinin pürüzün KD kenarında sıkıştığı görülmüştür. Odağın GB kenarında konumlandığı Model M3 denemesinde ise hata miktarı biraz daha düşmüş olmasına rağmen asıl kayma bölgesinin GB kenarına sıkışmış olduğu gözlemlenmiştir. Bu üç ters çözüm denemesinin ardından ana pürüzün odak etrafında konumlandığı ve bundan sonraki denemelerde odağın faylanma alanının merkezine yerleştirilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Model M4 denemesi ise faylanma

boyutlarının doğrultu ve eğim yönünde genişletildiği bir modellemeyi içermektedir. Deneme asıl kayma bölgesi etrafındaki küçük kayma bölgelerinin tam olarak ortaya çıkarılması amacıyla yapılmıştır. Denemeler, faylanma alanı ne kadar genişletilirse genişletilsin (doğrultu boyunca) her zaman GB köşesinde yerleşmiş küçük bir kayma bölgesinin ortaya çıktığını göstermiştir. Model M5 denemesinde odak etrafında konumlanan kayma bölgesinin rahatlatıla bilmesi için odak eğim boyunca bir fay parçası genişletilmiştir. Bunun yanı sıra gereksiz olduğu düşünülerek faylanma alanı faylanma doğrultusunda bir fay parçası daraltılmıştır. Bu denemede ana pürüzün eğim yönünde sıkıştığı görülerek odak bir fay parçası yukarı taşınmış ve böylece Model M6 oluşturulmuştur. Model M6 her ne kadar diğer modeller M3, M4, M5'den daha fazla hata değeri verse de fiziksel olarak daha anlamlı bulunmuştur (Tablo 3.47.). Depreme ait kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti için çok sayıda deneme sonucunda en az hata kırılma hızının 3.5 km/sn alındığı Model 16 sonuç model olarak kabul edilmiştir (Tablo 3.47.).

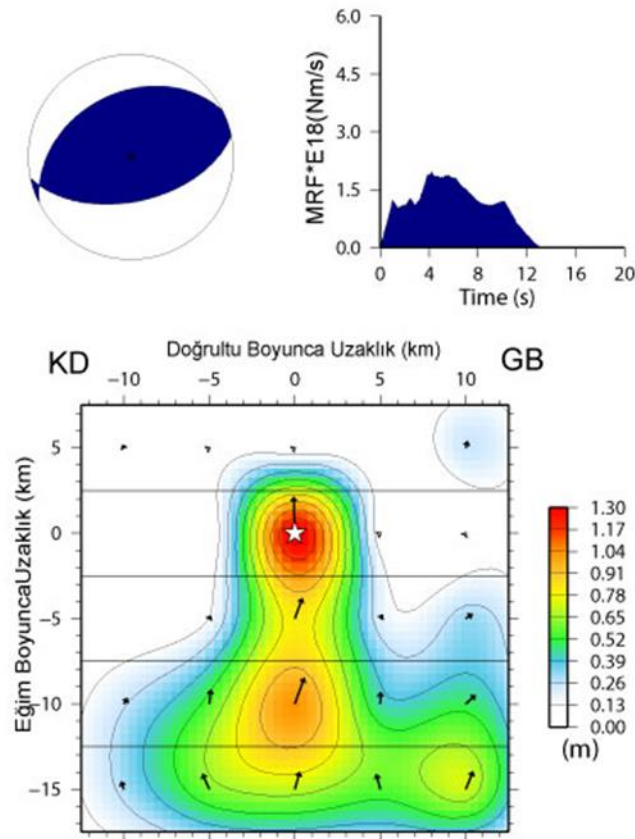
Tablo 3.47. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	$M_0$ ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	$M_0-N_0$					
M1	30	15	25	5x5	3-2	3,0	78,2	1,407	0,36909	1,9
M2	30	15	25	5x5	1-2	3,0	77,4	1,535	0,36126	2,0
M3	30	15	25	5x5	6-2	3,0	78,0	1,492	0,35622	2,0
M4	40	20	32	5x5	3-3	3,0	77,3	1,511	0,35199	1,8
M5	25	25	25	5x5	3-3	3,0	78,3	1,386	0,36194	1,7
M6	25	25	25	5x5	3-4	3,0	78,0	1,370	0,36375	1,6
M7	25	25	25	5x5	3-4	2,5	77,9	1,396	0,36765	1,8
M8	25	25	25	5x5	3-4	2,6	77,9	1,390	0,3660	1,8
M9	25	25	25	5x5	3-4	2,7	78,0	1,384	0,36598	1,7
M10	25	25	25	5x5	3-4	2,8	78,0	1,379	0,36513	1,7
M11	25	25	25	5x5	3-4	2,9	78,0	1,375	0,36456	1,7
M12	25	25	25	5x5	3-4	3,1	78,0	1,367	0,36259	1,6
M13	25	25	25	5x5	3-4	3,2	78,1	1,363	0,36214	1,6
M14	25	25	25	5x5	3-4	3,3	78,1	1,359	0,36160	1,5
M15	25	25	25	5x5	3-4	3,4	78,1	1,355	0,36159	1,5
M16	25	25	25	5x5	3-4	3,5	78,0	1,343	0,36156	1,3

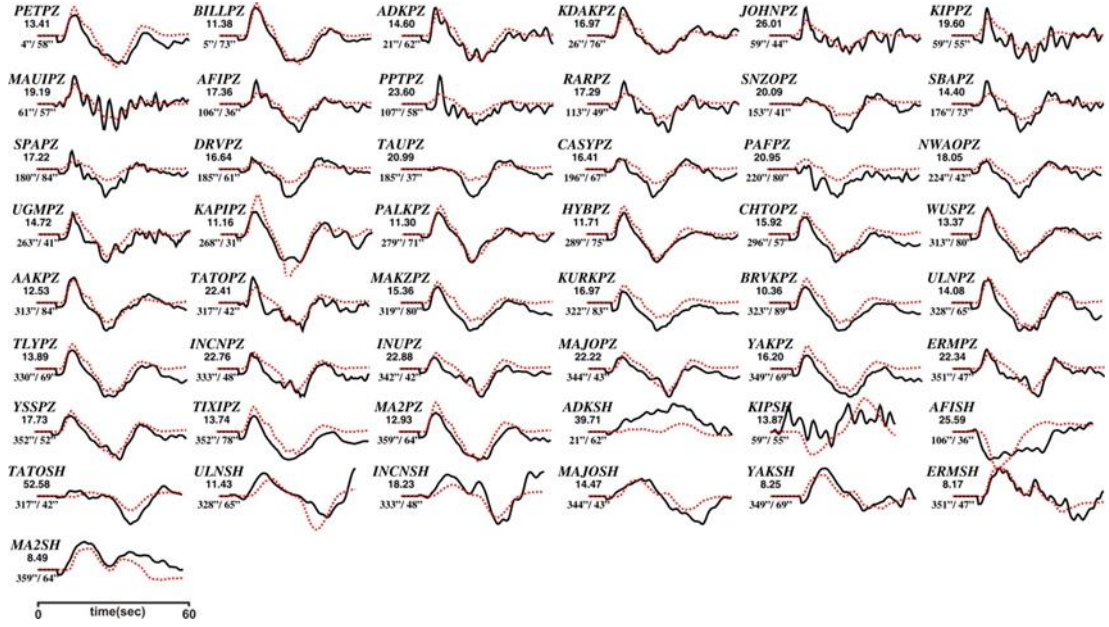
Model M16 denemesinden elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.93.'de ve yine bu modelden hesaplanan ve gözlemlenen dalga şekilleri Şekil 3.94.'de karşılaştırılmıştır. Bu kayma dağılımından hesaplanan sismik moment ( $M_0$ )  $1.343 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.69$ ) ve kayma açısı  $78^\circ$  olarak bulunmuştur. Kayma dağılım modeli üç pürüzün kırılmasını içermektedir. En büyük pürüz 1.3 m'lik en büyük kayma genliği ile odakta merkezlenmiş 8 km çaplı dairesel bir fay alanını örtmektedir. Bu pürüzün kırılmasından sonra kırılma eğim aşağı büyük pürüze göre daha geniş bir fay alanını örten bir pürüzün kırılması ile yayılmıştır. Bu pürüzün GB'sına ise en küçük pürüzün kırılması gerçekleşmiştir. Hesaplanan sismik moment boşalım fonksiyonu kırılma sürecinin 13 sn sürdüğüne işaret etmektedir.

### 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi Depremi

Moment =  $0.1343E+20$ (Nm),  $M_w = 6.7$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (243.0, 37.0, 78.0, 45.0)



Şekil 3.93. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.47.'deki Model M16 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.94. 18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model 16 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga şekillerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

18 Kasım 2000 Yeni Britanya Bölgesi depremi için elde edilen kayma dağılımının harita iz düşümü Şekil 3.95.'de tek başına, Şekil 3.96.'da ise uzay ve zamanda yakın olarak yerleşmiş silsilenin diğer depremlerininin (16 Kasım 2000A ve 16 Kasım 2000B ve 17 Kasım 2000) kayma dağılımlarının harita iz düşümleri ile birlikte gösterilmiştir. 18 Kasım 2000 depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelen depremlerin konumları incelendiğinde faylanma alanı içi ve çevresinde göreceli olarak az sayıda depremin meydana gelmiş olduğu ve depremlerin daha çok Yeni Britanya Hendeğinin daldığı yerde ve Sapom, Weitin-Kamdaru fayı etrafında yoğunlaştığı görülebilir (Şekil 3.96.).





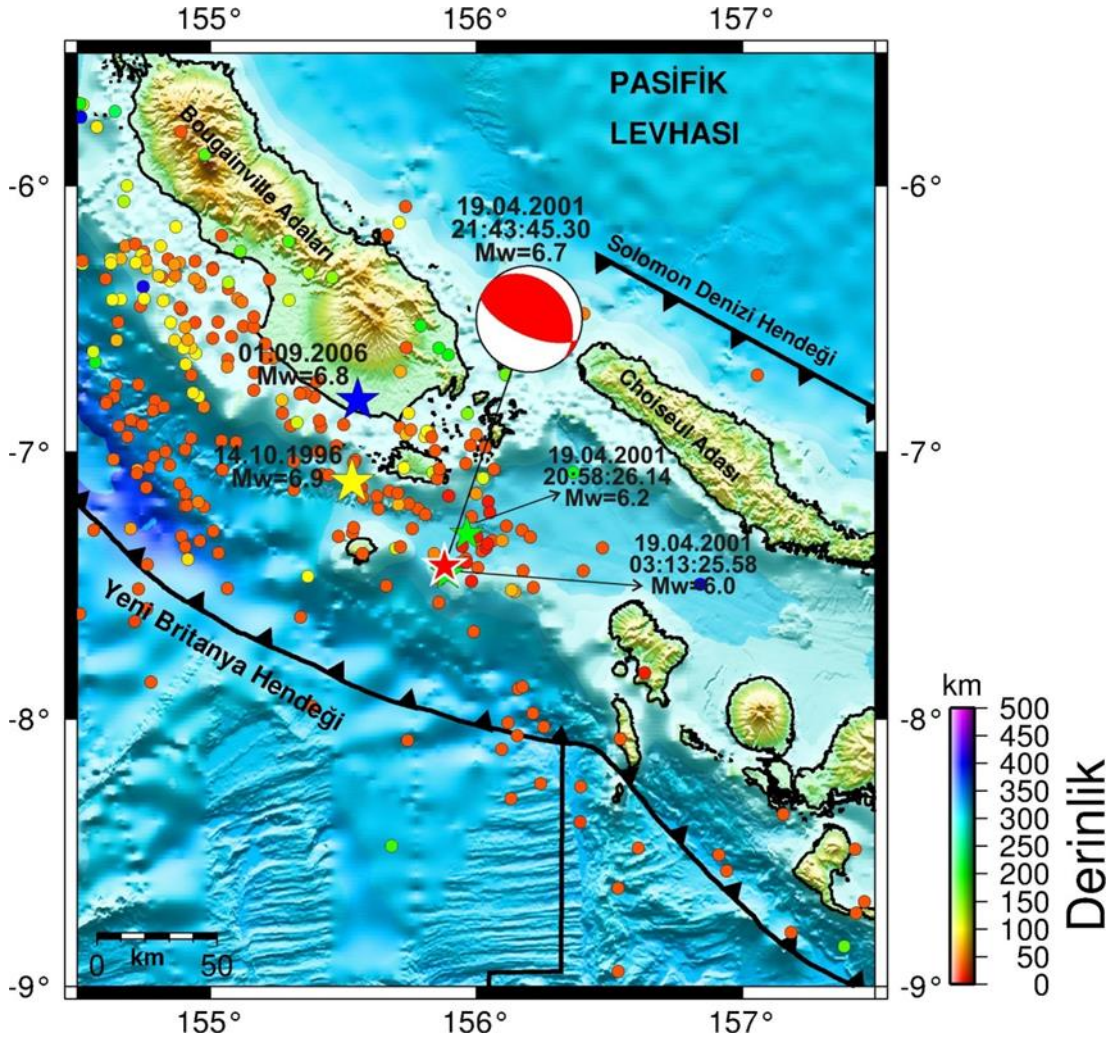
### 3.2.16. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.16.1. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ )

19 Nisan 2001 depremi ( $M_w \approx 6.7$ ), Yeni Britanya Hendeğinin batı kısmı ile Bougainville Adası arasında bulunan ve kısaca Solomon Adaları Bölgesi olarak adlandırılan bölgede meydana gelmiştir (Şekil 3.97.).

Bölge Yeni Britanya Hendeğinin Pasifik Levhası'nın altına dalımı nedeniyle yoğun bir sismik aktivite içerisindedir. Bu çalışmada sonlu-fay analizi daha önce yapılan depremlerden olan 14 Ekim 1996 ve 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremleri, 19 Nisan 2001 depremine çok yakın bir konumda meydana gelmiştir (Şekil 3.97.). Şekil 3.97.'de 14 Ekim 1996 depremi ( $M_w = 6.9$ ) ile 19 Nisan 2001 Solomon depremleri arasında geçen süre içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  depremler gösterilmiştir. 19 Nisan 2001 depremi dış merkezi etrafında yoğun bir deprem etkinliği gözlenmiştir. Dikkat çeken bir başka önemli husus ise 19 Nisan 2001 depremi gerçekleşmeden çok kısa bir süre önce aynı gün içerisinde büyüklükleri ( $M_w$ ) sırasıyla 6.0 ve 6.2 olan iki adet öncü şok meydana gelmiş olmasıdır (Şekil 3.97.). 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depreminin Harvard-GCMT çözümü küçük bir doğrultu atımlı faylanma bileşene sahip baskın bir ters faylanma karakterli bir kaynak deprem mekanizması önermektedir (Tablo 3.48.).

19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için ISC-GEM kataloglarından elde edilen odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Deprem için çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen kaynak parametreleri Tablo 3.48.'de derlenmiştir.



Şekil 3.97. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Metin içinde bahsi geçen  $M_w \geq 6.0$  öncül şoklar yeşil yıldız ile gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi ile 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi arasındaki zamanda meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). WF: Weitin-Kamdarı Fayı, SF: Sapom Fayı, BF: Baining Fayı

Tablo 3.48. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
21:43:42.28	-7,410	155,865	17	5,70	247	22	48	USGS-NEIC
21:43:50.60	-7,560	155,790	16	11,15	319	28	113	HRV-GCMT

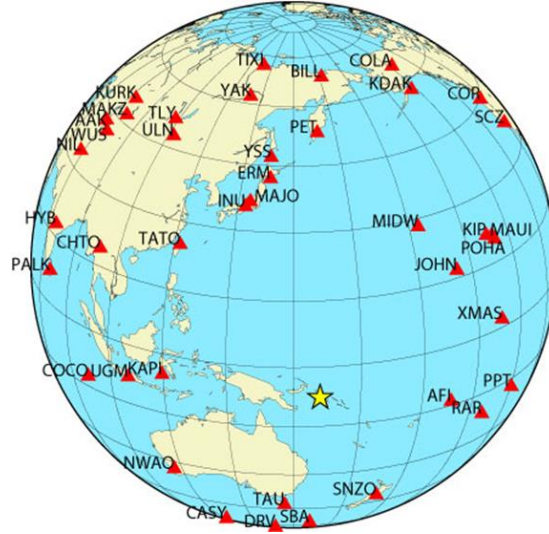
### 3.2.16.2. Kullanılan telesismik veri

Depremin sonlu-fay ters çözümü için toplam 35 P ve 10 SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri kullanılmıştır. Tüm istasyonların listesi Tablo 3.49.'da ve azimutal dağılımlar Şekil 3.98.'de gösterilmiştir. Verilerin alet etkisi giderilmiş, 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmış ve 0.5 sn ile yeniden örneklenmiştir. Ters çözümde 50 sn'lik bir kayıt uzunluğunun yeterli olacağı kanaatine varılmıştır.

Tablo 3.49. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	1,94	60,48	P,SH
BILL	68,07	166,45	4,07	75,85	P
COLA	64,87	-147,86	20,84	83,29	P
KDAK	57,78	-152,58	25,35	77,32	P
MIDW	28,22	-177,37	34,86	44,02	P
COR	44,59	-123,30	44,69	88,76	P
SCZ	36,60	-121,40	52,81	88,65	P
JOHN	16,73	-169,53	54,57	41,9	P
KIP	21,42	-158,01	56,44	53,67	P
MAUI	20,77	-156,24	58,07	54,85	P
POHA	19,76	-155,53	59,54	55,02	P
XMAS	2,04	-145,45	80,35	47,56	P
AFI	-13,91	-171,78	104,31	32,45	P
PPT	-17,57	-149,58	106,36	54,07	P
RAR	-21,21	-159,77	112,71	44,98	P
SNZO	-41,31	174,70	156,66	37,81	P
SBA	-77,85	166,76	177,58	70,67	P
DRV	-66,66	140,00	187,15	60,24	P
TAU	-42,91	147,32	190,56	36,28	P,SH
NWAO	-32,93	117,24	229,05	43,9	P
PALK	7,27	80,70	279,38	76,35	P
HYB	17,42	78,55	289,19	80,23	P
WUS	41,20	79,22	312,71	84,97	P
AAK	42,64	74,49	313,33	88,72	P
TATO	24,97	121,50	315,21	46,54	P,SH
MAKZ	46,81	81,98	318,67	84,57	P
KURK	50,72	789,62	321,83	87,76	P
ULN	47,87	107,05	327,51	69,96	P,SH
TLY	51,68	103,64	329,36	74	P
INU	35,35	137,03	338,67	46,29	P,SH
MAJO	36,55	138,20	340,55	46,97	P,SH
YAK	62,03	129,68	347,47	72,33	P
ERM	42,02	143,16	347,84	50,77	P,SH
YSS	46,96	142,76	349,21	55,6	P,SH
TIXI	71,63	128,87	351,68	81,02	P
KAPI	-5,01	119,75	271,67	35,95	SH
CHTO	18,81	98,94	295,99	61,9	SH

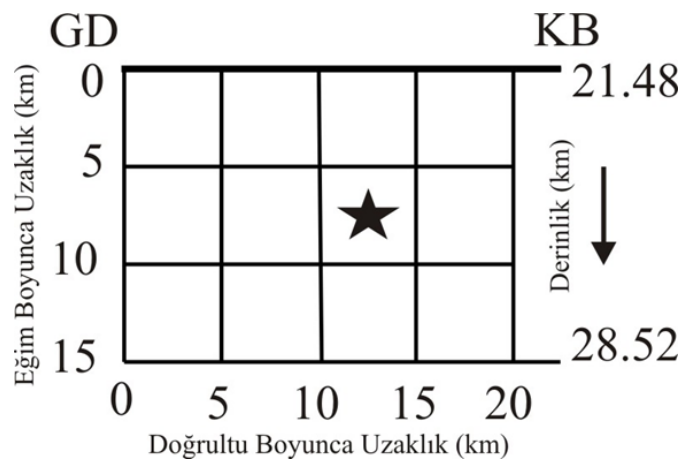




Şekil 3.98. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.16.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

HRV-GCMT çözümünden elde edilen doğrultu ( $319^\circ$ ), eğim ( $28^\circ$ ) ve rake ( $113^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır (Tablo 3.48.). Odak lokasyonu bilgisi ( $7.427^\circ\text{G} - 155.881^\circ\text{D}$  ve 25.0 km) ISC-GEM kataloglarından alınmıştır (Tablo 3.1.). 5 km x 5 km boyutlarında 12 fay parçasına (doğrultu boyunca 4 ve eğim boyunca 3 fay parçası) bölünmüş 20 km x 15 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tanımlanmıştır (Şekil 3.99).



Şekil 3.99. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremini için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 12 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarlarına olan uzaklıkları (sırasıyla 7.5 km, 7.5 km ve 12.5 km, ) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ), 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Yapılacak ters çözüm denemeleri sonucunda en uygun kırılma hızı belirlenmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 7 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 8 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.16.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

19 Nisan 2001 Solomon Adaları depreminin kayma dağılımının belirlenebilmesi için ilk olarak bir başlangıç fay modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Depremin bindirme karakterli bir mekanizma ile meydana geldiği bilgileri göz önünde tutularak Blaser ve ark. (2010) tarafından bu tip depremler için verilen ampirik bağıntılardan faydalanılmıştır. Bu doğrultuda başlangıç modelini temsil edecek depreme ait fay uzunluğu ve fay genişliği bilgileri hesaplanmıştır (Tablo 3.50.'de, Model M1). Model M1'de belirtilen fay boyutlarıyla yapılan ters çözümde depreme ait kayma bölgesi net bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Bu denemede faylanma alanının GD kesimine daha yakın olan deprem odağı test amaçlı olarak KB kesimine yerleştirilerek modellemeler yapılmıştır. Yeni oluşan bu model Model M2 olarak tanımlanmıştır (Tablo 3.50.). Odağın KB kısmına daha yakınken yapılan ters çözüm sonucu benzer bir kayma dağılımı elde edilirken hata oranı bir miktar düşmüştür. Bu nedenle Model M2 ile yapılan ters çözümün depremi temsilinin daha da gerçekçi olduğu kanısına varılmıştır. Bu aşamadan sonra kayma hızının ( $V_r$ ) tespiti için hızın 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değiştiği birçok denemeler yapılmıştır (Tablo 3.50.). Bu denemeler sonucunda en küçük hata oranını içeren ve kayma hızının ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olduğu ters çözüm denemesi M2 final sonucu olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.50. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

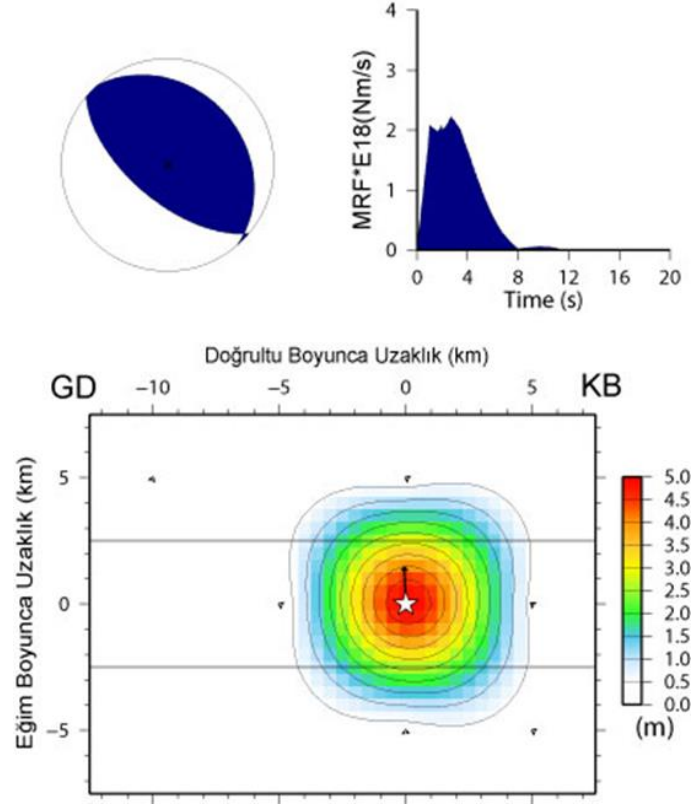
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	20	15	12	5x5	2-2	3,0	98,5	0,9201	0,46774	5,0
M2	20	15	12	5x5	3-2	3,0	98,0	0,9346	0,46619	5,0
M3	20	15	12	5x5	3-2	2,5	97,8	0,9560	0,46639	5,3
M4	20	15	12	5x5	3-2	2,6	97,8	0,9500	0,46673	5,3
M5	20	15	12	5x5	3-2	2,7	97,8	0,9458	0,46657	5,2
M6	20	15	12	5x5	3-2	2,8	97,7	0,9407	0,46642	5,1
M7	20	15	12	5x5	3-2	2,9	97,7	0,9370	0,46655	5,1
M8	20	15	12	5x5	3-2	3,1	97,9	0,9317	0,46629	5,0
M9	20	15	12	5x5	3-2	3,2	98,0	0,9294	0,46636	5,0
M10	20	15	12	5x5	3-2	3,3	98,0	0,9275	0,46641	4,9
M11	20	15	12	5x5	3-2	3,4	98,0	0,9258	0,46643	4,9
M12	20	15	12	5x5	3-2	3,5	98,0	0,9243	0,46646	4,8

Model M2 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.100.'de gösterilmiştir. Bu model için hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.101.'de karşılaştırılmış ve yeterli bir uyuma ulaşıldığı kanaatine varılmıştır. Bu deprem esnasında serbestlenen toplam sismik moment ( $M_o$ )  $0.935 \times 10^{19}$  ( $M_w=6.6$ ) ve kayma açısı  $98^\circ$  olarak bulunmuştur. Şekil 3.100.'de verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının odakta merkezlenmiş, kabaca dairesel şekilli, yaklaşık 10 km çapında ve en büyük kayma değeri 5 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği gözlemlenmektedir. Kırılmanın göreceli olarak basit yapısı moment boşalım fonksiyonundan da görülebilmektedir. Odak KB kenarına biraz daha yakın şekilde konumlanmıştır. Depremin moment serbestlenmesi yaklaşık 8 sn sürmüştür.

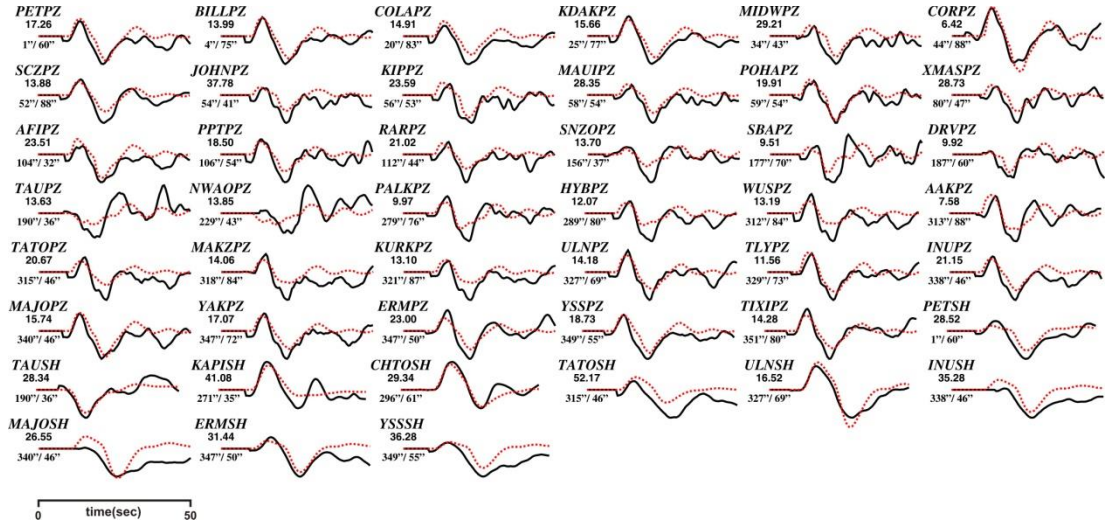


## 19 Nisan 2001 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.9346E+19$ (Nm),  $M_w = 6.6$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (319.0, 28.0, 98.0, 25.0)

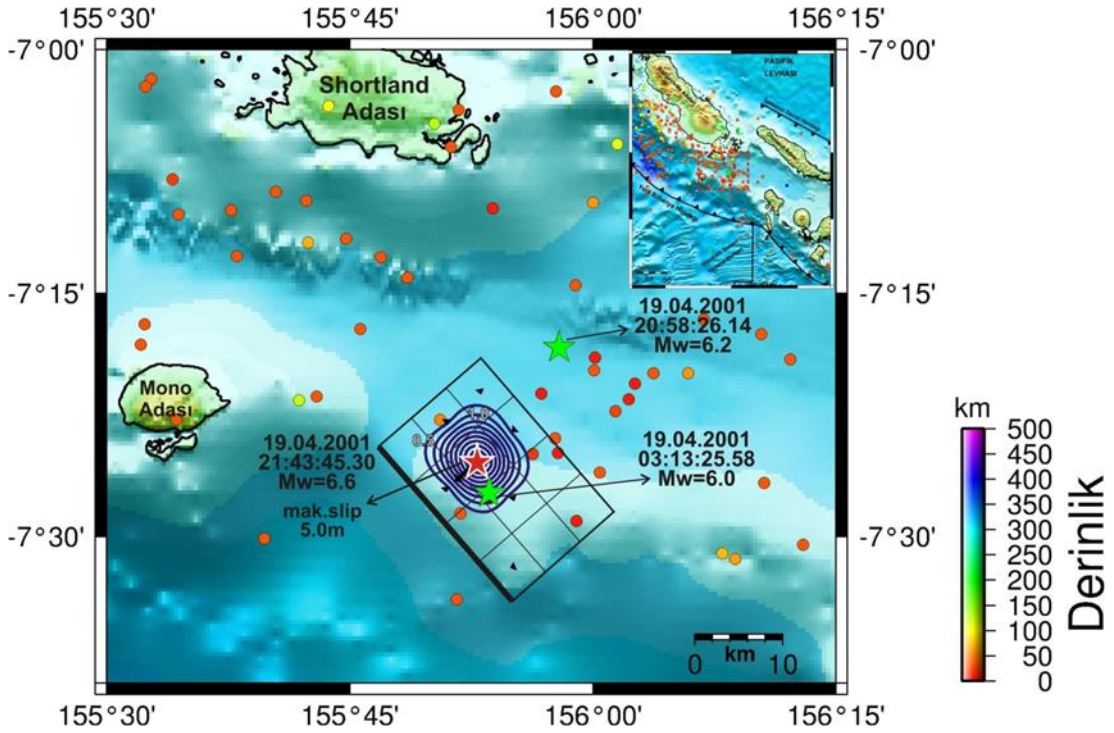


Şekil 3.100. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.50.'deki Model M2 denemesinin sonucunda elde edilmiştir

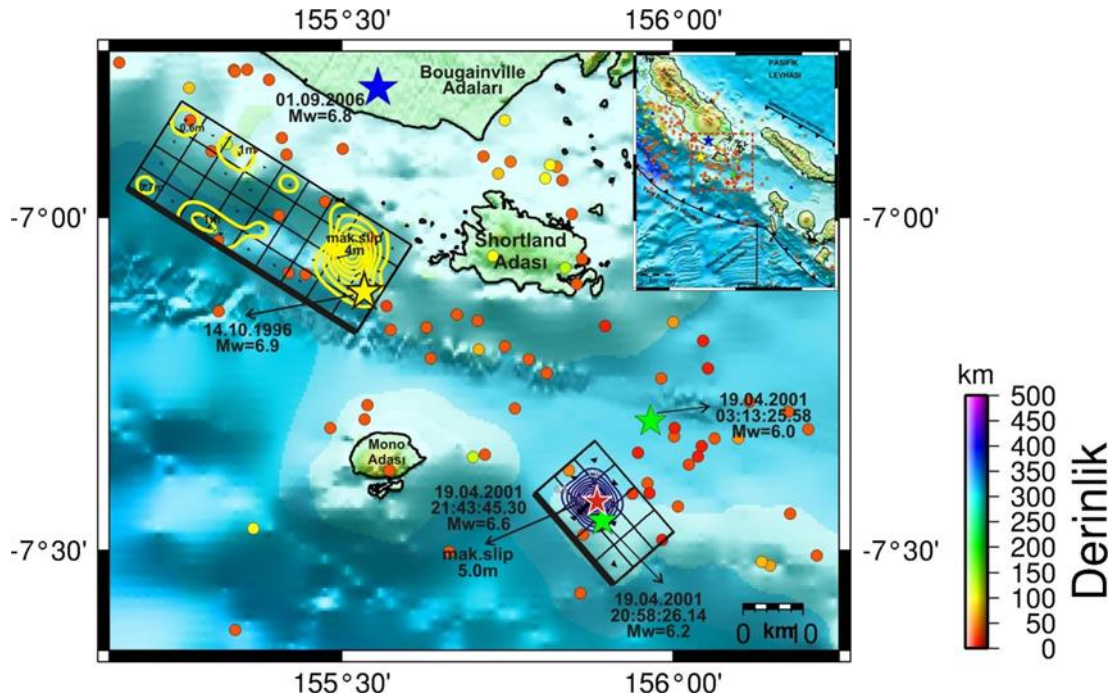


Şekil 3.101. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M2 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

19 Nisan 2001 Solomon Adaları Depremi için elde edilen kayma dağılım modelinin harita projeksiyonu Şekil 3.102.'de gösterilmiştir. Yorumlamalarda kolaylık sağlayabilmesi açısından daha önceki bölümlerde ele aldığımız bu depreme yakın bir konumda meydana gelen 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin kayma dağılım modelini de içeren harita projeksiyonu gösterimi ise Şekil 3.103.'de verilmiştir. Bu iki deprem arasında meydana gelen depremlerin 19 Nisan 2001 depremi kaynak bölgesinde yoğunlaşması ilgi çekicidir. Öncü iki  $M_w \geq 6.0$  depremin belirlenen pürüz etrafında konumlanması diğer ilginç noktalardan biridir. 19 Nisan 2001 depreminin 14 Nisan 1996 depremi tarafından bir gerilme yüklemesi ile meydana gelip gelmediği tartışılması gereken bir konudur. Bu tartışmalar bir sonraki bölümde ele alınacak olan gerilme değişimlerinin incelendiği bölümde detaylandırılacaktır.



Şekil 3.102. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi ile bir sonraki büyük deprem olan 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 19 Nisan 2001 depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.5 m aralıklarla çizilmiştir



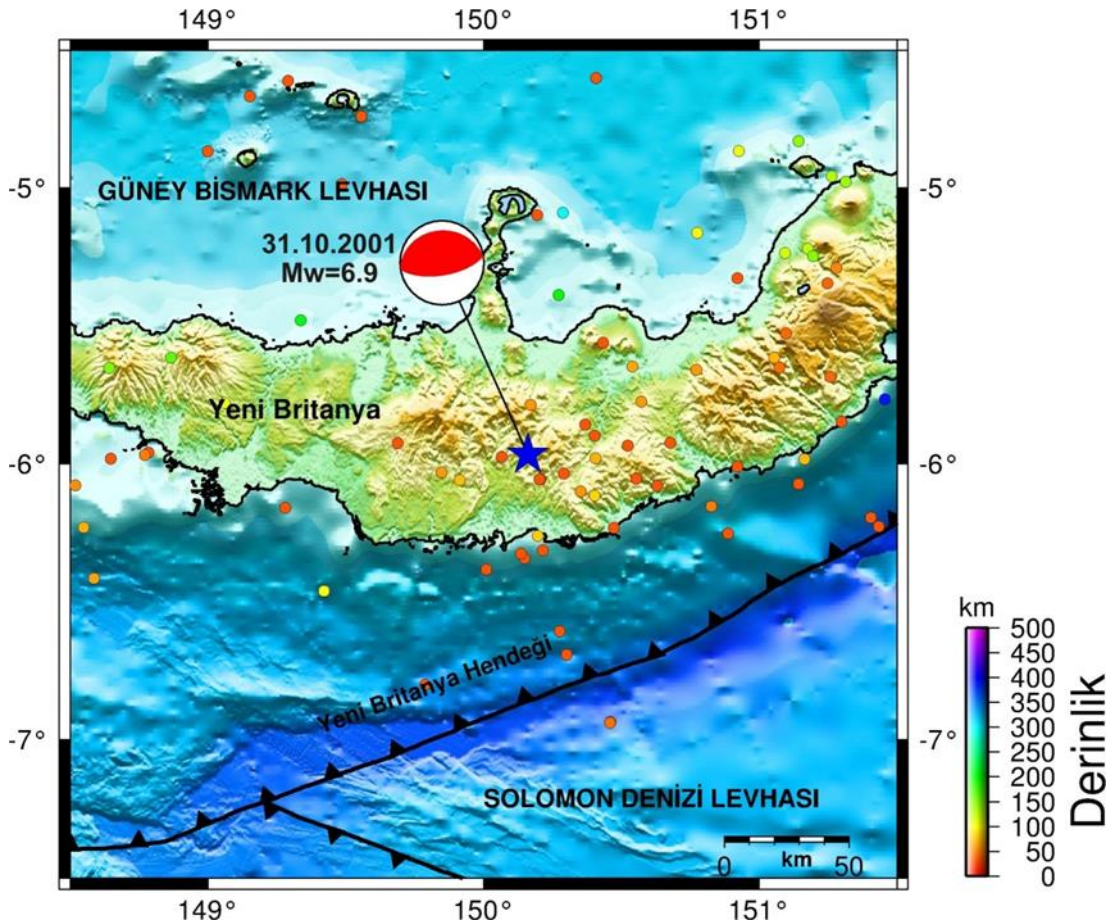
Şekil 3.103. 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden önce meydana gelmiş 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depreminin kayma dağılımları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi ile bir sonraki büyük deprem olan 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 19 Nisan 2001 ve 14 Ekim 1996 depremi için konturlar (sırasıyla lacivert çizgi ve sarı çizgi) 0.5 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.17. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.17.1. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya Depremi ( $M_w \approx 6.9$ )

31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi ( $M_w \approx 6.9$ ) Yeni Britanya Adasının batı kesimi altında meydana gelmiştir (Şekil 3.104.). Yeni Britanya Hendeğinin Güney Bismark Levhası altına dalması ile oluşan bu deprem tipik bir dalma-batma zonu depremidir. Depremin faylanma karakteri baskın şekilde ters faylanmayı önermektedir (Tablo 3.51.). Depremin odak lokasyonu bilgileri ISC-GEM kataloglarından elde edilmiştir (Tablo 3.1.).





Şekil 3.104. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 31 Ekim 2001 Yeni Britanyadepreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

Tablo 3.51. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ Nm)	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
09:10:20.00	-6,270	150,330	23,5	35,9	259	23	87	USGS-NEIC
09:10:32.60	-6,270	150,330	35	29,7	266	25	95	HRV-GCMT

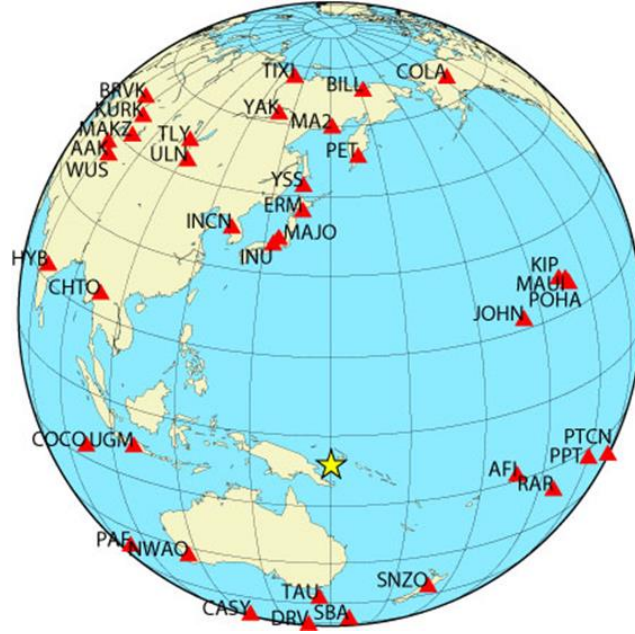
### 3.2.17.2. Kullanılan telesismik veri

31 Ekim 2001 Yeni Britanya depreminin sonlu-fay ters çözümünde toplam 31 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant P dalga şekli ve 5 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant SH dalga şekli yer değiştirme kayıtları kullanılmıştır. Kullanılan tüm

istasyonların bilgileri Tablo 3.52.'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu istasyonlara ait azimutal dağılımlar Şekil 3.105.'de gösterilmiştir. Veri işlem aşamasında ilk olarak tüm verilerin alet etkisi giderilmiştir. Bir sonraki aşamada 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Daha sonra ise veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Sonlu-fay kırılma özelliklerinin belirlenmesinde depremin büyüklüğü göz önüne alındığında ters çözüm işleminde 60 sn'lik bir kayıt uzunluğunun kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

Tablo 3.52. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
MA2	59,58	150,77	0,31	65,54	P,SH
PET	53,02	158,65	5,88	59,42	P
BILL	68,07	166,45	6,21	74,91	P
COLA	64,87	-147,86	22,13	83,99	P
JOHN	16,73	-169,53	59,65	45,81	P
KIP	21,42	-158,01	59,94	57,65	P,SH
MAUI	20,77	-156,24	61,38	58,94	P
POHA	19,76	-155,53	62,75	59,22	P
AFI	-13,91	-171,78	104,96	38,21	P,SH
PPT	-17,57	-149,58	106,88	59,83	P
RAR	-21,21	-159,77	112,62	50,69	P
PTCN	-25,07	-130,10	114,42	78,15	P
PAF	-49,35	70,21	220,81	78,98	P
NWAO	-32,93	117,24	224,34	40,82	P
COCO	-12,19	96,83	259,21	53,00	P
UGM	-7,91	110,52	264,78	39,44	P
HYB	17,42	78,55	289,96	74,49	P
CHTO	18,81	98,94	297,47	56,26	P
WUS	41,20	79,22	313,73	79,91	P
AAK	42,64	74,49	314,17	83,68	P
MAKZ	46,81	81,98	319,77	79,83	P
KURK	50,72	789,62	322,77	83,20	P
BRVK	53,06	70,28	323,71	88,77	P
ULN	47,87	107,05	329,79	65,82	P
TLY	51,68	103,64	331,36	69,98	P
INCN	37,48	126,62	334,98	48,69	P,SH
INU	35,35	137,03	344,20	43,14	P,SH
MAJO	36,55	138,20	346,06	43,97	P
YAK	62,03	129,68	349,90	69,81	P,SH
ERM	42,02	143,16	352,98	48,41	P
TIXI	71,63	128,87	353,28	78,86	P



Şekil 3.105. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.17.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

50 km x 20 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tanımlanmıştır. Tanımlanan bu model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 40 fay parçasına (doğrultu boyunca 10 ve eğim boyunca 4 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 106). Fay düzleminin doğrultu, eğim ve rake açıları HRV-GCMT çözümünden sırasıyla  $266^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $95^\circ$  olarak alınmıştır (Tablo 3.51.). ISC-GEM kataloğunda verilen odak konumu ( $5.967^\circ\text{G}$  -  $150.161^\circ\text{D}$  ve 34.0 km) dikkate alınarak model fay düzlemi kaynak bölgesinde konumlandırılmıştır. Odağın fay düzlemi üzerindeki konumu yapılacak ters çözüm denemeleri ile belirlenmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.106. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depreminin için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 40 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst ve KD, GB kenarına olan uzakları (sırasıyla 12.5 ve 12.5 km, 37.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Modellemeye başlarken kırılma hızının ( $V_r$ ), 3.0 km/sn olduğu kabulü yapılmıştır. Farklı hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı belirlenmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 7 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 8 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.17.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Başlangıçta amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) belirlenen fay boyutları (40 km x 20 km) ile ters çözüme başlanmış ve odağın ortada (Model M1), GB kenarına yakın (Model M2) ve KD kenarına yakın (Model M3) olması durumları için denemeler yapılmıştır. Model M3 denemesinin daha az hatalı bir sonuç verdiği görülmüştür (Tablo 3.53.). Ancak, kayma alanını rahatça içermek için fay boyutlarını biraz arttırma ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. Ardından odak konumuna göre fay düzlemi doğrultu boyunca KD ve GB'ya doğru bir fay parçası uzatılarak faylanma boyutları 50 km x 20 km olarak yeniden tanımlanmıştır (Model M4). Fay boyutlarının arttırılmasıyla daha az hatalı bir çözüme ulaşıncaya kadar odağın eğim boyunca konumu için denemeler yapılmış ve en az hatayı veren odak konumu belirlenmiştir (Tablo 3.53.'de Model M4).



Kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti için hızların 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değiştiği bir çok ters çözüm denemesi yapılmıştır (Tablo 3.53.). Bu denemeler sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ ) 3.1 km/sn olduğu ters çözüm denemesi Model M11 en tatmin edici sonuçları içerdiğinden final sonucu olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.53. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

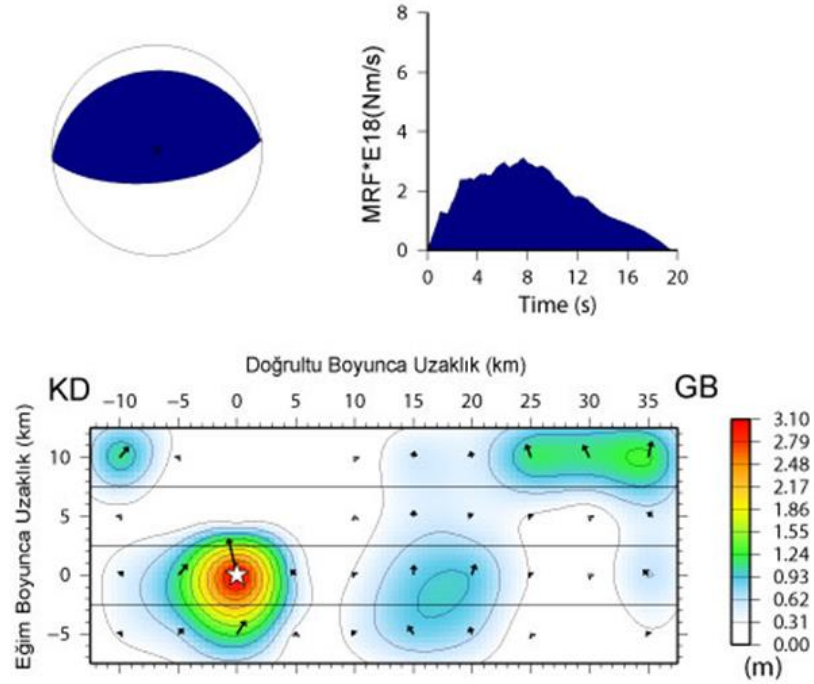
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>0</sub> -N <sub>0</sub>					
M1	40	20	32	5x5	4-3	3,0	91,2	2,327	0,35954	2,7
M2	40	20	32	5x5	7-3	3,0	91,7	2,020	0,42888	2,8
M3	40	20	32	5x5	2-3	3,0	92,0	2,716	0,33933	2,9
M4	50	20	40	5x5	3-3	3,0	91,7	2,863	0,33137	3,0
M5	50	20	40	5x5	3-2	3,0	91,7	2,985	0,32602	3,2
M6	50	20	40	5x5	3-2	2,5	91,9	3,179	0,32696	3,6
M7	50	20	40	5x5	3-2	2,6	91,9	3,142	0,32630	3,5
M8	50	20	40	5x5	3-2	2,7	91,9	3,261	0,32610	3,4
M9	50	20	40	5x5	3-2	2,8	91,9	3,063	0,32607	3,3
M10	50	20	40	5x5	3-2	2,9	91,8	3,024	0,32603	3,2
M11	50	20	40	5x5	3-2	3,1	91,7	2,951	0,32601	3,1
M12	50	20	40	5x5	3-2	3,2	91,6	2,914	0,32606	3,0
M13	50	20	40	5x5	3-2	3,3	91,6	2,881	0,32609	2,9
M14	50	20	40	5x5	3-2	3,4	91,6	2,850	0,32608	2,8
M15	50	20	40	5x5	3-2	3,5	91,5	2,819	0,32618	2,8

Model M11 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.107.'de gösterilmiştir. Bu model için hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.108.'de karşılaştırılmıştır. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi esnasında serbestlenen toplam sismik moment ( $M_0$ )  $2.951 \times 10^{19}$  ( $M_W=6.9$ ) olarak elde edilmiştir. Ortalama kayma açısı  $92^\circ$  olarak bulunmuştur. Kayma dağılım modeli incelendiğinde (Şekil 3.107.) kırılmanın odakta merkezlenmiş, yaklaşık 10 km çapında ve en büyük kayma değeri 3.1 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği söylenebilir. Faylanma alanının hemen hemen ortalarında dairesel şekilli yaklaşık 0.9 m kayma değerli bir pürüz ve GB kenarında yüzeye yakın 1.2 m'lik bir pürüz bulunmaktadır. Özellikle GB kenarında

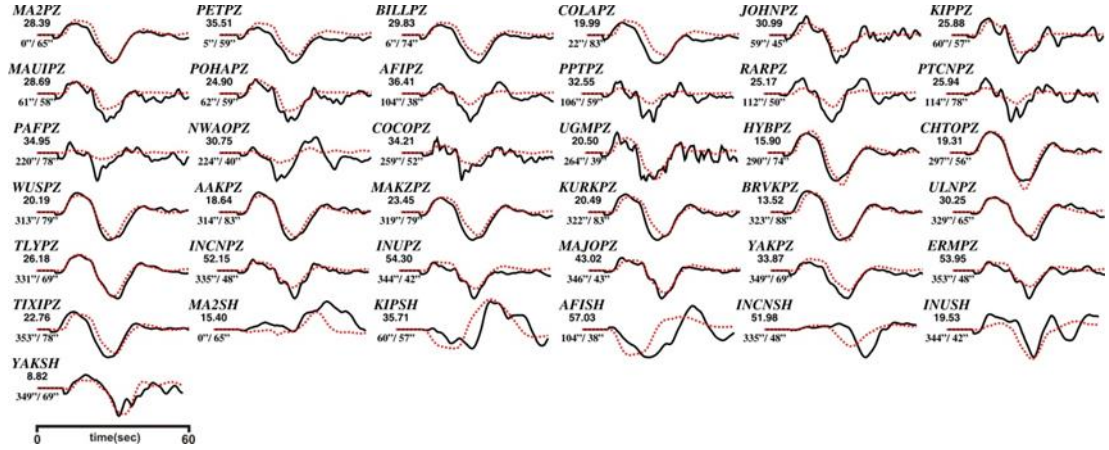
bulunan yüzeye yakın konumlanmış pürüz fay modelinin birbirinden farklı tüm versiyonlarıyla yapılan modellemelerde yaklaşık aynı konumda yerini almaktadır. KD kenarında yüzeye yakın şekilde konumlanmış köşede bulunan yaklaşık 1 m'lik pürüz ise farklı fay boyutlarıyla yapılan ters çözümlerde ortadan kalktığından ters çözüm sonucunda ortaya çıkmış suni kayma bölgesi olarak yorumlanmıştır. Sismik moment boşalım fonksiyonu sismik moment serbestlenmesinin yaklaşık 20 sn sürdüğüne işaret etmektedir. Kayma modelinin harita izdüşümü Şekil 3.109.'da Yeni Britanya Hendeği üzerindeki konumunun daha iyi anlaşılması açısından verilmiştir.

### 31 Ekim 2001 Yeni Britanya Depremi

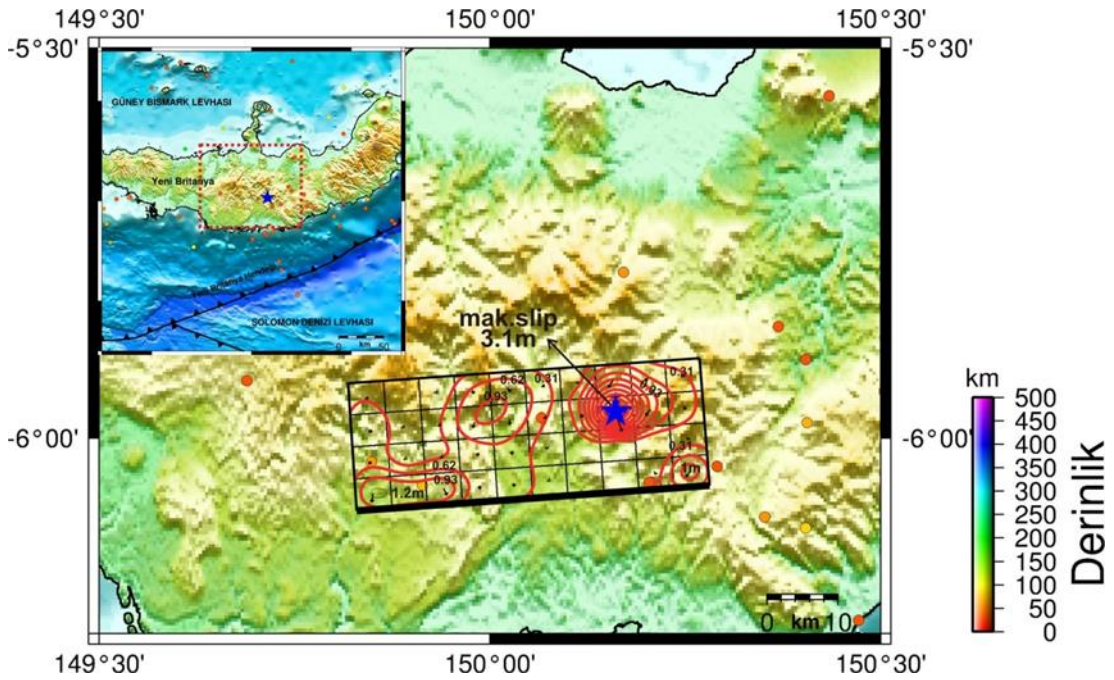
Moment =  $0.2951E+20$ (Nm),  $M_w = 6.9$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (266.0, 25.0, 91.7, 34.0)



Şekil 3.107. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılımı modeli. Bu çözüm Tablo 3.53.'deki Model M11 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.108. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M11 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir



Şekil 3.109. 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depremi ( $M_w=6.9$ ) (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 31 Ekim 2001 Yeni Britanya depreminden sonra 6 ay içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Deprem için konturlar (kırmızı çizgi) 0.31 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.18. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) sonlu fay analizi

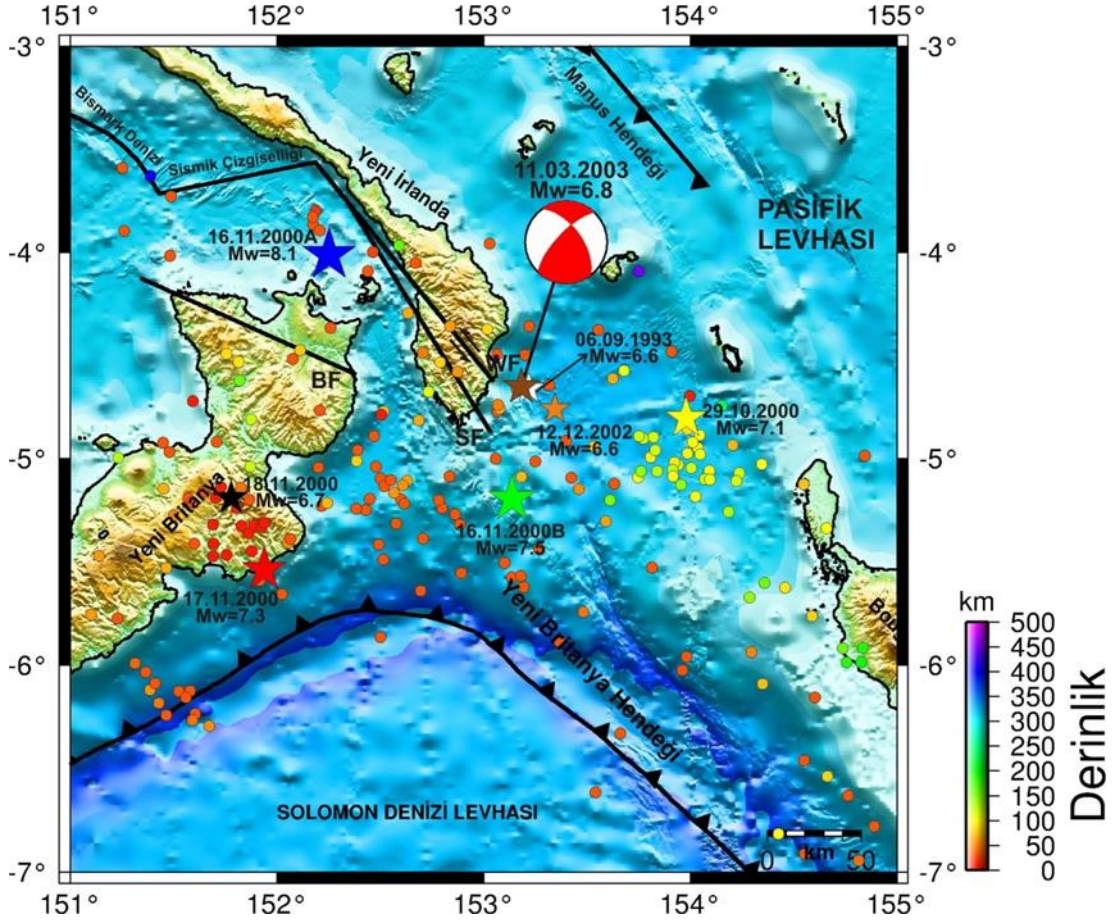
#### 3.2.18.1. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.8$ )

11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) Yeni Britanya Adasının kuzeydoğusunda bulunan Yeni İrlanda adası civarında meydana gelmiştir (Şekil 3.110.). Bu deprem, Bismark Denizi Sismik Çizgiselliğinin doğuya doğru devamında bulunan Weitin-Kamdaru fayı ile çok yakın şekilde konumlanmıştır. Weitin-Kamdaru fayı sol yanal doğrultu atımlı bir faydır (Park ve Mori, 2007a). Harvard-GCMT kaynak mekanizması sonuçları bu depreminde baskın olarak sol yanal doğrultu atımlı faylanma sonucu oluştuğunu önermektedir (Tablo 3.54.).

Solomon Denizi Levhasının Pasifik Levhası altına dalması ve Bismark Denizi Sismik Çizgiselliğinin varlığı nedeniyle Yeni İrlanda Bölgesi oldukça büyük depremlerin meydana geldiği sismik olarak diri bir bölgedir. Daha önceki bölümde irdelenmiş olan 2000 yılında meydana gelmiş deprem silsilesi bu aktivitenin en önemli kanıtlarından birisidir. Aynı zamanda 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi Depreminin meydana geldiği konumda 1993 yılı ve 2002 yıllarında ( $M_w = 6.6$ ) iki büyük deprem meydana gelmiş olması bu diriliğin diğer bir kanıtıdır (Şekil 3.110.).

11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için ISC-GEM kataloglarından elde edilen odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). Deprem için çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen kaynak parametreleri Tablo 3.54.'de derlenmiştir.





Şekil 3.110. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (kahverengi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). SF:Sapom Fayı, BF: Baining Fayı, WF:Weitin-Kamdaru Fayı

Tablo 3.54. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ Nm)	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
07:27:32.00	-4,694	153,238	40,5	19,2	322	58	16	USGS-NEIC
07:26:46.50	-4,520	153,080	37,0	18,9	324	60	21	HRV-GCMT

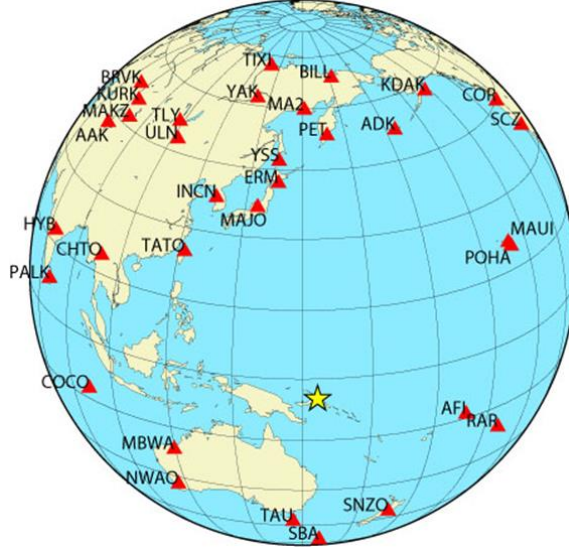
### 3.2.18.2. Kullanılan telesismik veri

Depremin kayma dağılımının elde edilmesi için yapılacak ters çözümde 31 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant P dalga şekli ve 8 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant SH dalga şekli yerdeğiştirme kayıtları kullanılmıştır. Ters çözümde kullanılan

tüm istasyonların bilgileri Tablo 3.55.'de verilmiştir. Azimutal dağılımlar Şekil 3.111.'de gösterilen bu istasyonlardaki kayıtlardan alet etkisi giderildikten sonra 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Bir sonraki aşamada veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda depreminin büyüklüğü göz önüne alındığında ters çözüm işleminde 50 sn'lik bir kayıt uzunluğunun sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmasının uygun olacağı kanaatine verilmiştir.

Tablo 3.55. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	3,85	57,91	P,SH
BILL	68,07	166,45	5,12	73,36	P
ADK	51,88	-176,68	20,50	62,11	P,SH
KDAK	57,78	-152,58	26,46	76,03	P
COR	44,59	-123,30	45,05	88,68	P
SCZ	36,60	-121,40	53,16	89,10	P
MAUI	20,77	-156,24	60,88	55,72	SH
POHA	19,76	-155,53	62,31	55,98	P
AFI	-13,91	-171,78	107,39	35,69	P
RAR	-21,21	-159,77	114,34	48,55	P
SNZO	-41,31	174,70	155,39	41,35	P
SBA	-77,85	166,76	177,05	73,50	P
CAN	-35,22	149,00	186,73	30,86	SH
TAU	-42,91	147,32	186,94	38,56	P
NWAO	-32,93	117,24	225,41	42,82	P
MBWA	-21,16	119,73	240,09	36,41	P
PALK	7,27	80,70	279,04	73,34	P
HYB	17,42	78,55	289,12	76,89	P
CHTO	18,81	98,94	295,51	58,37	P
AAK	42,64	74,49	313,59	84,96	P
TATO	24,97	121,50	315,44	42,79	P,SH
MAKZ	46,81	81,98	318,97	80,82	P
KURK	50,72	789,62	322,14	84,02	P
BRVK	53,06	70,28	323,38	89,53	P
ULN	47,87	107,05	328,09	66,28	P
TLY	51,68	103,64	329,92	70,34	P
INCN	37,48	126,62	331,87	48,90	P,SH
MAJO	36,55	138,20	342,42	43,57	P,SH
YAK	62,03	129,68	348,44	69,14	P
ERM	42,02	143,16	349,88	47,61	P
YSS	46,96	142,76	351,01	52,48	P
TIXI	71,63	128,87	352,37	77,98	P
MA2	59,58	150,77	358,62	64,31	P,SH



Şekil 3.111. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.18.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Kırılma alanının temsili için model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 40 fay parçasına (doğrultu boyunca 10 ve eğim boyunca 4 fay parçası) bölünmüş ve 50 km x 20 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi tanımlanmıştır (Şekil 3.112.). Model fay düzleminin parametreleri olarak HRV-GCMT tarafından belirlenen parametreler (doğrultu=324°, eğim=60° ve rake=21°) kullanılmıştır (Tablo 3.54.). ISC-GEM kataloglarından odak lokasyonu bilgisi (4.630°G - 153.183°D ve 41.5 km) dikkate alınarak kaynak bölgesinde konumlandırılan fay düzlemi üzerindeki odağın konumu ters çözüm denemeleriyle belirlenmeye çalışılacaktır.

Deprem ters çözüm ile modellenirken başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ), 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Depremi temsil eden en iyi fay modeli belirlendikten sonra çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 7 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 8 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.





Şekil 3.112. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 40 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, GD ve KB kenarına olan uzakları (sırasıyla 7.5 km, 7.5 km ve 42.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

#### 3.2.18.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Başlangıç ters çözüm denemesinde amprik bağıntıların (Blaser ve ark., 2010) önerdiği fay boyutları (45 km x 25 km) ve fay düzleminin ortasında bir odak konumu kullanılmıştır (Tablo 3.56.'da Model M1). Fay düzleminin köşelerine zorlanan kayma elde edilince odak KB (Model M2) ve GD (Model M3) kenarlarına kaydırılarak denemeler yapılmıştır. Model M3'de hem depremi oluşturan esas pürüz odağın etrafında yani GD kenarında kendini göstermiş hem de diğer denemelerden daha az hata oranı vermiştir (Tablo 3.56.). Fakat pürüz fiziksel olarak hem doğrultu hem de derinlik boyunca köşeye sıkıştığından faylanma alanı doğrultu ve eğim boyunca bir fay parçası genişletilmiştir (Tablo 3.56.'da, Model M4). Ters çözüm sonucunda hata değeri azalmış ve kayma bölgesi (pürüz) daha net bir şekilde ortaya çıkmıştır. Odak derinliğinin değiştirildiği ters çözüm denemesi M5'de odak Model M4'e göre eğim boyunca bir alt fay parçasına indirilmiştir (Tablo 3.56.). Fakat bunun sonucunda hata değeri artmış ve depreme ait pürüz en köşeye sıkışmış olarak kendini göstermiştir. Son olarak tasarlanan Model M6'da odak GD'ya yakın ve derinlik anlamında da yüzeye daha yakın yerleştirilmiştir (Tablo 3.56.). Ters çözüm sonucunda hata değeri tüm denemelere göre daha aza indirgenmiş ve kayma bölgesi tam olarak ortaya çıkarılmıştır. Kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti için birçok ters çözüm denemesi yapılmış ve M7 final sonucu olarak kabul edilmiştir (Tablo 3.56.).

Tablo 3.56. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

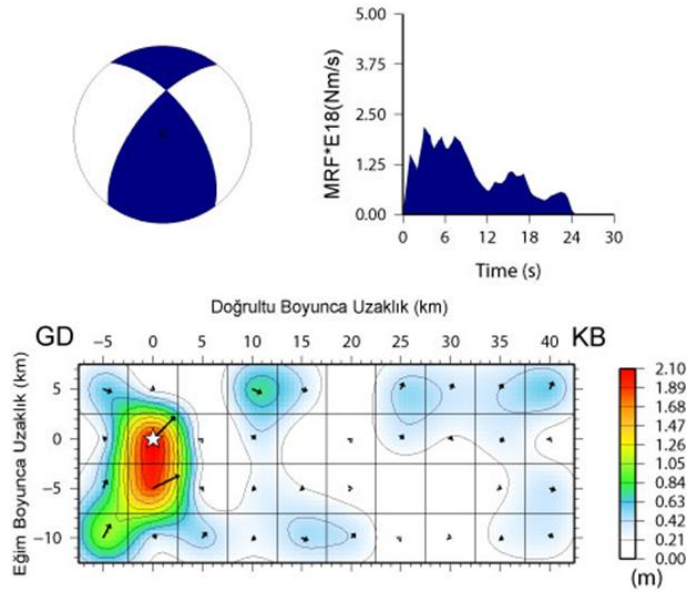
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	45	15	27	5x5	5-2	3,0	26,5	1,548	0,39311	2,1
M2	45	15	27	5x5	8-2	3,0	31,4	1,716	0,38207	2,0
M3	45	15	27	5x5	2-2	3,0	26,6	1,770	0,36892	2,1
M4	50	20	40	5x5	3-3	3,0	26,6	1,797	0,25542	1,8
M5	50	20	40	5x5	2-2	3,0	27,8	1,815	0,35691	2,1
M6	50	20	40	5x5	2-3	3,0	27,5	1,877	0,35008	1,9
M7	50	20	40	5x5	2-3	2,5	30,0	2,003	0,34518	2,1
M8	50	20	40	5x5	2-3	2,6	29,5	1,965	0,34593	2,0
M9	50	20	40	5x5	2-3	2,7	28,7	1,913	0,35425	1,9
M10	50	20	40	5x5	2-3	2,8	28,1	1,868	0,35555	1,9
M11	50	20	40	5x5	2-3	2,9	27,5	1,838	0,35683	1,8
M12	50	20	40	5x5	2-3	3,1	27,2	1,854	0,35134	2,2
M13	50	20	40	5x5	2-3	3,2	26,8	1,831	0,35356	2,3
M14	50	20	40	5x5	2-3	3,3	26,4	1,810	0,35346	2,4
M15	50	20	40	5x5	2-3	3,4	26,2	1,791	0,35347	2,6
M16	50	20	40	5x5	2-3	3,5	25,9	1,764	0,35470	2,7

Deprem için model M7 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.113.'de gösterilmiştir. Modelleme sonunda hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.114.'de karşılaştırılmış ve tatmin edici bir uyumun sağlandığı kanaatine varılmıştır. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi esnasında serbestlenen toplam sismik moment ( $M_o$ )  $2.003 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.8$ ) ve ortalama kayma açısı  $30^\circ$  olarak bulunmuştur. Kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının faylanma alanının GD kenarında odak etrafında yerleşmiş, 15 km x 10 km boyutlarında ve en büyük kayma değeri 2.1 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği yorumu yapılabilmektedir. Odağın 10 km KB'sında yüzeye yakın şekilde konumlanmış en büyük kayma değeri 0.7 m olan ikinci bir pürüzün varlığından söz edilebilir. Fayın KB kenarına konumlanmış en büyük kayma değeri 0.5 m olan iki farklı kayma bölgesinin odaktan uzaklıkları ve kayma genliklerinin göreceli olarak düşük oluşu gerçek kayma mı yoksa ters çözüm

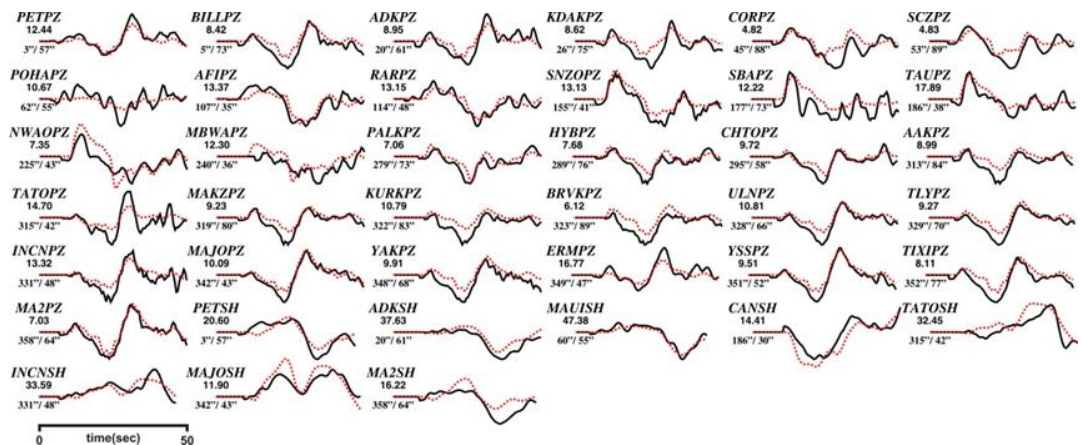
kaynaklı suni (yapay) kayma mı hususunda soru işareti oluşturmuştur. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde kırılma sürecinin yaklaşık 20 sn sürdüğü depremin enerjisinin büyük oranda odak etrafında serbestlendiği görülmektedir. Elde edilen kayma modelinin harita izdüşümü Şekil 3.115.'de gösterilmiştir.

### 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi

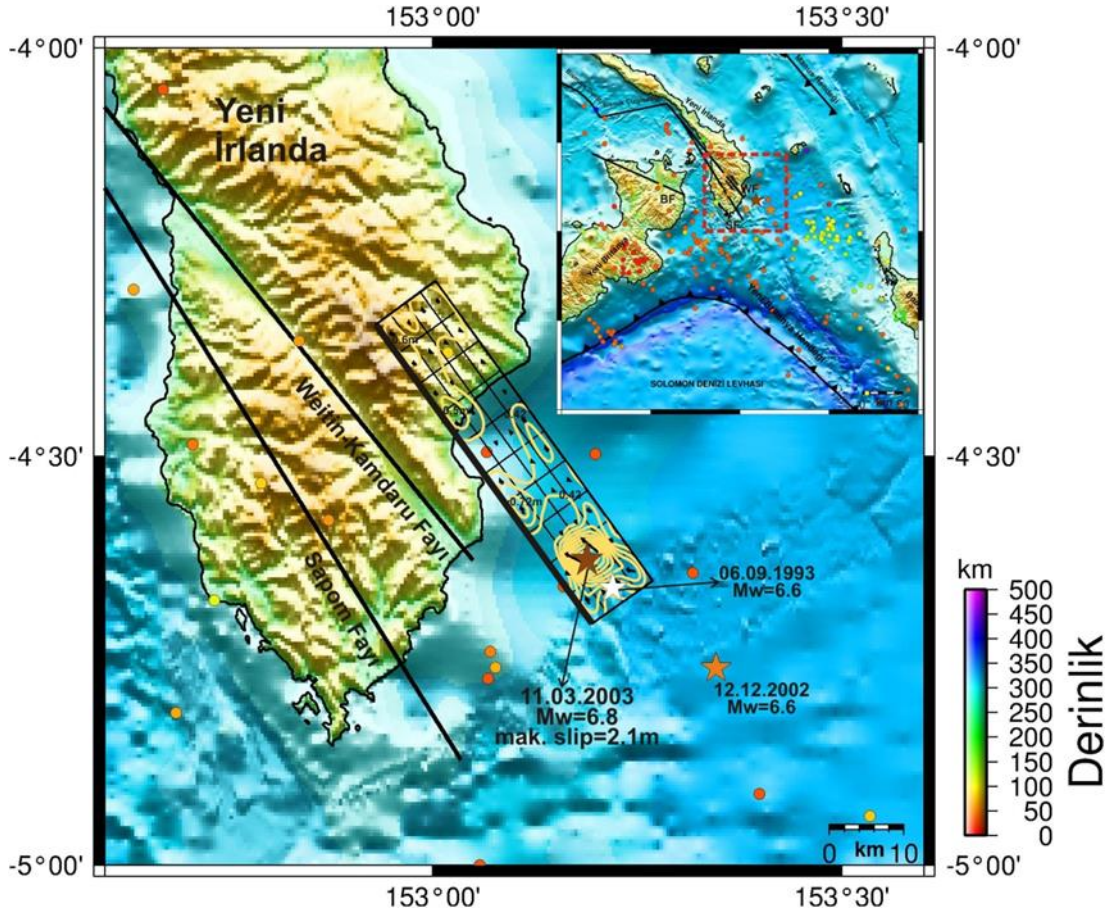
Moment =  $0.2003E+20$ (Nm),  $M_w = 6.8$   
(Strike,Dip,Slip,h) = (324.0, 60.0, 30.0, 41.5)



Şekil 3.113. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.56.'daki Model M7 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.114. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M7 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir



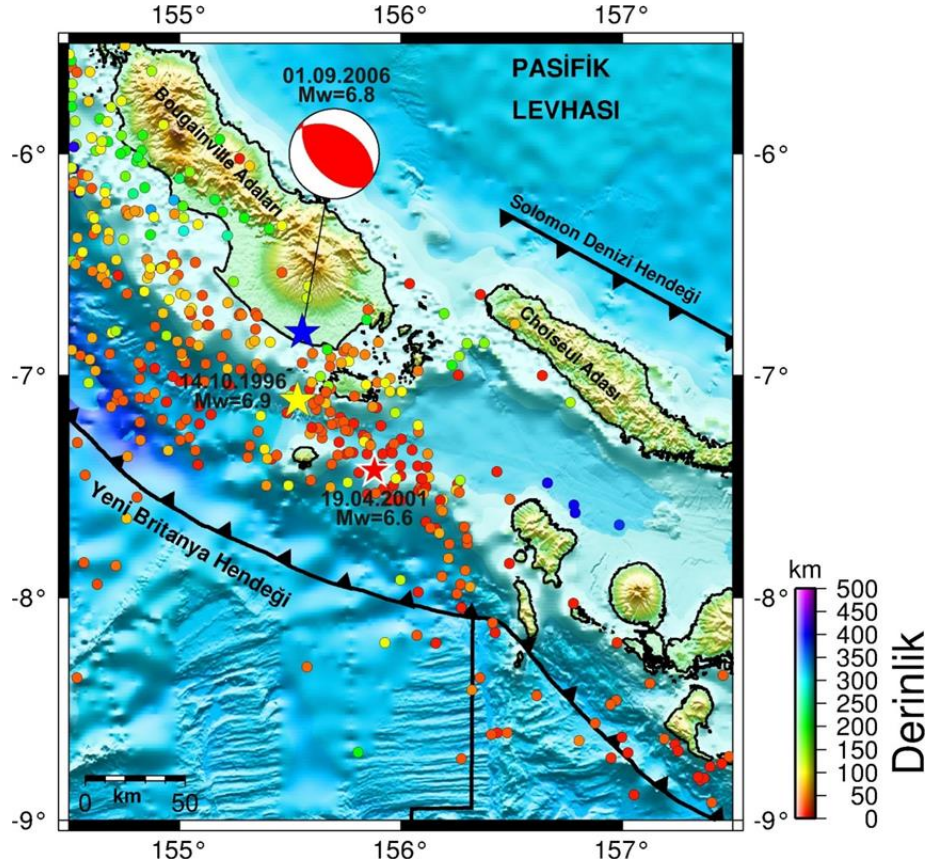
Şekil 3.115. 11 Mart 2003 Yeni İrlanda Bölgesi depremi (kahverengi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler depremden sonra 6 ay içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 11 Mart 2003 depremi için kayma dağılımı konturları (krem rengi çizgi) 0.21 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.19. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.19.1. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ )

1 Eylül 2006 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) episantrı, Solomon Denizi Levhasının Pasifik Levhası altına dalması ile oluşan Yeni Britanya hendeğinin doğu kısmında ve Bougainville Adasının güneyinde bulunmaktadır (Şekil 3.116.). Depremin kaynak mekanizma çözümü Yeni Britanya Hendeği üzerinde oluştuğunu desteklemekte olup çözümde belirlenen düzlemlerden KB eğimli olanı hendeğin doğrultu ve eğimiyle uyum sergilemektedir (Tablo 3.57., Şekil 3.116.). Bu depremin bu çalışmada daha önce değinilen 14 Ekim 1996 ( $M_w = 6.9$ ) ve 19 Nisan 2001 ( $M_w = 6.6$ ) depremlerine uzaysal yakınlığı ayrıca belirtilmelidir (Şekil 3.116.).





Şekil 3.116. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi ile 01 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloğlarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

Tablo 3.57. 1 Eylül 2006 Yeni İrlanda depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ Nm)	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
10:18:51.60	-6,759	155,512	38,0	17,0	312	46	74	USGS-NEIC
10:18:51.60	-7,010	155,420	45,6	16,1	301	42	78	HRV-GCMT

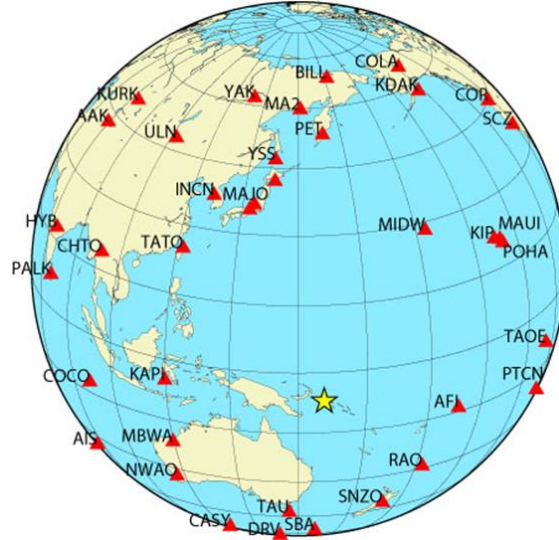
### 3.2.19.2. Kullanılan telesismik veri

Depremin ters çözümü için 36 P ve 3 SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri kullanılmıştır. Kullanılan istasyonlar Tablo 3.58.'de listelenmiştir ve azimutal dağılımları Şekil 3.117.'de gösterilmiştir. Alet etkisi giderildikten sonra 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanan telesismik dalga şekilleri 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Depremin büyüklüğü göz

önünde bulundurulmuş 50 sn'lik bir zaman penceresi sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesi için seçilmiştir.

Tablo 3.58. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	2,16	59,86	P
BILL	68,07	166,45	4,20	75,24	P
COLA	64,87	-147,86	20,94	82,80	P
KDAK	57,78	-152,58	25,51	76,88	P
MIDW	28,22	-177,37	35,53	43,68	P
COR	44,59	-123,30	44,75	88,52	P
SCZ	36,60	-121,40	52,87	88,51	P
KIP	21,42	-158,01	56,99	53,57	P,SH
MAUI	20,77	-156,24	58,60	54,77	P
POHA	19,76	-155,53	60,06	54,96	P
TAOE	-8,85	-140,15	96,56	63,68	P
AFI	-13,91	-171,78	105,19	32,90	P
PTCN	-25,07	-130,10	114,20	73,00	P
RAO	-29,25	-177,93	135,24	33,61	P
SNZO	-41,31	174,70	156,67	38,54	P
SBA	-77,85	166,76	177,52	71,32	P
DRV	-66,66	140,00	186,98	60,84	P
TAU	-42,91	147,32	190,05	36,85	P,SH
CASY	-66,28	110,54	198,00	67,02	P
NWAO	-32,93	117,24	228,39	44,09	P
AIS	-37,80	77,57	232,68	76,36	P
MBWA	-21,16	119,73	243,74	37,47	P
COCO	-12,19	96,83	259,83	58,05	P
KAPI	-5,01	119,75	270,84	35,63	P
PALK	7,27	80,70	279,27	75,95	P
HYB	17,42	78,55	289,14	79,74	P
CHTO	18,81	98,94	295,78	61,35	P
AAK	42,64	74,49	313,36	88,06	P
TATO	24,97	121,50	315,02	45,88	P
KURK	50,72	789,62	321,86	87,08	P
ULN	47,87	107,05	327,51	69,26	P
INCN	37,48	126,62	330,79	51,83	P
MAJO	36,55	138,20	340,66	46,27	P,SH
YAK	62,03	129,68	347,56	71,64	P
YSS	46,96	142,76	349,37	54,92	P
MA2	59,58	150,77	357,37	66,46	P



Şekil 3.117. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.19.3. Sonlu fay parametrizasyonu

HRV-GCMT kataloglarında doğrultu ( $301^\circ$ ), eğim ( $42^\circ$ ) ve rake ( $78^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır (Tablo 3.57.). ISC-GEM odak lokasyonu ( $6.805^\circ\text{G} - 155.555^\circ\text{D}$  ve 38 km) yardımıyla Yeni Britanya Hendeği üzerine oturtulmuştur. 35 km x 15 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için 5 km x 5 km boyutlarında 21 fay parçasına (doğrultu boyunca 7 ve eğim boyunca 3 fay parçası) bölünmüştür. Odağının model fay düzlemi üzerindeki konumu ters çözümde belirlemeye çalışılacaktır.



Şekil 3.118. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 21 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, GD ve KB kenarlarına olan uzaklıkları (sırasıyla 7.5 km, 7.5 km ve 27.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır



01 Eylül 2006 Solomon Adaları depreminin ters çözümü esnasında başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ), 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Depremi temsil eden en iyi fay modeli belirlendikten sonra çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 7 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 8 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### **3.2.19.4. Modelleme sonuçları ve tartışma**

1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi ters çözüm denemelerine amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) belirlenmiş 30 km x 15 km boyutlarında bir fay düzlemi ile başlanmıştır (Tablo 3.59.'da Model M1). Model M1'de odak faylanma alanının ortasına yerleştirilmiştir. Odağın KB ve GD kenarlarına yakın yerleştirildiği ters çözüm denemeleri (sırasıyla Model M2 ve Model M3) sonucunda Model M3'ün veriye uyum bağlamında daha az hata verdiğini göstermiştir. Bu denemelerin her üçünde de odak etrafında yerleşmiş bir ana kayma bölgesi ve KB'da sığda küçük bir kayma bölgesi bulunmaktadır. Model M3 küçük kayma bölgesinin daha iyi ortaya çıkarılması bağlamında doğrultu boyunca fay uzunluğu bir fay parçası uzunluğu kadar arttırılarak Model M4 denemesi yapılmıştır. Hatanın biraz daha düştüğü görülmüştür (Tablo 3.59.).

Kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti için hızların 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değiştiği birçok ters çözüm denemesi yapılmıştır (Tablo 3.59.). Bu denemeler sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ )'nin 2.5 km/sn olduğu ters çözüm denemesi M5 final çözümü olarak kabul edilmiştir.

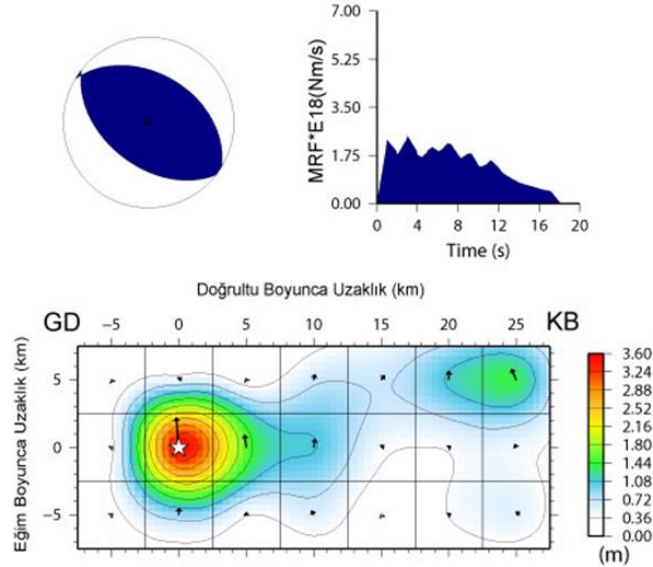
Tablo 3.59. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	30	15	18	5x5	3-2	3,0	83,7	1,991	0,26970	3,2
M2	30	15	18	5x5	5-2	3,0	83,7	2,038	0,27241	3,3
M3	30	15	18	5x5	2-2	3,0	83,8	2,114	0,26256	3,3
M4	35	15	21	5x5	2-2	3,0	84,0	2,166	0,25835	3,2
M5	35	15	21	5x5	2-2	2,5	84,9	2,257	0,25417	3,6
M6	35	15	21	5x5	2-2	2,6	84,8	2,236	0,25502	3,5
M7	35	15	21	5x5	2-2	2,7	84,5	2,224	0,25556	3,4
M8	35	15	21	5x5	2-2	2,8	84,3	2,205	0,25666	3,3
M9	35	15	21	5x5	2-2	2,9	84,1	2,184	0,25765	3,3
M10	35	15	21	5x5	2-2	3,1	83,8	2,152	0,25921	3,2
M11	35	15	21	5x5	2-2	3,2	83,7	2,137	0,25982	3,1
M12	35	15	21	5x5	2-2	3,3	83,6	2,125	0,26042	3,1
M13	35	15	21	5x5	2-2	3,4	83,4	2,108	0,26127	3,0
M14	35	15	21	5x5	2-2	3,5	83,4	2,098	0,26177	3,0

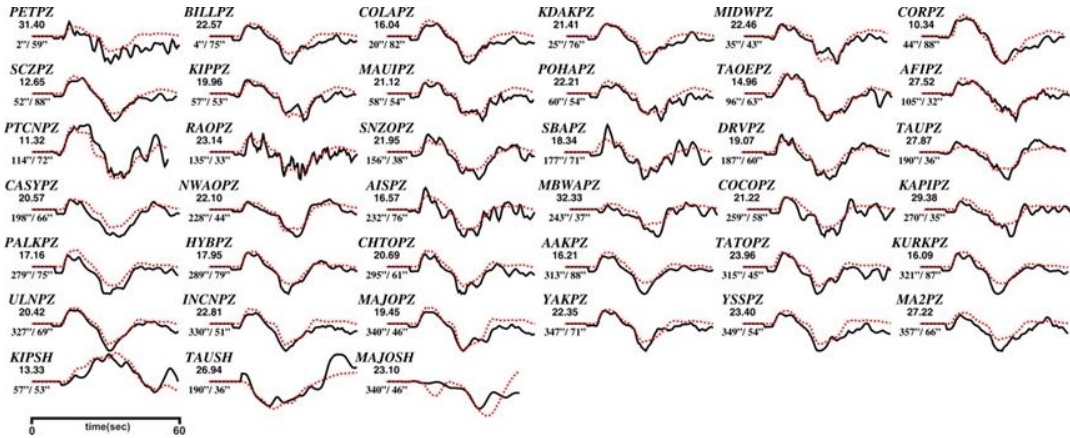
1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi için model M5 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.119.'de gösterilmiştir. Hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.120'de karşılaştırılmıştır. Dalga şekilleri arasında yeterince uyumun sağlandığı görülmektedir. 01 Eylül 2001 Solomon Adaları depremi kayma dağılımı modelinden hesaplanan sismik moment ( $M_o$ )  $2.257 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.8$ ) ve değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından kayma açısı  $85^\circ$  olarak bulunmuştur. Şekil 3.119.'da verilen kayma dağılım modelinden bu deprem kırılmasında odakta yerleşmiş büyük bir pürüzün yenilmesinin baskın olduğu görülebilir. Kabaca 10 km çaplı, daire geometrili bu pürüz için hesaplanan en büyük kayma değeri 3.6 m'dir. Odağın KB kenarında yüzeye yerleşmiş şekilde en büyük kayma değeri 1.4 m olan göreceli olarak küçük ikinci bir pürüz bulunmaktadır. Moment boşalım fonksiyonu depremin enerji serbestlemesinin yaklaşık 18 sn sürdüğünü önermektedir.

## 01 Eylül 2006 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.2257E+20$ (Nm),  $M_w = 6.8$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (301.0, 42.0, 84.9, 38.0)

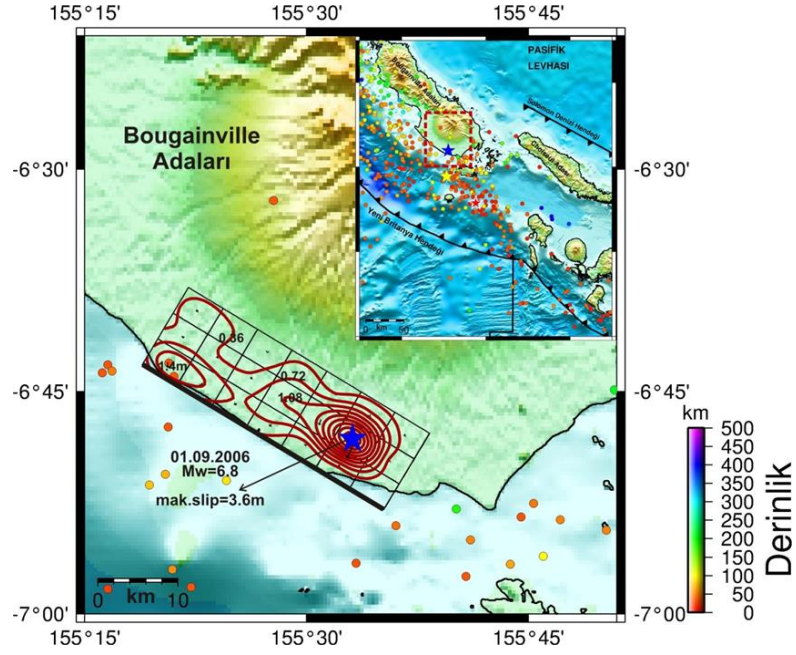


Şekil 3.119. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.59.'daki Model M5 denemesinin sonucunda elde edilmiştir

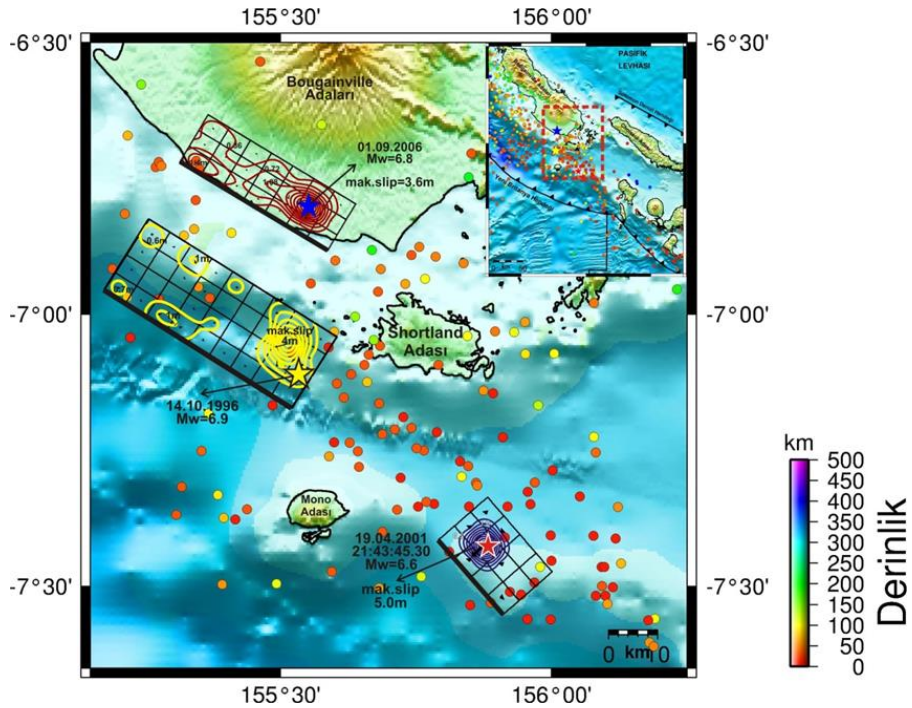


Şekil 3.120. 1 Eylül 2006 depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M5 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

Deprem için elde edilen kayma dağılım modeli harita projeksiyonu Şekil 3.121.'de ve 14 Ekim 1996 ve 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremlerinin kayma dağılımlarını da içeren harita Şekil 3.122.'de verilmiştir. 01 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi kırılmasının 14 Ekim 1996 Solomon Adaları depremi kırılmasının levhalar arası yüzeyde eğim aşağı devamı olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 3.121. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi ile 01 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Deprem için kayma dağılımı konturları (kırmızı çizgi) 0.36 m aralıklarla çizilmiştir



Şekil 3.122. 1 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi (mavi yıldız) ve önceki yıllarda yakın konumda meydana gelmiş depremlerin kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 19 Nisan 2001 Solomon Adaları depremi ile 01 Eylül 2006 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 01 Eylül 2006 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.36 m aralıklarla, 19 Nisan 2001 depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.5 m aralıklarla, 14 Ekim 1996 depremi için konturlar (sarı çizgi) 0.5 m aralıklarla çizilmiştir





Tablo 3.60. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

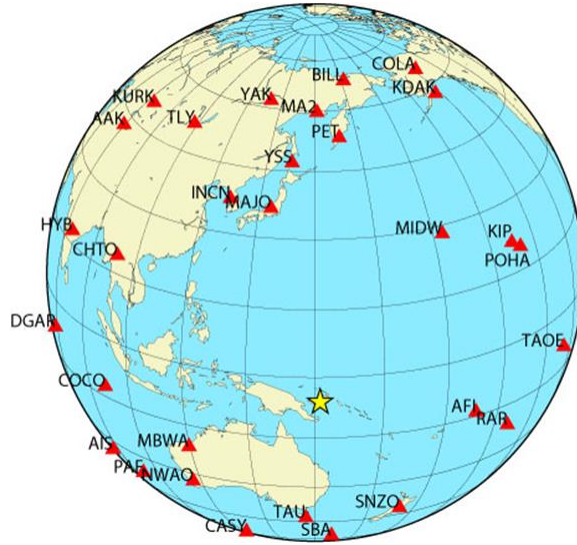
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik GCMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
01:25:12.23	-5,881	150,982	32,0	10,00	13	32	96	USGS-NEIC
01:25:12.20	-6,090	151,260	43,0	13,78	43	36	105	HRV-GCMT

### 3.2.20.2. Kullanılan telesismik veri

27 P ve 7 SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri ters çözümde verilmiştir. Kullanılan istasyonlar Tablo 3.61.'de verilmiş ve Şekil 3.124.'de azimutal dağılımlar gösterilmiştir. Alet etkisi giderilen kayıtlara 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmış ve 0.5 sn ile örneklenmiştir. 45 sn'lik bir kayıt uzunluğunun sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Tablo 3.61. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

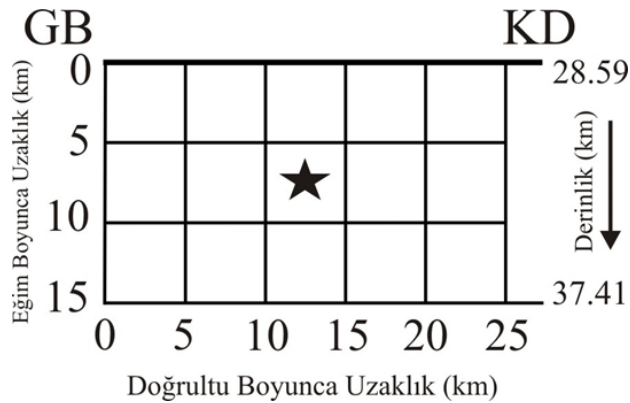
İstasyon	Enlem( $^{\circ}$ )	Boylam( $^{\circ}$ )	Azimut( $^{\circ}$ )	Uzaklık( $^{\circ}$ )	Faz
PET	53.02	158.65	5.33	59.28	P,SH
BILL	68.07	166.45	5.91	74.77	P
COLA	64.87	-147.86	21.97	83.63	P
KDAK	57.78	-152.58	26.99	78.08	P
MIDW	28.22	-177.37	40.15	45.75	P,SH
KIP	21.42	-158.01	59.64	56.93	P
POHA	19.76	-155.53	62.48	58.48	P,SH
TAOE	-8.85	-140.15	97.20	68.24	P
AFI	-13.91	-171.78	105.21	37.46	P
RAR	-21.21	-159.77	112.84	49.98	P
SNZO	-41.31	174.70	152.75	41.22	P
SBA	-77.85	166.76	176.57	72.42	P
TAU	-42.91	147.32	184.49	37.15	P
CASY	-66.28	110.54	196.55	66.52	P
PAF	-49.35	70.21	220.84	79.54	P
NWAO	-32.93	117.24	224.87	41.42	P
AIS	-37.80	77.57	232.25	73.33	P
MBWA	-21.16	119.73	240.23	33.92	P
COCO	-12.19	96.83	259.20	53.80	P
DGAR	-7.41	72.45	263.65	77.95	P
HYB	17.42	78.55	289.79	75.22	P
CHTO	18.81	98.94	297.01	56.94	P
AAK	42.64	74.49	314.02	84.22	P
KURK	50.72	789.62	322.61	83.64	P
TLY	51.68	103.64	331.01	70.31	P
INCN	37.48	126.62	334.25	48.98	SH
MAJO	36.55	138.2	345.16	44.11	SH
YAK	62.03	129.68	349.53	69.90	P
YSS	46.96	142.76	352.98	53.37	P,SH
MA2	59.58	150.77	359.86	65.48	P,SH



Şekil 3.124. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dış merkezini göstermektedir

### 3.2.20.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Sonlu-fay ters çözümünde kullanılacak temsili fay düzleminin faylanma parametreleri doğrultu ( $43^\circ$ ), eğim ( $36^\circ$ ) ve rake ( $105^\circ$ ) HRV-GCMT çözümünden alınmıştır (Tablo 3.60.). ISC-GEM kataloglarındaki odak lokasyonu bilgileri ( $5.829^\circ\text{G} - 151.080^\circ\text{D}$  ve 33 km) kullanılmıştır. Faylanma boyutları 25 km x 15 km olarak tayin edilmiş ve bu model 5 km x 5 km boyutlarında 15 fay parçasına (doğrultu boyunca 5 ve eğim boyunca 3 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.125.). Odağın fay düzlemi üzerindeki konumu ters çözüm denemeleri ile belirlenecektir.



Şekil 3.125. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5km aralıklarla toplam 15 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, GB ve KD kenarına olan uzakları (sırasıyla 7.5 km, 12.5 km ve 12.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır



Başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ), 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşmeyen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 6 sn'lik bir toplam kayma süresine olanak tanınmıştır.

### 3.2.20.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Şekil 3.125.'de gösterilen faylanma boyutları amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) elde edilen boyutlardır ve odağın ortada alınmasıyla Model M1 denemesi yapılmıştır. Daha sonraki Model M2 ve Model M3 denemelerinde odak sırasıyla KD ve GB kenarına doğru kaydırılmıştır. Model M2 ve Model M3 denemelerinde veriye uyumu gösteren hata oranlarının arttığı görülmüştür (Tablo 3.62.). Faylanma boyutlarının doğrultu ve eğim boyunca geçirildiği ters çözüm denemeleri 25 km x 15 km'lik faylanma boyutlarının yeterli olduğunu göstermiştir (Tablo 3.62.). Kırılma hızının ( $V_r$ ) yapılan denemeler sonucu gözlenmiş veriye en iyi uyumun 2.7 km/sn'lik bir kırılma hızı ile elde edilebildiği görülmüştür (Tablo 3.62.'de Model M7).

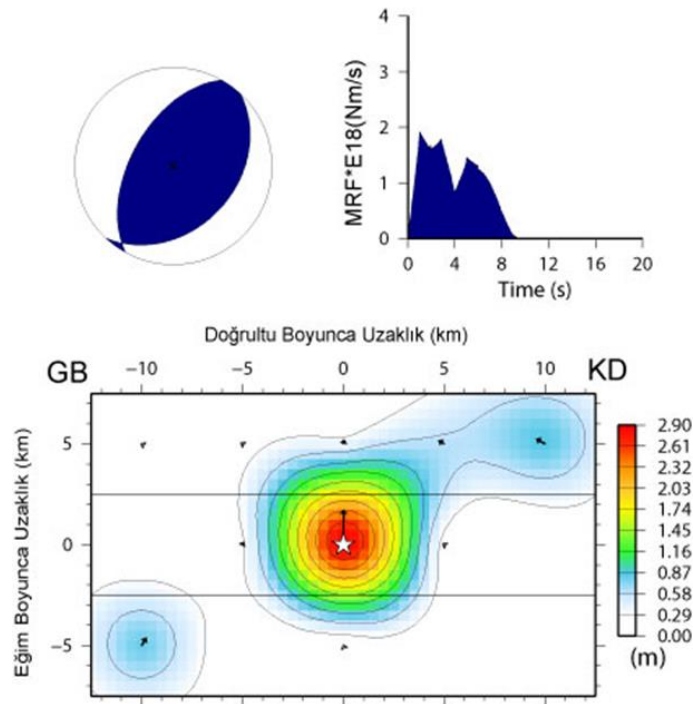
Tablo 3.62. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

Model Parametrizasyonu											
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)	
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>0</sub> -N <sub>0</sub>						
M1	25	15	15	5x5	3-2	3,0	101,2	0,8522	0,46317	2,9	
M2	25	15	15	5x5	4-2	3,0	100,6	0,8668	0,46380	2,8	
M3	25	15	15	5x5	2-2	3,0	101,8	0,8419	0,46529	2,8	
M4	25	15	15	5x5	3-2	2,5	100,9	0,8556	0,46347	3,1	
M5	25	15	15	5x5	3-2	2,6	101,1	0,8564	0,46346	3,1	
M6	25	15	15	5x5	3-2	2,7	101,1	0,8556	0,46327	3,0	
M7	25	15	15	5x5	3-2	2,8	101,3	0,8539	0,46265	2,9	
M8	25	15	15	5x5	3-2	2,9	101,2	0,8532	0,46309	2,9	
M9	25	15	15	5x5	3-2	3,1	101,2	0,8528	0,46324	2,8	
M10	25	15	15	5x5	3-2	3,2	101,1	0,8559	0,46317	2,7	
M11	25	15	15	5x5	3-2	3,3	101,1	0,8558	0,46323	2,7	
M12	25	15	15	5x5	3-2	3,4	101,1	0,8556	0,46326	2,6	
M13	25	15	15	5x5	3-2	3,5	101,0	0,8551	0,46324	2,6	

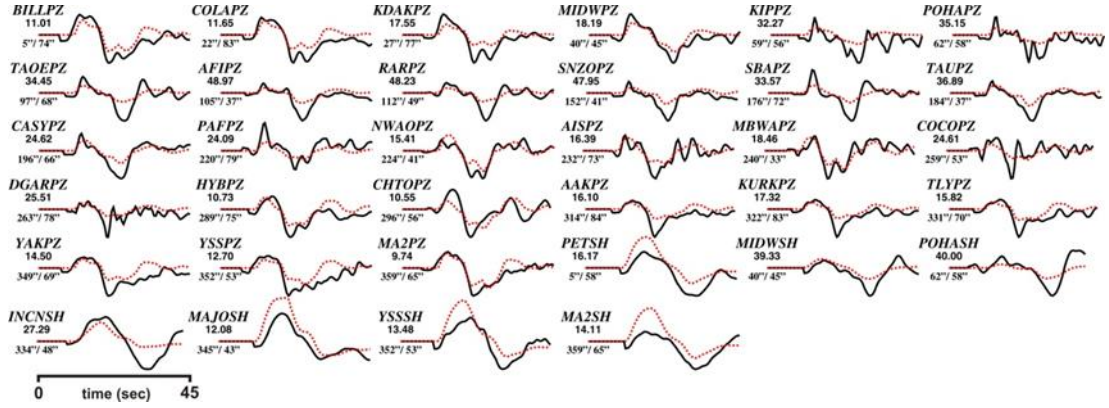
Şekil 3.126. Model M7 ters çözüm denemesinin sonuçlarını yansıtmaktadır. Bu modelden üretilen yapay dalga şekilleri gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.127.'de karşılaştırılmıştır. Hesaplanan sismik moment ( $M_0$ )  $0.8539 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.56$ ) olarak bulunmuş ve kayma açısı  $101^\circ$  olarak elde edilmiştir. Depreme ait kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının faylanma alanının ortasında odakta merkezlenmiş, 10 km çapında kabaca dairesel şekilli ve en büyük kayma değeri 2.9 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği söylenebilir. Bu baskın pürüzün kırılma alanından fayın KD sığ köşesine uzanan ve kayma genliği 0.8 m civarı olan ikincil bir kayma bölgesi de dikkate değerdir. Faylanma alanının GB kenarında derinde yerleşmiş ve en büyük kayma genliği 0.8 m olan kayma bölgesinin faylanma boyutlarının arttırıldığı ters çözüm denemelerinde ortadan kalkması ters çözüm sonucu ortaya çıkmış yapay kayma olabileceğini düşündürmektedir. Depremin enerji serbestlemesinin yaklaşık 9 sn sürdüğünü moment boşalım fonksiyonundan anlaşılmaktadır.

### 17 Ekim 2006 Yeni Britanya Depremi

Moment =  $0.8539E+19$ (Nm),  $M_w = 6.6$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = ( 43.0, 36.0, 101.3, 33.0)

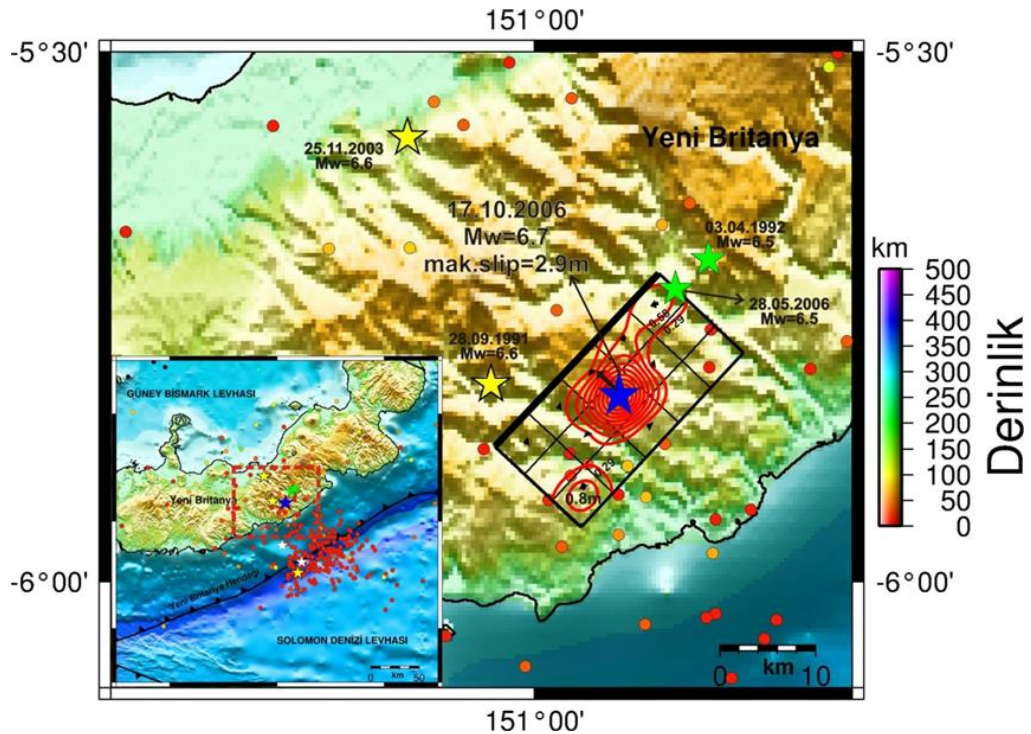


Şekil 3.126. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.62.'deki Model M7 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.127. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M7 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

Deprem ters çözümü sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli harita projeksiyonu Şekil 3.128.'de gösterilmiştir. Bu depremden kısa bir süre önce meydana gelen 28 Mayıs 2006 depremi ( $M_w=6.5$ ) (yeşil yıldız) episantrının bu deprem kırılmasının hemen kenarında yerleşmesi ilginçtir (Şekil 3.128.).



Şekil 3.128. 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 17 Ekim 2006 Yeni Britanya depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Deprem için kayma dağılımı konturları (kırmızı çizgi) 0.29 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.21. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_W=8.1$ ) sonlu fay analizi

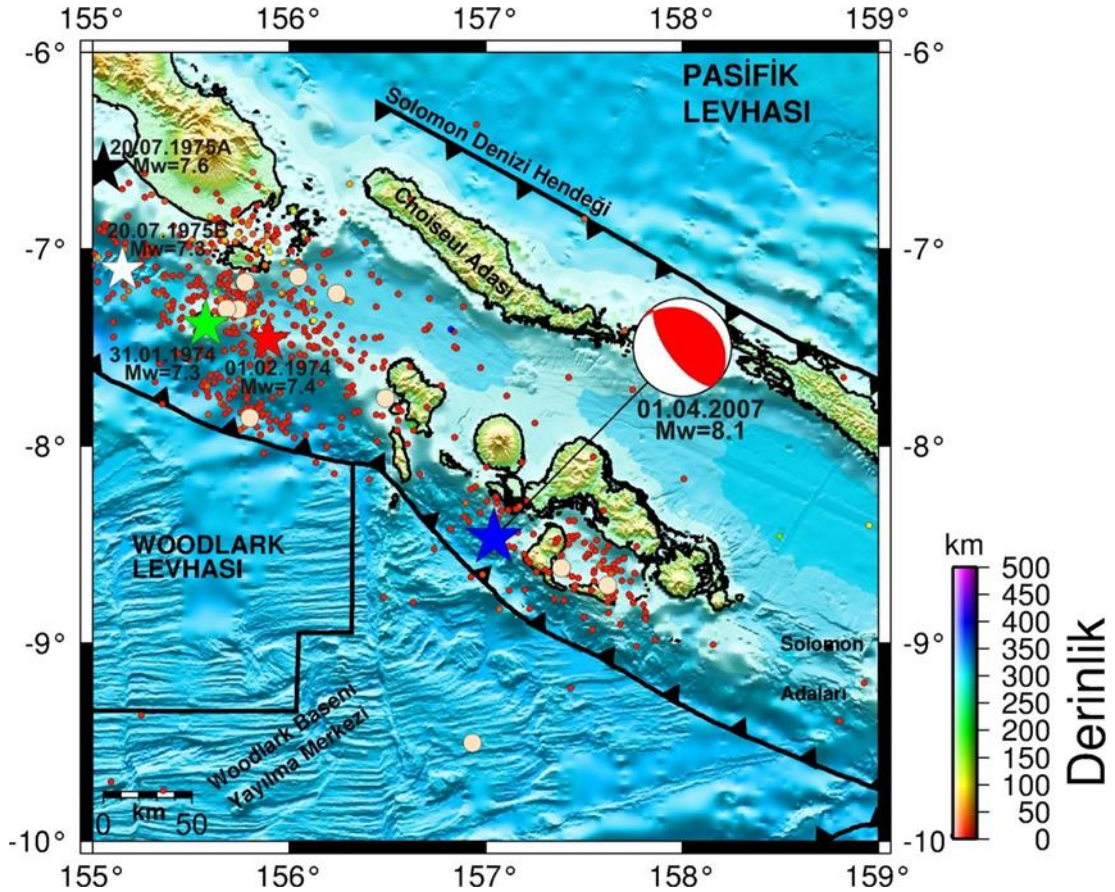
#### 3.2.21.1. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_W=8.1$ )

1 Nisan 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_W=8.1$ ) Pasifik Levhası sınırında bulunan Avustralya, Woodlark ve Solomon Denizi Levhaları boyunca meydana gelmiştir (Şekil 3.129.). Bu üç levha ile Pasifik Levhası arasında yılda 90-105 mm/yıl oranında doğu-kuzeydoğu ya da kuzeydoğu yönünde yakınsama vardır. Bu yakınsama sonucu Avustralya/Woodlark/Solomon Denizi levhaları Pasifik Levhasının altına dalmaktadır. 1 Nisan 2007 Solomon Denizi Depremi lokasyonu ve odak mekanizması (Tablo 3.63.) depremin Avustralya/Woodlark/Solomon Denizi levhalarının Pasifik Levhasının altına kuzeydoğuya yönelimli dalımın gerçekleştiği levhalararası yüzeyde oluştuğuna işaret etmektedir.

Bu bölgede geçmiş yüzyılda uzay ve zaman ortamında birbirine oldukça yakın  $M_W \geq 7.0$  deprem çiftleri meydana gelmiştir ( 14 ve 16 Temmuz 1971,  $M_W=8.1$  ve  $M_W=8.0$  depremleri; 31 Ocak ve 1 Şubat 1974,  $M_W=7.3$  ve  $M_W=7.4$  depremleri; 20 Temmuz 1975,  $M_W=7.6$  ve  $M_W=7.3$  depremleri). Bu depremler bir çok araştırmacının ilgisini çekmiş ve detaylı çalışmalar yapılmıştır (Lay ve Kanamori, 1980; Schwartz ve ark., 1989; Dmowska ve ark., 1991; Xu ve Schwartz, 1993; Kagan ve Jackson, 1999; Schwartz, 1999; Park ve Mori, 2007a,b). Bu nedenle 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi de hem büyüklüğü hem de tsunami üretme potansiyeli nedeniyle detaylı çalışmalara konu olmuştur (Biryol ve Beck, 2007; Fisher ve ark., 2007; Ji, 2007; Fritz ve Kalligaris, 2008; Uslu ve ark., 2008; Chen ve ark., 2009; Biryol, 2009).

1 Nisan 2007 Solomon Adarı depremi sonucunda büyük tsunami dalgaları (12 m) oluşmuştur (Fritz ve Kalligaris, 2008). Bunun sonucunda batıda yer alan kıyı yerleşim yerlerinde ve Choiseul Eyaletinde 52 kişi yaşamını yitirmiş, yerel halkın geçim kaynakları önemli zararlar görmüştür (McAdoo ve ark., 2009).





Şekil 3.129. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümü Biryol ve Beck (2007) ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Büyük krem rengi daireler ise 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 6.0$  depremleri temsil etmektedir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar – Uluslar arası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

Tablo 3.63. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

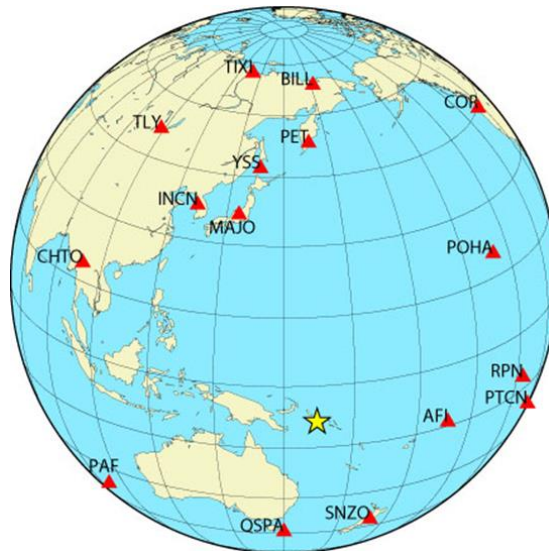
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ Nm)	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
20:39:58.00	-8,466	157,043	24,0	1747	322	30	101	USGS-NEIC
20:40:38.90	-7,790	156,340	14,1	1570	333	37	121	HRV-GCMT
-	-	-	-	3216	300	19	72	Yagi (2007)
-	-	-	-	635	305	25	73	Biryol ve Beck (2007)

### 3.2.21.2. Kullanılan telesismik veri

Ters çözümü için 12 P ve 4 SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri kullanılmıştır. Bu dalga şekillerinin alındığı istasyonlar ait azimutal dağılımlar Tablo 3.64.'de verilmiş olup azimutal dağılımları Şekil 3.130.'da gösterilmiştir. Alet etkisi giderilen dalga şekillerine 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Ters çözümde hem P hemde SH dalga şekilleri için 100 sn'lik bir kayıt uzunluğu alınmış ve dalga şekilleri 0.5 sn aralıklarla örneklenmiştir.

Tablo 3.64. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

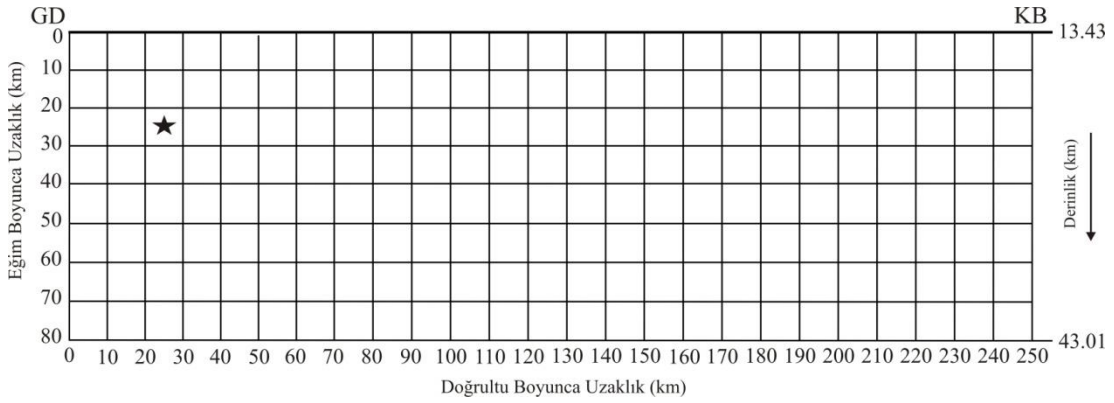
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	1,11	61,49	P
BILL	68,07	166,45	3,60	76,81	P
COR	44,59	-123,3	44,49	88,67	P
POHA	19,76	-155,53	58,32	54,55	P
PTCN	-25,07	-130,10	113,70	70,97	P
RPN	-27,13	-109,33	117,34	89,36	P
QSPA	-89,93	144,44	180,02	81,48	P
PAF	-49,35	70,21	221,12	81,53	P
CHTO	18,81	98,94	296,04	63,41	P
TLY	51,68	103,64	329,06	75,49	P
MAJO	36,55	138,20	339,70	48,34	P
TIXI	71,63	128,87	351,37	82,22	P
AFI	-13,91	-171,78	102,97	31,06	SH
SNZO	-41,31	174,70	157,39	36,40	SH
INCN	37,48	126,62	330,24	54,01	SH
YSS	46,96	142,76	348,41	56,84	SH



Şekil 3.130. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.21.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

1 Nisan 2007 Solomon Adaları depreminin sonlu-fay düzlemi faylanma parametreleri (doğrultu  $305^\circ$ , eğim  $25^\circ$  ve rake  $73^\circ$ ) Biryol ve Beck (2007)'den alınmıştır (Tablo 3.63.). Model fay düzlemi USGS-NEIC kataloglarında verilen odak lokasyonu ( $8.466^\circ\text{G}-157.043^\circ\text{D}$  ve 24 km) kullanılarak deprem bölgesine yerleştirilmiştir. Kırılma alanı 250 km x 80 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi ile tanımlanmıştır. Kırılma alanı 10 km x 10 km boyutlarında 200 fay parçasına (doğrultu boyunca 25 ve eğim boyunca 8 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.131.). Odağın fay düzlemi üzerindeki konumu yapılacak ters çözüm denemelerinde belirlenmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.131. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 10 km aralıklarla toplam 200 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, GD ve KB kenarına olan uzakları (sırasıyla 25 km, 25 km ve 225 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

1 Nisan 2007 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde başlarken kırılma hızı ( $V_r$ ), 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Depremi temsil eden en iyi fay modeli belirlendikten sonra çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.5 sn süreli birbiriyle örtüşen 10 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 16.5 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.



#### 3.2.21.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi yukarıda detaylı bir şekilde bahsedildiği üzere oldukça büyük bir depremdir. Bu sebeple faylanma alanı boyutlarının da büyük olması beklenen bir durumdur. Blaser ve ark. (2010) tarafından ortaya konulan amprik bağıtlar bu deprem için 160 km x 70 km boyutlarında faylanma boyutları önermektedir (Model M1, Tablo 3.65.). Deprem odağının, tasarlanan bu faylanma alanının merkezine yerleştirildiği ve Harvard-GCMT faylanma parametreleriyle (Tablo 3.63.) (Model M1) sonucu oldukça yüksek bir hata oranı ortaya çıkmış ve faylanma alanı üzerindeki kayma bölgeleri tam çevrelenememiştir (Tablo 3.65.). Faylanma alanı üzerinde odağın yeri KB ve GD kenarlarına yakın şekilde konumlandırılarak sırasıyla Model M2 ve Model M3 ters çözüm denemeleri yapılmıştır. Bu denemelerde elde edilen sonuçlar her ne kadar tatmin edici olsa da Model M3 denemesinde hata miktarının ciddi düşüşü odağın GD kenarına yakın olduğu bilgisini vermiştir. Tüm bunların yanında üç denemede de faylanma alanının yetersizliği de açıkça görülmüştür. Bundan dolayı faylanma alanı arttırılmış ve 200 km x 70 km'lik bir model fay düzlemi kullanılmıştır (Tablo 3.65.'de Model M4). Hata miktarının oldukça düştüğü görülmesine rağmen bir kısım kayma bölgelerinin kenarlarda sıkışmış hali faylanma alanının genişletilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Böylelikle faylanma alanının 250 km x 70 km'ye çıkarıldığı Model M5 denemesi yapılmıştır. Bu deneme sonucunda hata miktarının daha da düştüğü ve tüm kayma bölgelerinin rahatça çevrelenbildiği görülmüştür. Ters çözüm denemesi Model M6'da ise Biryol ve Beck (2007) tarafından elde edilmiş doğrultu ( $305^\circ$ ), eğim ( $25^\circ$ ) ve rake ( $73^\circ$ ) açıları kullanılarak modelleme yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar irdelendiğinde çözümün kalitesine işaret eden hata miktarı oldukça düşmüş (Tablo 3.65.) ve fay pürüzleri faylanma alanı üzerinde net bir şekilde ortaya konmuştur. Tablo 3.63.'de verilen diğer tüm kurum ve araştırmacıların sonuçlarıyla çözümler yapılmış ve az hata miktarlı sonuca Biryol ve Beck (2007)'nin faylanma parametreleriyle ulaşıldığı görülmüştür. Daha sonra kırılma hızı ( $V_r$ ) tespiti için hızların 2.5 ile 3.0 km/sn arasında değiştiği bir çok ters çözüm denemesi yapılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda en tatmin edici sonuçların kırılma hızının 3.0 km/sn olduğu ters çözüm denemesinden (Model M6) elde edildiği görülmüştür.

Tablo 3.65. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

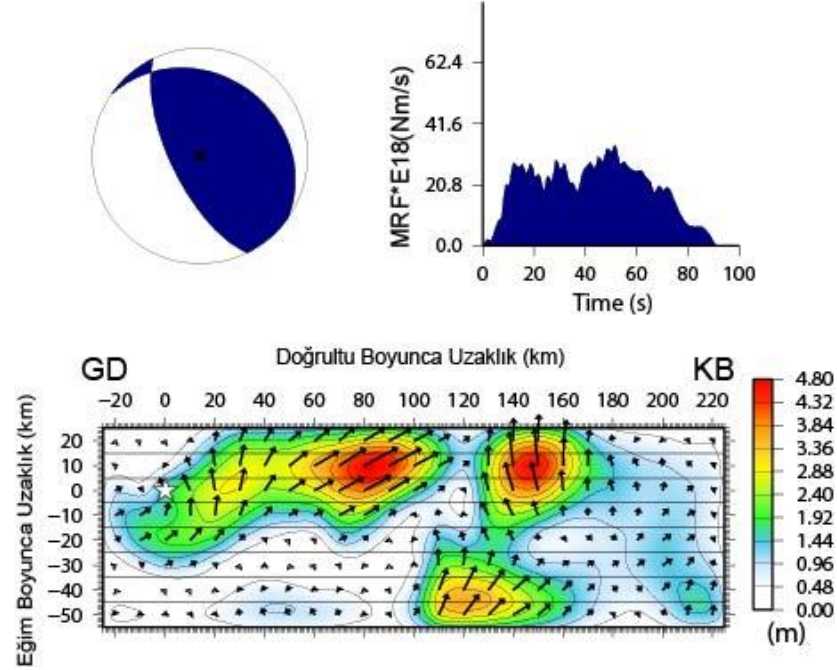
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	160	70	112	10x10	8-4	3,0	106,8	36,78	0,67919	5,6
M2	160	70	112	10x10	14-4	3,0	116,1	50,16	0,64480	5,0
M3	160	70	112	10x10	3-4	3,0	103,3	50,81	0,50808	4,9
M4	200	70	140	10x10	3-4	3,0	100,3	118,7	0,39153	6,0
M5	250	80	200	10x10	3-6	3,0	94,8	155,0	0,31012	5,4
M6	250	80	200	10x10	3-6	3,0	63,2	152,1	0,23817	4,8
M7	250	80	200	10x10	3-6	2,5	66,8	182,0	0,24743	6,6
M8	250	80	200	10x10	3-6	2,6	68,8	176,5	0,24298	6,3
M9	250	80	200	10x10	3-6	2,7	68,0	171,1	0,23872	5,9
M10	250	80	200	10x10	3-6	2,8	66,7	163,6	0,23864	5,5
M11	250	80	200	10x10	3-6	2,9	64,7	157,5	0,23861	5,1
M12	250	80	200	10x10	3-6	3,1	61,8	147,8	0,23894	4,7
M13	250	80	200	10x10	3-6	3,2	60,6	143,4	0,23858	4,7
M14	250	80	200	10x10	3-6	3,3	59,4	140,0	0,23910	4,6
M15	250	80	200	10x10	3-6	3,4	58,3	136,6	0,24019	4,5
M16	250	80	200	10x10	3-6	3,5	56,9	132,7	0,24144	4,3

1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için çalışmada tercih edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.132.'de gösterilmiş ve bu modelden üretilen yapay dalga şekilleri gözlenmiş dalga şekilleri ile Şekil 3.133.'de karşılaştırılmıştır. Bu kayma dağılım modeli  $152.1 \times 10^{19}$  Nm'lik ( $M_w=8.06$ ) bir sismik moment ( $M_o$ ) serbestlenmesine karşılık gelmektedir. Ortalama kayma açısı  $63^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Depreme ait Şekil 3.132.'de verilen kayma dağılım modeli incelendiğinde üç belirgin fay pürüzün kırılmasının hakim olduğu ve KB'ya doğru tek taraflı ilerlemiş bir deprem kırılması görülmektedir. Deprem odağından KB'ya doğru yaklaşık olarak 80 km uzaklıkta 4.8 m kayma genliği değerine sahip kabaca dairesel şekilli 15 km yarıçaplı bir pürüz bulunmaktadır. Bu pürüzün kırılması sonlanmakta iken odaktan yaklaşık 120 km uzaklıkta, biri sığda diğeri derinde yerleşmiş diğer iki pürüzün kırılmaları başlamıştır. Sağdaki pürüz 4.7 m kayma genliğine sahipken derinde bulunan ise 3.4 m kayma genliğine sahiptir. Moment boşalım fonksiyonu depremin enerji boşalımının yaklaşık olarak 90 sn sürdüğünü göstermektedir.

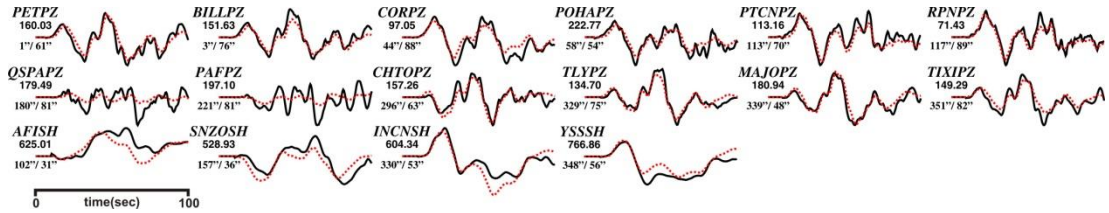
## 01 Nisan 2007 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.1521E+22$ (Nm),  $M_w = 8.1$

(Strike,Dip,Slip,h) = (305.0, 25.0, 63.2, 24.0)



Şekil 3.132. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.65'deki Model M6 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



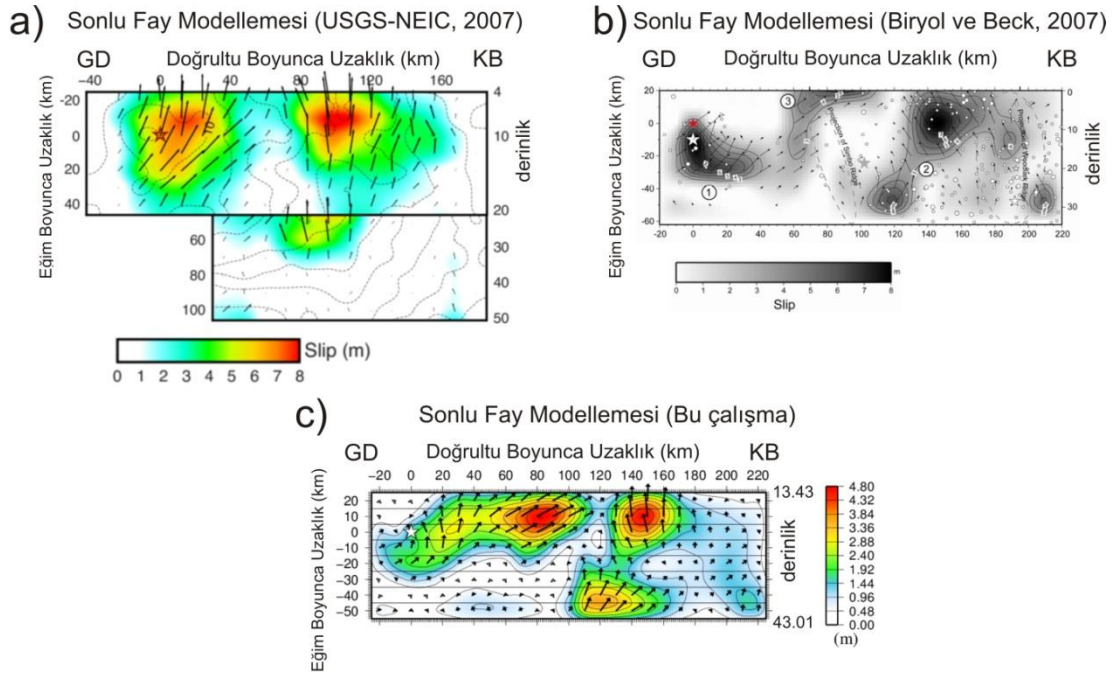
Şekil 3.133. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M6 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi önceki bölümlerde bahsedildiği üzere çeşitli kurum ve araştırmacılar tarafından detaylı bir şekilde analiz edilmiş büyük bir depremdir. Bu analizler sonucu elde edilmiş kayma dağılım modelleri ile bu çalışma da elde ettiğimiz sonlu-fay kayma dağılım modeli Şekil 3.134.'de karşılaştırılmıştır. Her üç modelde de kayma modellerinin birbirlerine olan benzerliği dikkat çekmektedir. USGS-NEIC (2007) tarafından önerilen model elde edilirken farklı iki fay segmenti tanımlanarak hesaplamalar yapılmıştır. Yaklaşık olarak en büyük kayma

değeri 8 m olarak bulunmuştur. Biryol ve Beck (2007) ve bu çalışmada değişken kayma açısı varsayımı ile modellemeler yapılmıştır. Biryol ve Beck (2007) en büyük kayma genliği değerini yaklaşık 8 m bulurken bizim çalışmamızda ise en büyük kayma genliği değeri 4.8 m olarak elde edilmiştir. Her üç modeldede kırılma yayılımı KB'ya doğru tek yönlü bir yönelim göstermektedir.

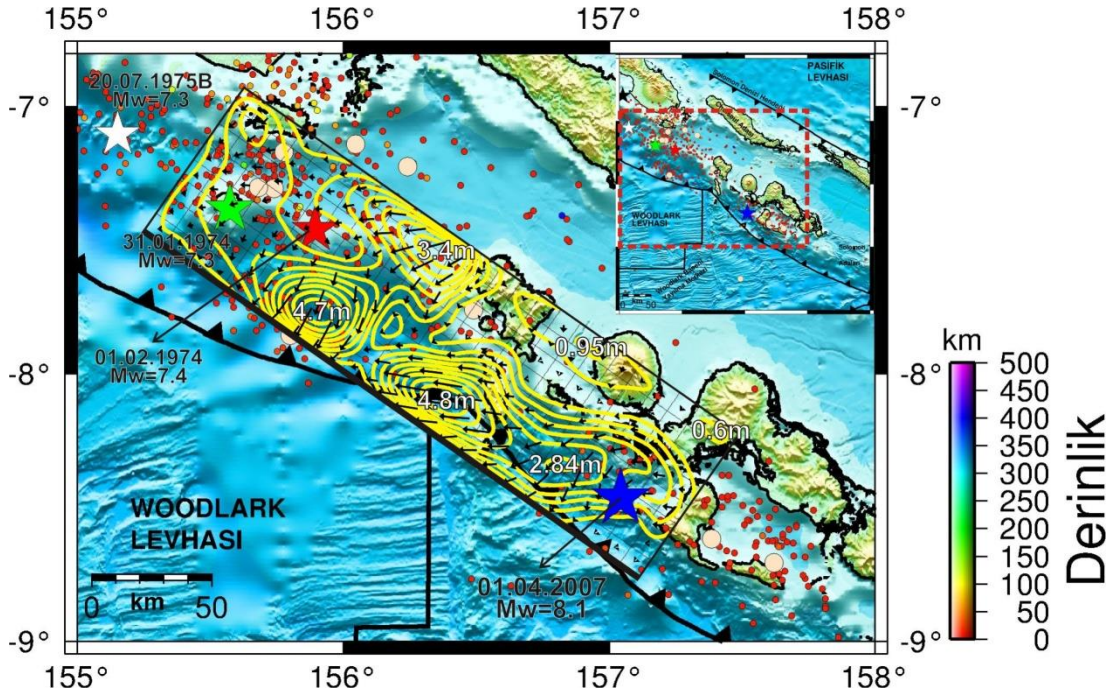
Deprem oldukça karmaşık bir kırılma sürecine sahiptir. Biryol ve Beck (2007) yaptıkları çalışmalarda yine depremin iki alt olay ile meydana geldiğini savunmuşlardır. İlk alt olayın 15-20 sn zaman dilimi içerisinde gerçekleştiği ve kırılmanın fayın GD kesiminde başladığını önermektedirler. Daha sonraki zamanlarda ikinci alt olayın meydana geldiğini ve kırılmanın tek taraflı olarak episantrın kuzeybatısına doğru ilerlediğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda bu depremin tipik bir levhalararası (intraplate) bir deprem olmadığını kayma dağılım modeline dayanarak deprem kırılmasının Avustralya/Woodlark/Solomon Denizi Levhalarının arayüzü (interface) boyunca yayıldığını düşünmektedirler. Bahsi geçen levha arayüzleri boyunca sismik davranışta farklılıkların bulunduğu ve bunun nedeninin ise levhaların dinamik, tektonik ve termal farklılıklarından kaynaklandığını savunmuşlardır.

Bu çalışmada bulunan kayma dağılım modelinin harita izdüşümü Şekil 3.135.'de gösterilmiştir. Görüleceği üzere en büyük pürüz ve bu pürüzle odak arasında gerçekleşen kayma Woodlark Havzası Yayılma Merkezi'nin Yeni Britanya Hendeği'yle birleştiği kavşağın GD'sunda yerleşmiştir. Bu kavşaktan KB'ya doğru Yeni Britanya Hendeği'nin doğrultusunun yaklaşık  $20^{\circ}$  kadar doğu-batı doğrultusuna değiştiği görülmektedir. Çalışmada belirlenen diğer iki pürüz bu doğrultu değişiminden sonra levhalar arası yüzeyde konumlanmıştır. Bu durum hendek geometrisindeki değişimin deprem kırılması üzerinde etkili olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 3.134. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için a) USGS-NEIC (2007) b) Biryol ve Beck (2007) ve c) bu çalışmada elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması

Daha önce bahsedilen 1974 ve 1975 deprem çiftlerinin 01 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için belirlenen kırılma modeline göre konumları da ilgi çekicidir (Şekil 3.135.). 1974 ve 1975 deprem çiftlerinin Yeni Britanya Hendeği üzerinde levhalar arası yüzeyin KB'ya doğru kırılmasına yol açtığı görülmektedir. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi kırılması da hendeğin söz konusu deprem çiftleri GD'sundaki 250 km'lik kısmını kırmıştır. Önceki deprem kırılmaları 2007 depremi kırılmasının KB sonunu belirlemiştir. Çalışmada bulunan kayma modelinin kaymanın göreceli olarak az olduğu en KB'daki 40 km'lik fay uzunluğu boyunca 1974 deprem çifti kırılmalarıyla bir örtüşme kayda değer bir olasılıktır.



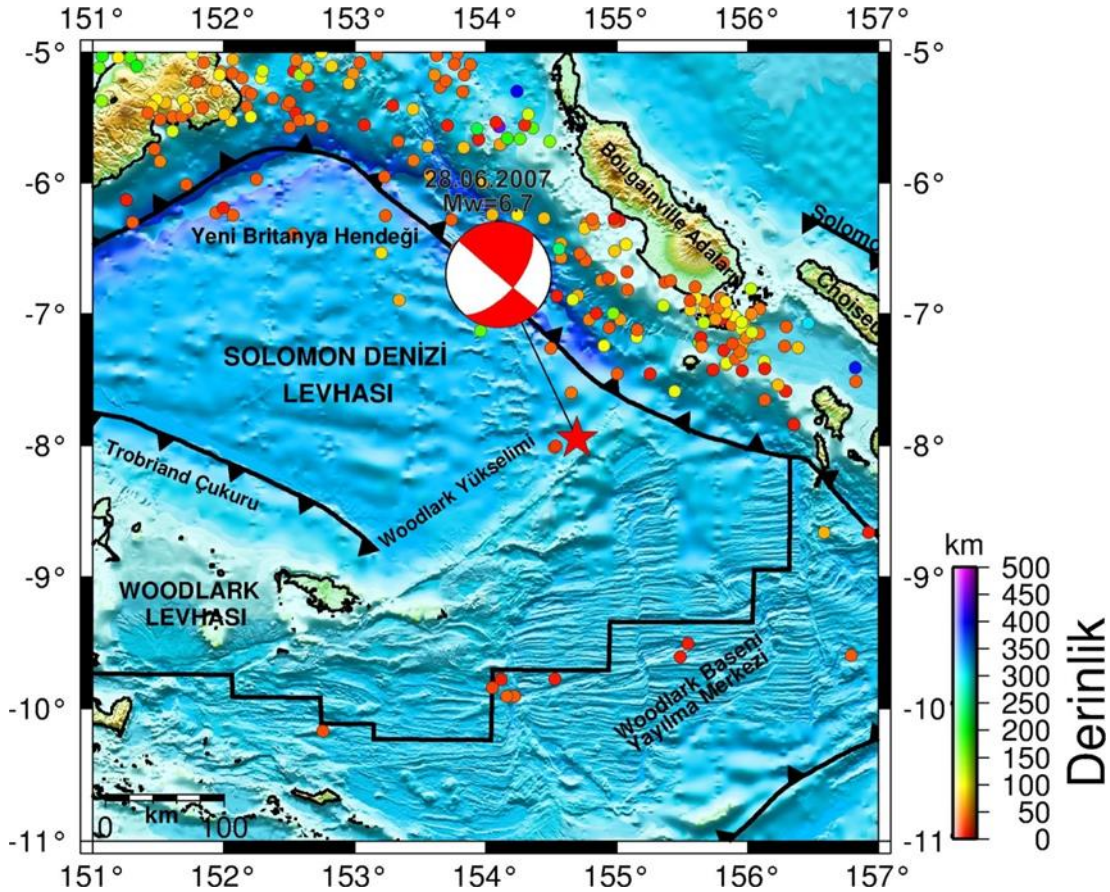
Şekil 3.135. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Büyük krem rengi daireler ise 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 6.0$  depremleri temsil etmektedir. 1 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi için konturlar (sarı çizgiler) 0.48 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.22. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.22.1. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ )

28 Haziran 2007 Solomon Adaları Depremi ( $M_w \approx 6.7$ ) Solomon Denizi Levhası ile Woodlark Baseni Yayılma Merkezi arasındaki sınır bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 3.136.). Davies ve ark., (1984) Woodlark Yükseliminin kuzey kenarı boyunca sığ depremlerin meydana geldiğini belirtmişlerdir. ISC-GEM kataloglarına göre depremin odak derinliğinin 18 km olması bu tezi destekler niteliktedir. Woodlark Baseni Yayılma Merkezi civarında okyanus ortası sırtlar ve iki sırt arasında gelişen transform faylar bulunmaktadır (Şekil 3.136.). Depremin kaynak mekanizma çözümlerinde (Tablo 3.66., Şekil 3.136.) belirlenen KD-GB doğrultulu düzlem batimetrideki çizgiselikle uyum sergilemekte olup fay düzlemi olarak seçilmiştir. Bu durumda sağ-yanal bir faylanma söz konusudur. Bu faylanma mekanizması bölgede hakim olan tektonik unsurlarla uyum içerisindedir.





Şekil 3.136. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler bu depremden sonra 6 ay içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanındaki derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

Depremi sonlu-fay ters çözümünde için ISC-GEM (International Seismological Center-Global Earthquake Model) kataloglarından elde edilen odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.). 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismolojik merkezler tarafından verilen kaynak parametreleri Tablo 3.66.'da derlenmiştir.

Tablo 3.66. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ Nm)	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
02:52:10.99	-7,979	154,6350	18,0	16,0	53	86	180	USGS-NEIC
02:52:09.60	-7,950	154,700	18,0	13,2	40	60	179	HRV-GCMT

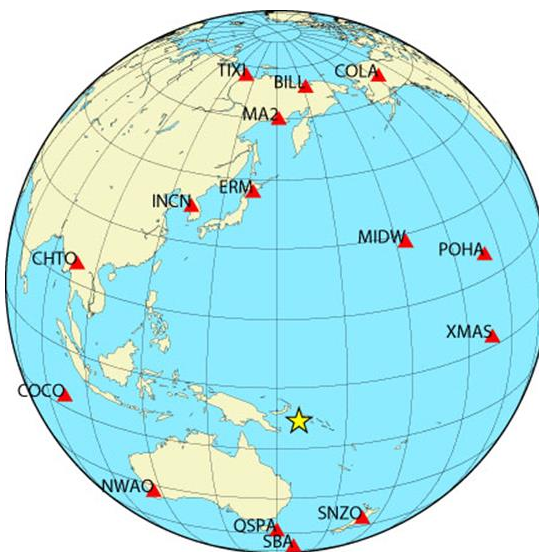


### 3.2.22.2. Kullanılan telesismik veri

13 istasyonda kaydedilmiş P ve SH geniş-bant yerdeğiştirme ters çözüm için seçilmiştir. Bu istasyona ait bilgiler Tablo 3.67.'de verilmiş olup azimutal dağılımları Şekil 3.136'da gösterilmiştir. Verilerin alet etkisi giderilmiş ve 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Daha sonra 0.5 sn örnekleme aralığıyla veriler örneklenmiştir. Depremin büyüklüğü düşünüldüğünde 50 sn'lik bir zaman penceresinin ters çözüm işlemi için yeterli görülmüştür.

Tablo 3.67. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
BILL	68,07	166,45	4,52	76,49	P
COLA	64,87	-147,86	21,10	84,24	P
MIDW	28,22	-177,37	35,70	45,18	P
POHA	19,76	-155,53	59,79	56,35	P
XMAS	2,04	-145,45	80,20	48,84	P
SNZO	-41,31	174,70	155,11	37,80	P,SH
QSPA	-89,93	144,44	180,01	81,97	P
NWAO	-32,93	117,24	228,81	42,62	P
COCO	-12,19	96,83	260,60	56,95	P
CHTO	18,81	98,94	296,71	61,06	P
INCN	37,48	126,62	331,97	52,43	P,SH
TIXI	71,63	128,87	352,04	81,40	P
MA2	59,58	150,77	357,89	67,61	P
ERM	42,02	143,16	349,06	51,07	SH



Şekil 3.137. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.22.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Tablo 3.66.'da verilen faylanma parametrelerinden HRV-GCMT çözümünden elde edilmiş doğrultu ( $40^\circ$ ), eğim ( $60^\circ$ ) ve rake ( $179^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır. Depremin kırılma başlangıcı olarak ISC-GEM kataloglarında verilen ( $7.948^\circ\text{G} - 154.698^\circ\text{D}$  ve 18 km) kullanılmıştır. Model fay düzleminin tanımlanması için 25 km x 15 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için seçilmiştir. Bu model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 15 fay parçasına (doğrultu boyunca 5 ve eğim boyunca 3 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.138.). Odağın fay düzlemi üzerindeki konumu belirlemeye çalışılacaktır.



Şekil 3.138. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5km aralıklarla toplam 15 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst ve GB, KD kenarına olan uzakları (sırasıyla 7.5 km, 12.5 km ve 12.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Ters çözüm için en önemli parametrelerden biri olan kırılma hızı ( $V_r$ ) başlangıçta 3.0 km/sn olarak tercih edilmiştir. 28 Haziran 2007 depremini temsil eden en iyi fay modeli belirlendikten sonra çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 7 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.22.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Her zaman yapıldığı üzere 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için başlangıç ters çözüm denemesinde faylanma boyutları amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) belirlenmiştir. Faylanma alanının 40 km x 15 km alındığı bu başlangıç denemesinde (Tablo 3.68., Model M1) odak faylanma alanının ortasında alınmıştır. Model M1 ile yapılan ters çözümde kaymanın odak etrafına toplanmış olduğu görülmüştür. Tek bir pürüzün gözlemlendiği kayma dağılımından faylanma alanının doğrultu boyunca geniş olduğu kanısına varılmış ve fay bir fay uzunluğunda kısaltılmıştır. Böylelikle faylanma alanı 25 km 15 km olmuştur. Bu faylanma alanı ve ortasında odağın yer aldığı modelle yapılan denemede (Model M2) depreme ait kayma alanının rahatça modellemede içerilebildiği görülmüştür. Model M3 ve Model M4 denemelerinde ise odak sırasıyla GB ve KD kenarlarına konumlandırılmıştır (Tablo 3.68.). Bu denemelerin sonuçlarında kayma dağılımında herhangi bir değişiklik olmazken çözümün kalitesini gösteren hata oranı miktarında artış gözlemlenmiştir (Tablo 3.68.). Böylelikle faylanma alanı ve odak konumu olarak en iyi modelin Model M2 olduğuna karar verilmiştir.

Yukarıda yapılan tüm denemelerden sonra Model M2 üzerinden kırılma hızı ( $V_r$ ) tespitine geçilmiştir. Kırılma hızı ( $V_r$ ) hızların 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değiştiği bir çok ters çözüm denemesi yapılarak elde edilmeye çalışılmıştır. (Tablo 3.68.). Bu denemeler sonucunda kırılma hızının 2.5 km/sn olduğu en az hata miktarını içeren ters çözüm denemesi Model M5 final çözümü olarak kabul edilmiştir.

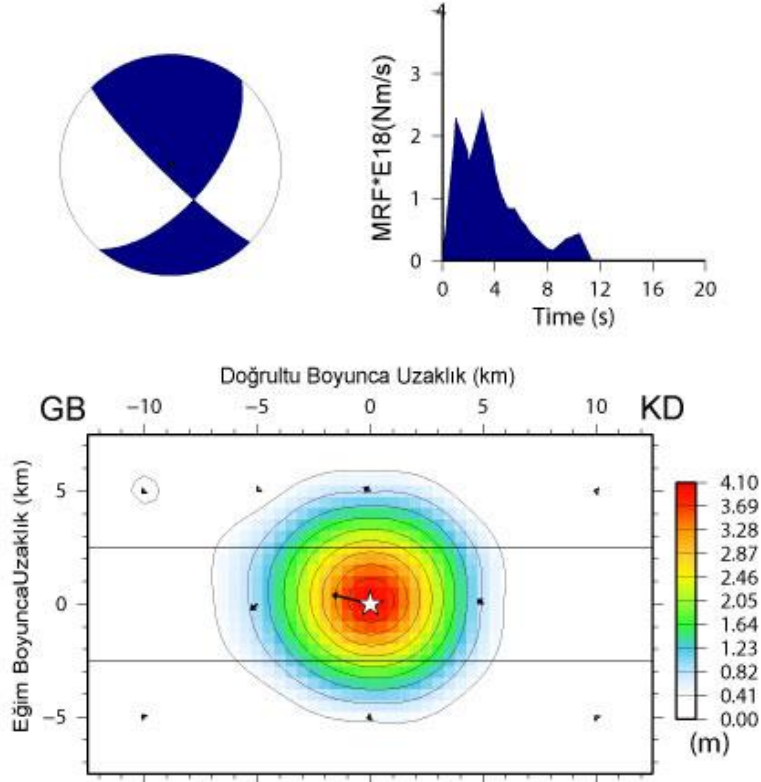
Tablo 3.68. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>0</sub> -N <sub>0</sub>					
M1	40	15	24	5x5	4-2	3,0	171,2	0,8590	0,40627	3,7
M2	25	15	15	5x5	3-2	3,0	172,7	0,8064	0,43647	3,7
M3	25	15	15	5x5	2-2	3,0	174,3	0,7869	0,43115	3,4
M4	25	15	15	5x5	4-2	3,0	175,2	0,7806	0,43686	3,7
M5	25	15	15	5x5	3-2	2,5	171,6	0,8471	0,42915	4,1
M6	25	15	15	5x5	3-2	2,6	171,6	0,8264	0,42967	4,0
M7	25	15	15	5x5	3-2	2,7	171,9	0,8198	0,43193	3,9
M8	25	15	15	5x5	3-2	2,8	172,2	0,8139	0,43350	3,9
M9	25	15	15	5x5	3-2	2,9	172,5	0,8100	0,43502	3,8
M10	25	15	15	5x5	3-2	3,1	172,9	0,8032	0,43768	3,7
M11	25	15	15	5x5	3-2	3,2	173,2	0,8008	0,43865	3,6
M12	25	15	15	5x5	3-2	3,3	173,5	0,8004	0,43965	3,5
M13	25	15	15	5x5	3-2	3,4	173,6	0,8007	0,44041	3,5
M14	25	15	15	5x5	3-2	3,5	173,8	0,8010	0,44100	3,4

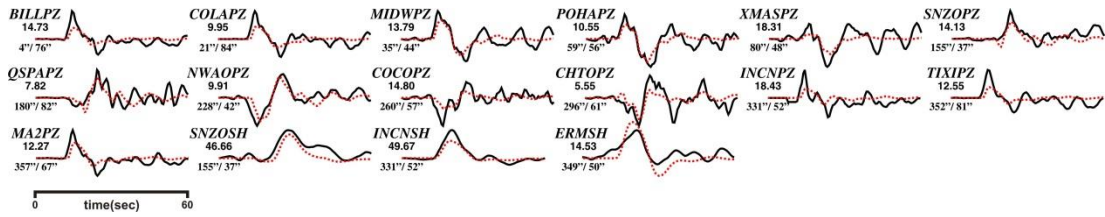
Model M5 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.139.'da verilmiştir. Hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.140.'da karşılaştırılmıştır. Dalgalar arasındaki uyum bu deprem için yeterince tatmin edici bulunmuştur. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için hesaplanan bu kayma dağılım modeli ( $M_0$ )  $0.8471 \times 10^{19}$  Nm ( $M_W=6.56$ ) sismik moment serbestlenmesine karşılık gelmektedir. Ortalama kayma açısı  $172^\circ$  olarak elde edilmiştir. Kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının faylanma alanının ortasında odağın merkezine yerleşmiş, çapı 10 km olan dairesel şekilli ve en büyük kayma değeri 4.1 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği söylenebilir. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde depremin enerji boşalımının yaklaşık 11 sn sürdüğü söylenebilmektedir. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için ters çözüm sonucunda çalışmada elde edilen kayma dağılım modeli harita projeksiyonu üzerinde Şekil 3.141.'de gösterilmiştir.

## 28 Haziran 2007 Solomon Adaları Depremi

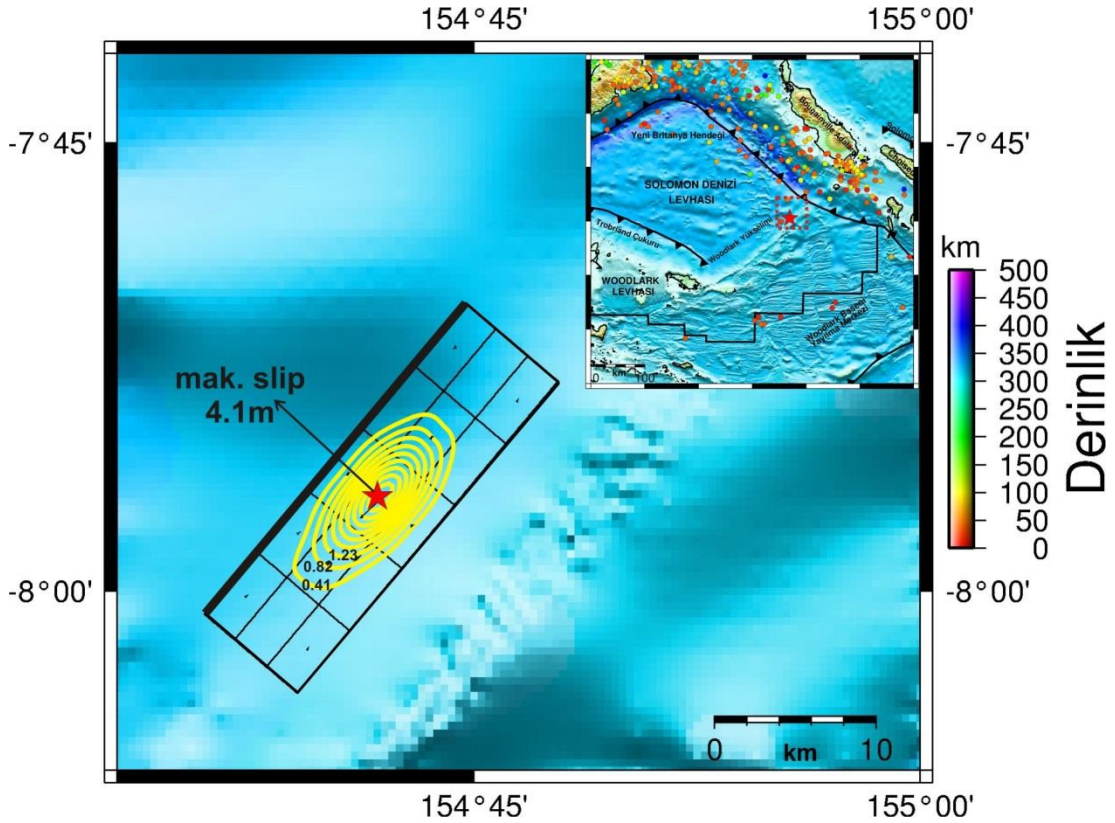
Moment =  $0.8471E+19$ (Nm),  $M_w = 6.6$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = ( 40.0, 60.0, 171.6, 18.0)



Şekil 3.139. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.68.'deki Model M5 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.140. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M5 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir



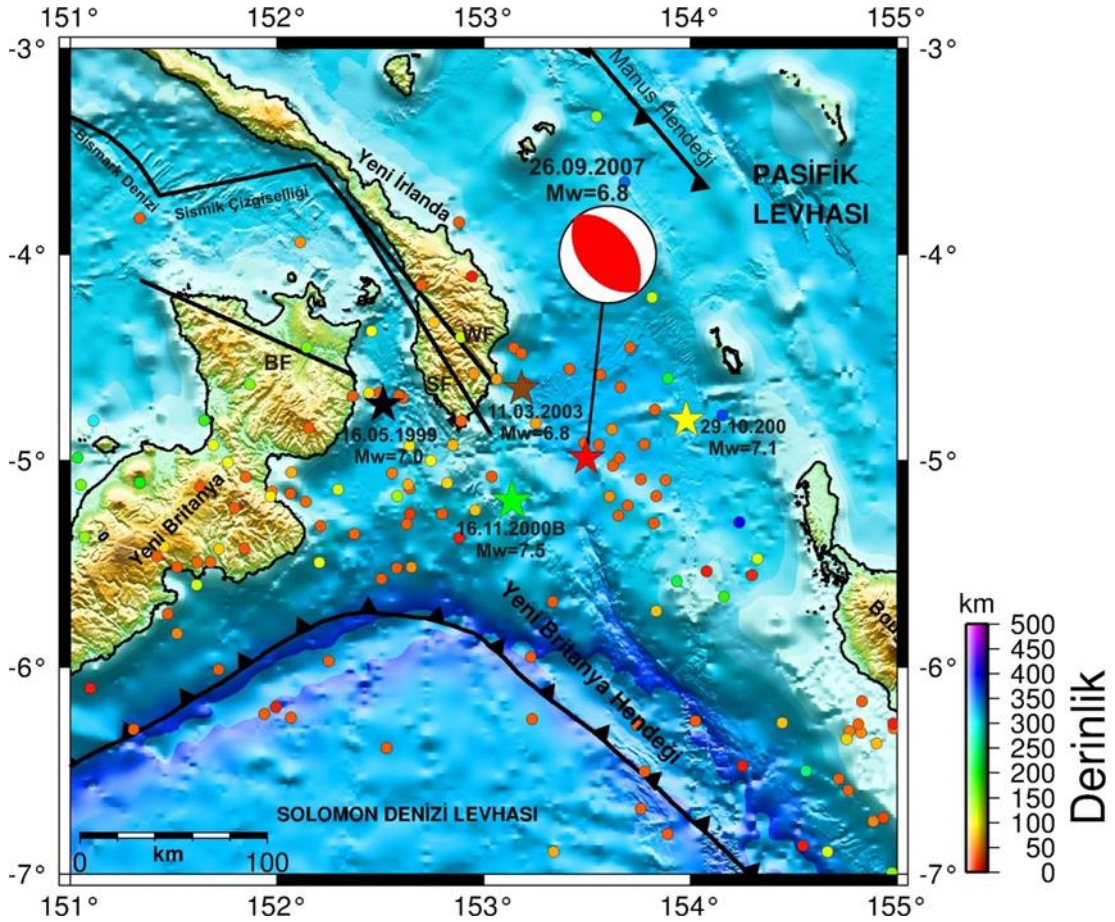
Şekil 3.141. 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 28 Haziran 2007 Solomon Adaları depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Deprem için kayma dağılımı konturları (sarı çizgi) 0.41 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.2.23. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.8$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.23.1. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi ( $M_w \approx 6.8$ )

Yeni İrlanda Bölgesi, Yeni Britanya Hendeğinin Pasifik Levhası altında dalması ve Waitin-Kamdaru ve Sapom faylarının varlığı nedeniyle sismik olarak diri bir bölgedir. Bu aktivitenin unsurlarında biride 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi ( $M_w \approx 6.8$ ) depremi bunun örneklerinden biridir. Bu deprem Yeni İrlanda adasının güneydoğusu ile Yeni Britanya Hendeği doğrultusunun GB-KD'dan KB-GD'ya geçtiği bölge arasında meydana gelmiştir (Şekil 3.142.). Deprem Harvard-GCMT odak mekanizması sonuçlarına göre bindirme karakterli tipik bir dalma-batma zonu depremidir (Tablo 3.69., Şekil 3.142.).





Şekil 3.142. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), odak mekniizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depreminden sonra 6 ay içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloğlarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). WF: Weitin-Kamdaru Fayı; SF: Sapom Fayı; BF: Bainin Fayı

Tablo 3.69. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
12:36:26.89	-4,999	153,500	40,0	17,0	126	45	86	USGS-NEIC
12:36:26.90	-5,200	153,520	47,1	16,6	138	44	86	HRV-GCMT

### 3.2.23.2. Kullanılan telesismik veri

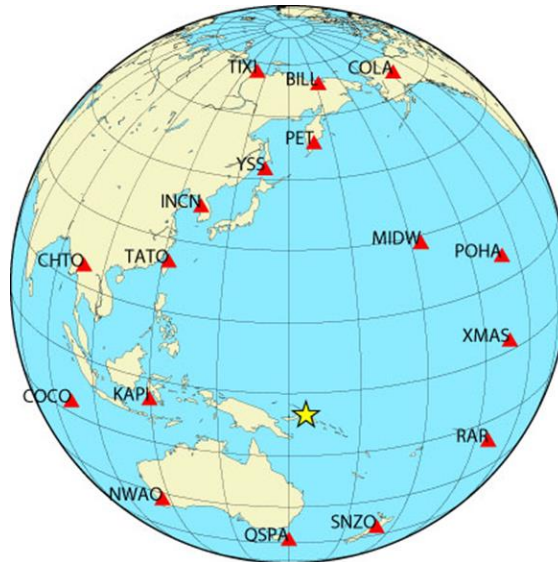
Sonlu-fay ters çözümünde 17 istasyonda kaydedilmiş 15 P ve 4 SH dalga şekli yerdeğiştirme kayıtları kullanılmıştır. Kullanılan istasyonların bilgileri Tablo 3.70.'de verilmiştir. Bu istasyonlara ait azimutal dağılımlar Şekil 3.143.'de



gösterilmiştir. Alet etkisi giderilen verilere 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmış ve veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Sonlu-fay özelliklerinin belirlenebilmesi için depremin büyüklüğü göz önüne alınarak 60 sn'lik bir kayıt uzunluğunun yeterli olacağı kanaatine varılmıştır.

Tablo 3.70. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

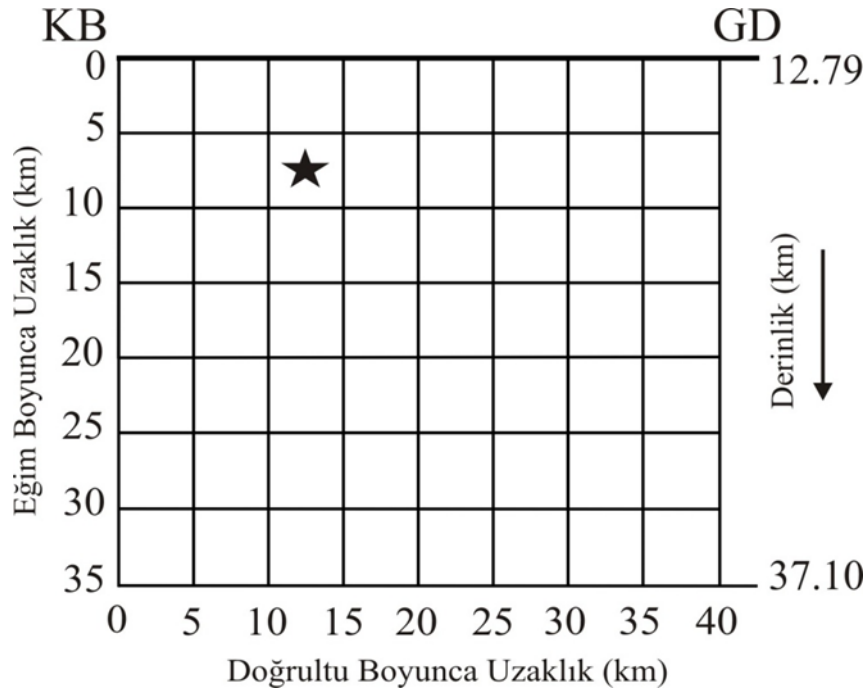
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	3,68	58,23	SH
BILL	68,07	166,45	5,03	73,67	P
COLA	64,87	-147,86	21,49	81,94	P
MIDW	28,22	-177,37	38,59	43,55	P
POHA	19,76	-155,53	62,02	55,94	P
XMAS	2,04	-145,45	82,98	49,57	P,SH
RAR	-21,21	-159,77	114,13	48,11	P
SNZO	-41,31	174,70	155,44	40,95	P
QSPA	-89,93	144,44	180,01	84,89	P
NWAO	-32,93	117,24	225,81	43,75	P
COCO	-12,19	96,83	258,70	56,33	P
KAPI	-5,01	119,75	268,52	33,56	P
CHTO	18,81	98,94	295,62	58,72	P
TATO	24,97	121,50	315,50	43,19	P
INCN	37,48	126,62	331,82	49,30	P,SH
TIXI	71,63	128,87	352,31	78,34	P
YSS	46,96	142,76	350,87	52,85	SH



Şekil 3.143. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.23.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depreminin sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesi için depreme ait kaynak parametreleri Tablo 3.69.'da verilmiştir. HRV-GCMT çözümünden elde edilmiş doğrultu ( $138^\circ$ ), eğim ( $44^\circ$ ) ve rake ( $86^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır. Depreme ait odak lokasyonu bilgileri ISC-GEM kataloglarından ( $4.985^\circ\text{G} - 153.498^\circ\text{D}$  ve 30 km) elde edilmiştir. Model fay düzleminin tanımlanması için 40 km x 35 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tasarlanmıştır. Model fay düzlemi 5 km x 5 km boyutlarında 56 fay parçasına (doğrultu boyunca 8 ve eğim boyunca 7 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.144.). Deprem odağının model fay düzlemindeki konumu ters çözüm denemeleriyle belirlenmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.144. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5km aralıklarla toplam 56 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarına olan uzakları (sırasıyla 7.5 km, 12.5km ve 27.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Depremin ters çözümü için gerekli olan kırılma hızı ( $V_r$ ) başlangıçta 3.0 km/sn olarak tercih edilmiştir. Depremi temsil eden en iyi fay modeli belirlendikten sonra çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit

edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 7 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 8 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### **3.2.23.4. Modelleme sonuçları ve tartışma**

26 Eylül 2007 Yeni İrlanda depreminin kaya dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılacak ters çözüm için bir başlangıç modeli gerekmektedir. Bu amaçla başlangıçta amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) belirlenen faylanma alanı (30 km x 20 km) ile yapılan odağın faylanma alanının ortasında (Model M1), KB kenarına yakın (Model M2) ve GD kenarına yakın (Model M3) yerleştiği ters çözüm denemelerinde odağın KB kenarına yakın yerleştiği modelin veriye daha iyi uyum verdiği görülmüştür (Tablo 3.71). Ancak, kayma bölgelerinin tam çevrelenemediği ve kaymanın derinde sıkıştığı görülmüştür. Dolayısıyla, faylanma alanının yetersiz geldiğine karar verilerek faylanma alanı 40 km x 20 km'ye çıkarılmıştır. Bu alanla ilk üç denemeye benzer Model M4, M5 ve M6 denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda faylanma uzunluğunun yeterli ancak genişliğinin yetersiz olduğu görülerek faylanma genliği bir fay parçası genişliği kadar genişletilerek 35 km'ye çıkarılmıştır. Bu kırılma alanı kullanılarak odağın konumunun sınındığı Model M7, M8 ve M9 denemeleri yapılmıştır. Sonuç olarak odağın KB kenarına ve yüzeye yakın yerleştiği durumda (Tablo 3.71.'de Model M8) gözlenmiş veriye en iyi uyum elde edilmiştir.

Kırılma hızı ( $V_r$ )'nin tespiti için hızların 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değiştiği bir çok ters çözüm denemesi yapılmıştır (Tablo 3.71.). Bu denemeler sonucunda kırılma hızının ( $V_r$ ) 3.5 km/sn olduğu ters çözüm denemesi M19 final sonu olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.71. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

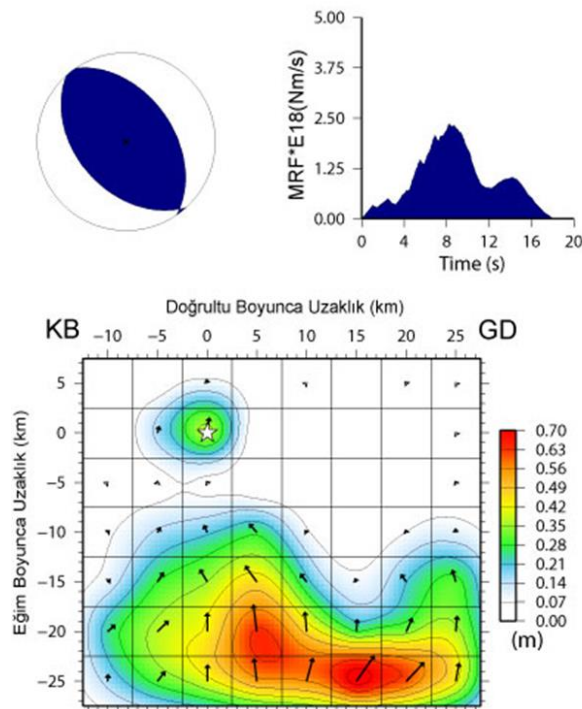
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	30	20	24	5x5	3-3	3,0	84,9	1,339	0,36257	1,7
M2	30	20	24	5x5	1-3	3,0	82,6	1,574	0,32392	1,4
M3	30	20	24	5x5	5-3	3,0	83,9	1,365	0,35508	2,0
M4	40	30	48	5x5	4-5	3,0	83,5	1,551	0,27581	1,4
M5	40	30	48	5x5	1-5	3,0	84,4	1,655	0,26535	1,4
M6	40	30	48	5x5	8-5	3,0	82,7	1,480	0,29127	2,2
M7	40	35	56	5x5	4-6	3,0	84,4	1,553	0,27155	0,9
M8	40	35	56	5x5	3-6	3,0	84,9	1,581	0,26486	0,9
M9	40	35	56	5x5	2-6	3,0	85,7	1,617	0,26642	0,7
M10	40	35	56	5x5	3-6	2,5	84,2	1,627	0,27949	0,7
M11	40	35	56	5x5	3-6	2,6	84,5	1,622	0,27659	0,7
M12	40	35	56	5x5	3-6	2,7	84,7	1,614	0,27382	0,6
M13	40	35	56	5x5	3-6	2,8	84,8	1,603	0,27111	0,6
M14	40	35	56	5x5	3-6	2,9	84,9	1,593	0,26275	0,7
M15	40	35	56	5x5	3-6	3,1	84,9	1,567	0,26355	0,7
M16	40	35	56	5x5	3-6	3,2	84,9	1,556	0,26129	0,7
M17	40	35	56	5x5	3-6	3,3	84,8	1,547	0,25918	0,7
M18	40	35	56	5x5	3-6	3,4	84,8	1,538	0,25737	0,7
M19	40	35	56	5x5	3-6	3,5	84,7	1,532	0,25610	0,7

Model M19 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.145.'de gösterilmiştir. Bu kayma dağılım modelinden hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.146.'da karşılaştırılmıştır. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi esnasında ortaya çıkan toplam sismik moment ( $M_o$ )  $1.532 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.74$ ) ve ortalama kayma açısı  $85^\circ$  olarak elde bulunmuştur. Depreme ait kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının ilk olarak odağın etrafında konumlanmış, çapı yaklaşık 7 km olan dairesel şekilli ve en büyük kayma değeri 0.4 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile başladığı görülmektedir. Asıl kayma bölgesi fayın alttaki yarısında ve fayın doğrultu boyunca tüm uzunluğunu örtmektedir. Bu kayma bölgesi tek bir pürüz olarak değerlendirilmiş ve uzunluğu 40 km ve genişliği 20 km olan bir faylanma alanını örtmektedir. Bu büyük pürüz üzerinde en büyük kayma genliği 0.73 m'dir. Moment boşalım

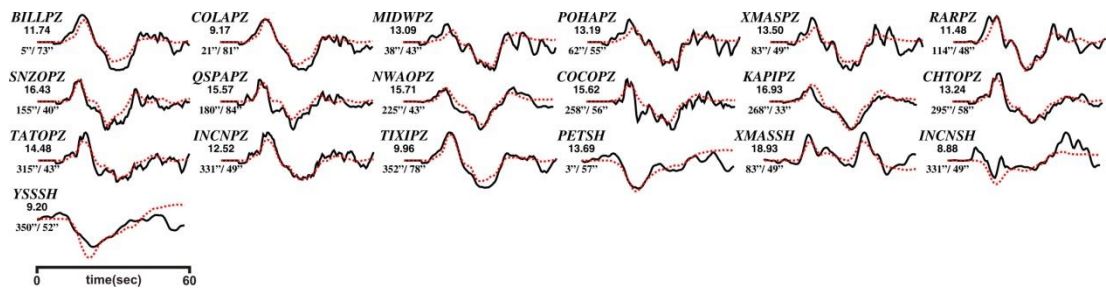
fonksiyonu incelendiğinde depremin enerji boşalımının toplam 18 sn sürdüğü gözlemlenmektedir. Enerjinin bir kısmının ilk 3 sn içerisinde odak etrafındaki pürüz ile boşaldığı hemen ardından ise yaklaşık 15 sn süren büyük pürüzün kırılması gerçekleştirilmiştir. düşünülmektedir. Elde edilen kayma dağılım modelinin harita görünümü Şekil 3.147.'de gösterilmiştir.

### 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi Depremi

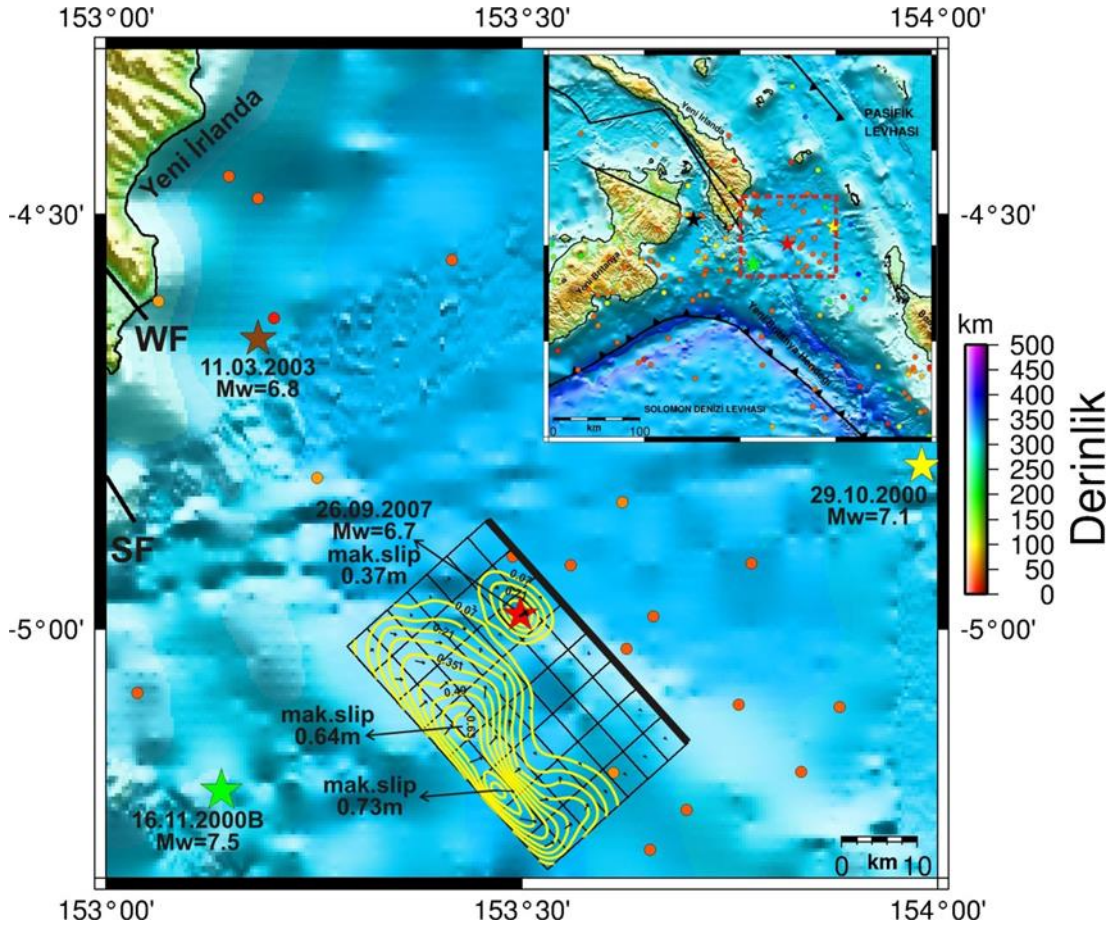
Moment =  $0.1532E+20$ (Nm),  $M_w = 6.7$   
(Strike,Dip,Slip,h) = (138.0, 44.0, 84.7, 30.0)



Şekil 3.145. 26 Eylül 2007 depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.71.'deki Model M19 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



Şekil 3.146. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M19 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir



Şekil 3.147. 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 26 Eylül 2007 Yeni İrlanda Bölgesi depreminden sonra 6 aylık zaman içerisinde meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Deprem için kayma dağılımı konturları (sarı çizgi) 0.07 m aralıklarla çizilmiştir. WF: Weitin-Kamdaru Fayı; SF: Sapom Fayı

### 3.2.24. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.2$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.24.1. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.2$ )

Solomon adaları bölgesi büyük ve yıkıcı depremlerin meydana geldiği tektonik olarak dünyanın en aktif bölgelerinden biridir (Chen ve ark., 2009; Lay, 2014). Bu depremlerden biri de 11 Nisan 2014 Solomon Adaları ( $M_w=7.2$ ) depremidir (Şekil 3.148.). Bu deprem Bougainville Adasının güneybatısı ile Yeni Britanya Hendeğinin doğu kesimi arasında meydana gelmiştir. Depremın kaynak mekanizması çözümü depremi oluşturan kırılmanın ters faylanma karakterli oluşuna işaret etmektedir. (Tablo 3.72.). Depremın Yeni Britanya Hendeğinin Pasifik Levhasının altına







Tablo 3.72. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

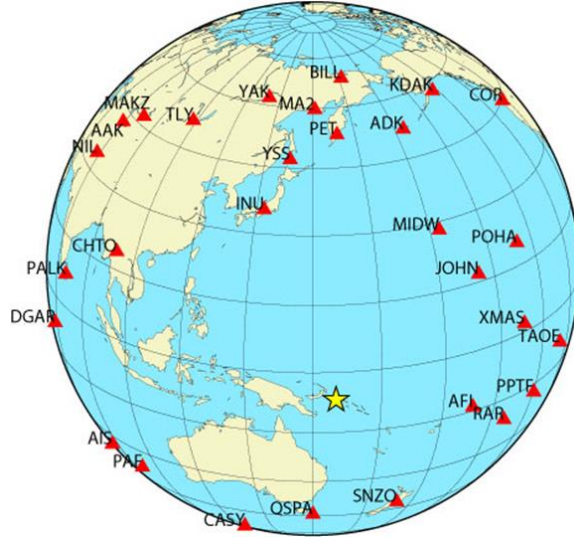
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
07:07:23.00	-6,586	155,049	60,5	50,29	141	48	87	USGS-NEIC
07:07:33.10	-6,780	155,090	44,1	50,80	134	48	93	HRV-GCMT

### 3.2.24.2. Kullanılan telesismik veri

Ters çözüm için 28 P ve 4 SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri kullanılmıştır. Dalga şekillerinin temin edildiği istasyonlar Tablo 3.73.'de listelenmiş ve azimutal dağılımları Şekil 3.149.'da gösterilmiştir. Alet etkisi giderilen dalga şekilleri 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında bant geçişli filtrelenmiştir. Veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiş ve 70 sn'lik bir zaman penceresi ters çözüm için seçilmiştir.

Tablo 3.73. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik stasyonlar ve dalga türleri

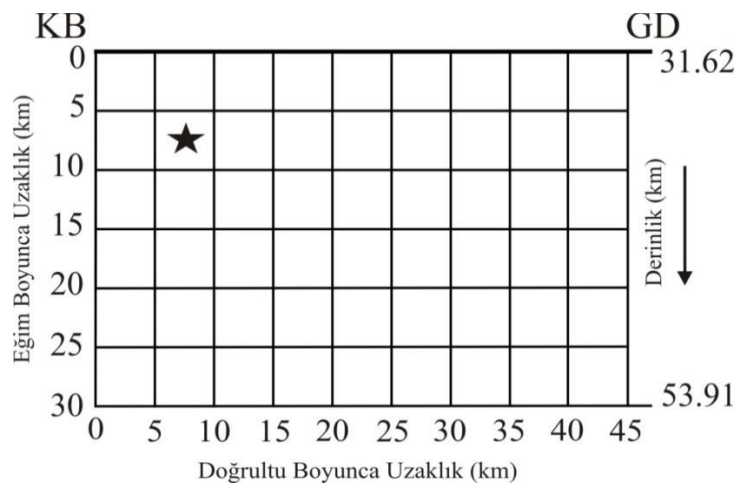
İstasyon	Enlem( $^{\circ}$ )	Boylam( $^{\circ}$ )	Azimut( $^{\circ}$ )	Uzaklık( $^{\circ}$ )	Faz
PET	53,02	158,65	2,51	59,69	P,SH
BILL	68,07	166,45	4,38	75,09	P
ADK	51,88	-176,68	19,11	63,27	P
KDAK	57,78	-152,58	25,69	76,92	P
MIDW	28,22	-177,37	36,11	43,81	P
COR	44,59	-123,30	44,82	88,72	P
JOHN	16,73	-169,53	55,92	42,08	P
POHA	19,76	-155,53	60,40	55,29	P
XMAS	2,04	-145,45	81,29	48,20	P
TAOE	-8,85	-140,15	96,68	64,18	P,SH
AFI	-13,91	-171,78	105,33	33,42	P
PPTF	-17,59	-149,57	106,88	55,07	SH
RAR	-21,21	-159,77	113,25	46,03	P
SNZO	-41,31	174,70	156,26	38,88	P
QSPA	-89,93	144,44	180,01	83,34	P
CASY	-66,28	110,54	197,83	67,05	P
PAF	-49,35	70,21	220,98	81,65	P
AIS	-37,80	77,57	232,63	76,09	P
DGAR	-7,41	72,45	263,42	81,85	P
PALK	7,27	80,70	279,30	75,44	P
CHTO	18,81	98,94	295,86	60,83	P
NIL	33,65	73,27	304,40	88,87	P
AAK	42,64	74,49	313,42	87,58	P
MAKZ	46,81	81,98	318,77	83,43	P
TLY	51,68	103,64	329,53	72,89	P
INU	35,35	137,03	339,19	45,24	P,SH
YAK	62,03	129,68	347,76	71,36	P
YSS	46,96	142,76	349,40	54,64	P
MA2	59,58	150,77	357,63	66,25	P



Şekil 3.149. 11 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.24.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Faylanma parametreleri HRV-GCMT çözümünden elde edilmiş doğrultu ( $134^\circ$ ), eğim ( $48^\circ$ ) ve rake ( $93^\circ$ ) açıları (Tablo 3.72.) ile tanımlanan model fay düzleminin boyutları 45 km x 30 km olarak tayin edilmiş ve 5 km x 5 km boyutlarında 54 fay parçasına (doğrultu boyunca 9 ve eğim boyunca 6 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.150.). ISC kataloglarından alınan odak konumu ( $6.565^\circ\text{G} - 155.032^\circ\text{D}$  ve 37.2 km) dikkate alınarak model fay düzlemi deprem kaynak bölgesinde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.150. 11 Nisan 2007 Solomon Adaları depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 5 km aralıklarla toplam 54 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KB ve GD kenarına olan uzakları (sırasıyla 7.5 km, 7.5 km ve 37.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi ters çözüm için kırılma hızı ( $V_r$ ) başlangıçta 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Depremi temsil eden en iyi fay modeli belirlendikten sonra çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 8 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 9 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.24.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

11 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin kayma dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılacak ters çözüm için bir başlangıç modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) faylanma boyutları (45 km x 30 km) ters çözüm denemeleri sonucunda yeterli görülmüştür. Bu düzlem üzerinde odağın ortada (Model M1), GD kenarına yakın (Model M2) ve KB kenarına yakın (Model M3) yerleştirilen ters çözüm denemeleri sonucunda Model M3'ün gözlenmiş veriyi daha iyi açıkladığı görülmüştür (Tablo 3.74.). Daha sonra odağın derinliğinin değiştirildiği ters çözüm denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda odak derinleştirildikçe hata oranının arttığı ve odağın yüzeye yakın yerleştirildiği ters çözüm denemesi (Model M4) ile gözlenmiş veriye daha iyi uyum elde edilmiştir.

Kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti amacıyla bir çok ters çözüm denemesi yapılmıştır. Bu ters çözüm denemelerinde hızlar 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değişmektedir (Tablo 3.74.). Yapılan ters çözüm sonucunda kırılma hızının 2.5 km/sn olduğu ters çözüm denemesi Model M5 bu depremi temsil eden final çözümü olarak kabul edilmiştir.

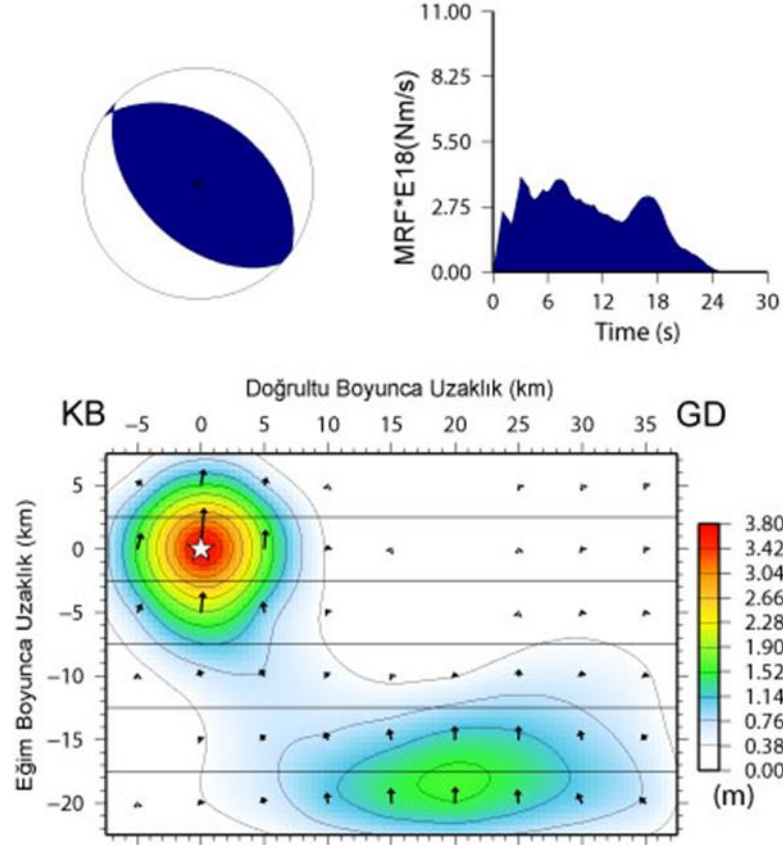
Tablo 3.74. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	45	30	54	5x5	5-4	3,0	88,3	4,221	0,26258	3,9
M2	45	30	54	5x5	8-4	3,0	91,5	5,150	0,23368	3,5
M3	45	30	54	5x5	2-4	3,0	91,7	5,227	0,17495	3,4
M4	45	30	54	5x5	2-5	3,0	93,0	5,234	0,16545	3,5
M5	45	30	54	5x5	2-5	2,5	95,6	5,454	0,16494	3,8
M6	45	30	54	5x5	2-5	2,6	95,0	5,413	0,16508	3,8
M7	45	30	54	5x5	2-5	2,7	94,6	5,381	0,16511	3,7
M8	45	30	54	5x5	2-5	2,8	94,2	5,337	0,16593	3,6
M9	45	30	54	5x5	2-5	2,9	93,7	5,284	0,16703	3,5
M10	45	30	54	5x5	2-5	3,1	92,8	5,187	0,16978	3,4
M11	45	30	54	5x5	2-5	3,2	92,3	5,142	0,17072	3,4
M12	45	30	54	5x5	2-5	3,3	91,8	5,092	0,17135	3,3
M13	45	30	54	5x5	2-5	3,4	91,3	5,040	0,17281	3,3
M14	45	30	54	5x5	2-5	3,5	90,5	4,987	0,17453	3,3

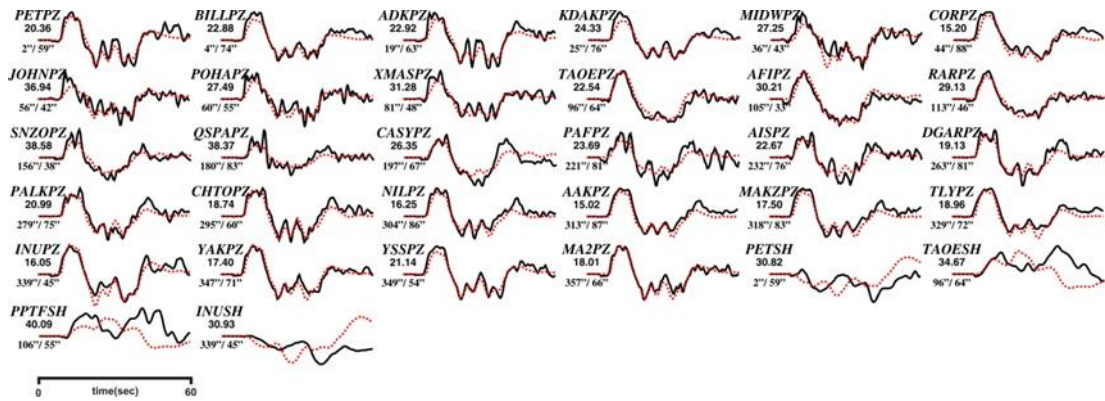
Model M5 ters çözüm denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.151.'de ve hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri karşılaştırması Şekil 3.152.'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere P dalga şekillerinde uyum çok iyi iken SH dalga şekillerinde uyum göreceli olarak daha düşüktür. Şekil 3.151.'de gösterilen kırılma modeli  $5.454 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.09$ ) sismik moment ( $M_o$ ) serbestlenmesine karşılık gelmekte olup hesaplanan ortalama kayma açısı  $96^\circ$  olarak elde edilmiştir. Kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının ilk olarak KB kenarında bulunan odağın etrafında konumlanmış, çapı yaklaşık 10 km olan dairesel şekilli ve en büyük kayma değeri 3.8 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile başladığı söylenebilmektedir. Bu büyük pürüzün yanında faylanma alanının alt yarısında büyük pürüzün GD'suna doğru yerleşmiş 25 km x 15 km boyutlarında ikinci bir fay pürüzü bulunmaktadır. İkinci pürüzün en büyük kayma değeri 1.5 m olarak hesaplanmıştır. Depremin enerji boşalımı toplam 25 sn sürmüş ve ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmının ilk 15 sn içerisinde odak etrafındaki pürüz ile boşaldığı hemen ardından ise yaklaşık 10 sn içerisinde derinde yerleşmiş diğer pürüzün geriye kalan enerji boşalımını gerçekleştirdiği görülmektedir.

## 11 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi

Moment =  $0.5454E+20$ (Nm),  $M_w = 7.1$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (134.0, 48.0, 95.6, 37.2)

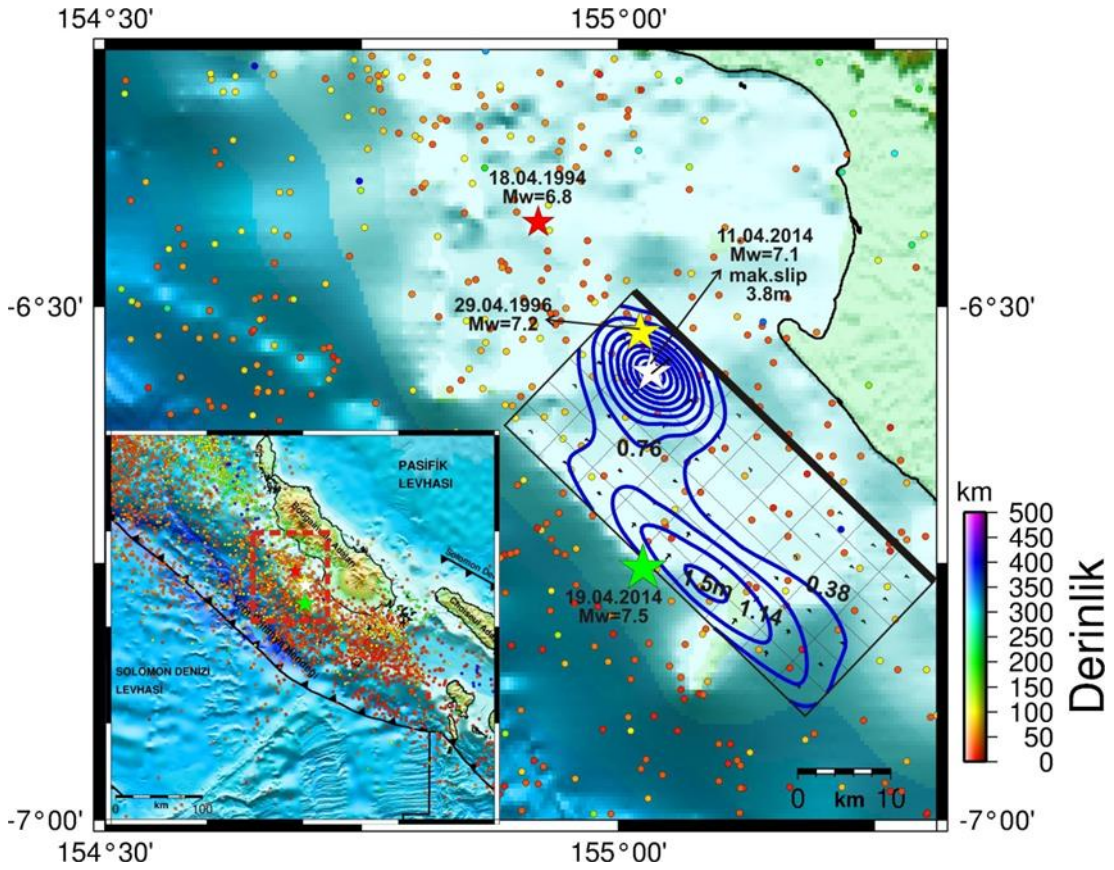


Şekil 3.151. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.74.'deki Model M5 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



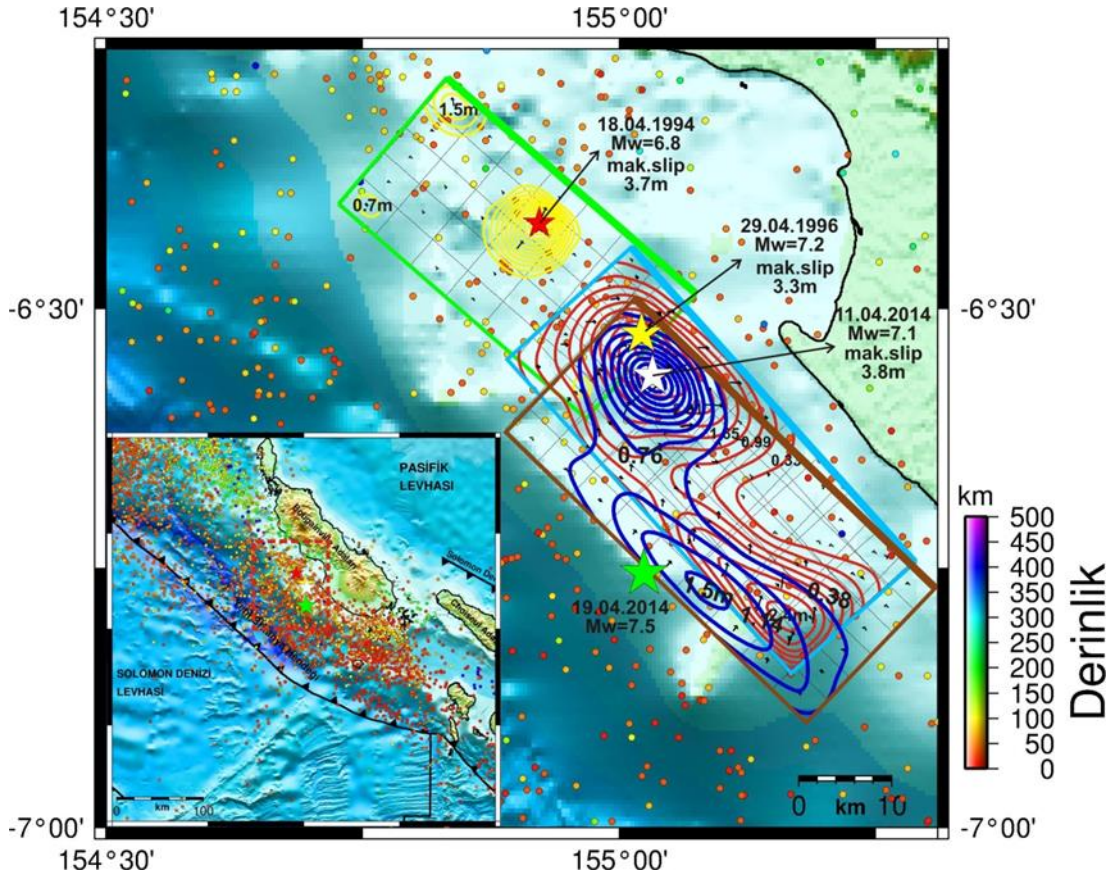
Şekil 3.152. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M5 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için ters çözüm sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli harita projeksiyonu Şekil 3.153.'de gösterilmiştir. Aynı zamanda bu depreme çok yakın bir konumda meydana gelen 18 Nisan 1994 ve 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremlerinin de kayma dağılım modellerini içeren harita projeksiyonu gösterimi Şekil 3.154.'de verilmiştir. Özellikle 29 Nisan 1996 ve 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremlerinin kayma dağılım modelleri birbirine çok benzemesi levhalar arası yüzeyin bu kısmının tekrarlayan kırılmasını düşündürmektedir. Bu depremler adeta aynı şekil ve düzende meydana gelmişlerdir. Bu ilginç deprem silsilesinin gerilme değişimleri ile ilgili detaylı incelemeler sonraki bölümlerde ele alınacaktır.



Şekil 3.153. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi (beyaz yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi ile 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Deprem için kayma dağılımı konturları (lacivert çizgi) 0.38 m aralıklarla çizilmiştir





Şekil 3.154. 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi (beyaz yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden önce meydana gelen 18 Nisan 1994 ve 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremlerinin kayma dağılımları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 29 Nisan 1996 Solomon Adaları depremi ile 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Yeşil çerçeveli alan 18 Nisan 1994 depreminin faylanma alanını, mavi çerçeveli alan 29 Nisan 1996 depreminin faylanma alanını ve kahverengi çerçeveli alan ise 11 Nisan 2014 depreminin faylanma alanını göstermektedir. 18 Nisan 1994 depremi için konturlar (sarı çizgi) 0.37 m, 29 Nisan 1996 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.33 m ve 11 Nisan 2014 depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.38m aralıklarla çizilmiştir

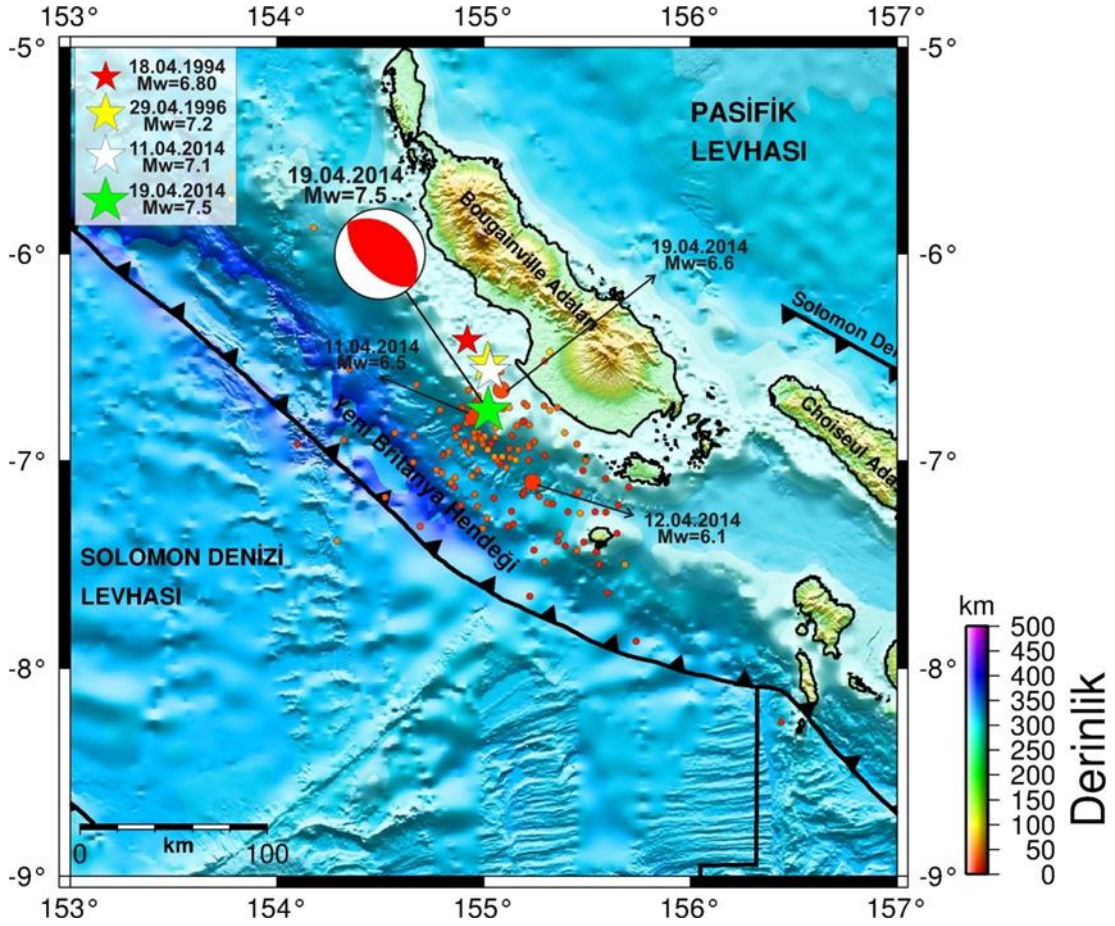
### 3.2.25. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.5$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.25.1. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları Depremi ( $M_w=7.5$ )

19 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin ( $M_w=7.5$ ), zaman ve uzay ortamında 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin ( $M_w=7.1$ ) hemen ardından yakın konumda meydana gelmiştir (Şekil 3.155.). Yeni Britanya Hendeğinin doğu kenarının ürettiği tipi bir dalma-batma zonu depremidir ve ters faylanma mekanizmalıdır (Tablo 3.75). 11 Nisan 2014 ve 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremleri arasında  $M_w \geq 6.0$  üç adet deprem meydana gelmiştir (Şekil 3.155.). Özellikle 19 Nisan 2014 depreminden



kısa bir süre önce meydana gelen  $M_w=6.0$  öncü deprem adeta büyük depremin habercisi niteliğindedir.



Şekil 3.155. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi dışmerkez lokasyonu (yeşil yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri USGS-NEIC kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi ile 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC)

19 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin ters çözümü için USGS-NEIC kataloglarından elde edilen odak parametreleri kullanılmıştır (Tablo 3.1.).

Tablo 3.75. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

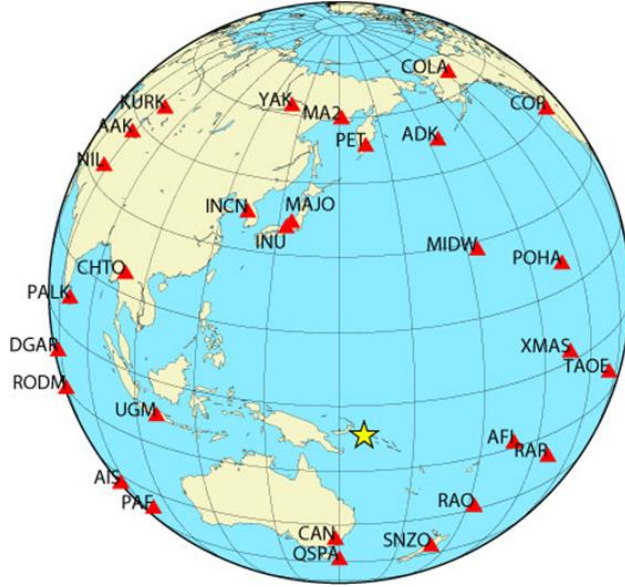
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ Nm)	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
13:28:12.80	-6,640	154,670	36,0	229,4	311	35	87	USGS-NEIC
13:28:00.00	-6,755	155,024	43,4	236,6	313	29	87	HRV-GCMT

### 3.2.25.2. Kullanılan telesismik veri

Depremin sonlu-fay ters çözümünde 28 istasyondan (Tablo 3.76.) elde edilmiş geniş-bant dalga şekilleri kullanılmıştır. Bu istasyonlardan 26 P ve 3 SH yerdeğiştirme dalga şekilleri seçilmiştir. Bu istasyonların azimutal dağılımları Şekil 3.156.'da gösterilmiştir. Dalga şekillerini ters çözüme hazırlık aşamasında ilk olarak alet etkisi giderilmiştir. Daha sonra verilere 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmış ve son olarak veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesi için depremin büyüklüğü ve sinyal içeriği göz önünde tutularak P dalga şekli kayıtları için 70 sn ve SH dalga şekli kayıtları için ise 80 sn'lik bir kayıt uzunluğu belirlenmiştir.

Tablo 3.76. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

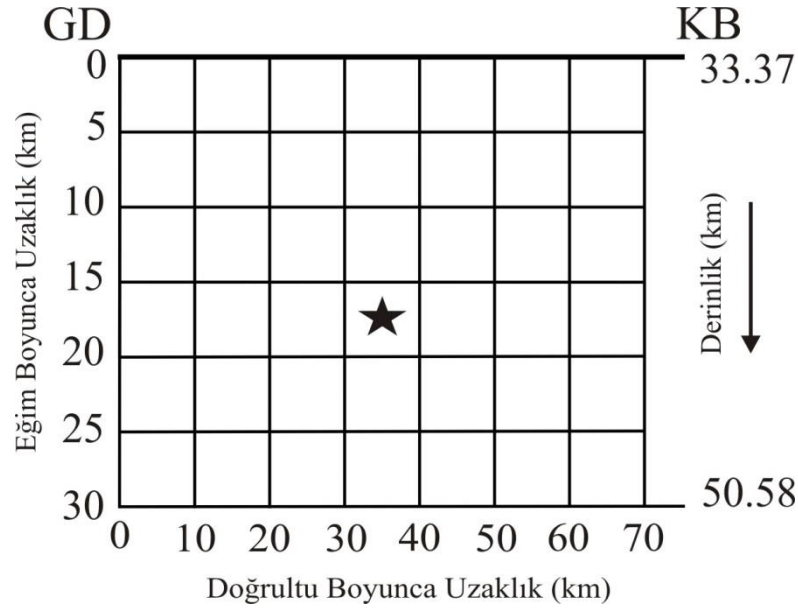
İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	2,52	59,86	P,SH
ADK	51,88	-176,68	19,09	63,43	P
COLA	64,87	-147,86	21,06	82,97	P
MIDW	28,22	-177,37	36,03	43,96	P
COR	44,59	-123,30	44,82	88,86	P
POHA	19,76	-155,53	60,31	55,39	P
XMAS	2,04	-145,45	81,15	48,25	P
TAOE	-8,85	-140,15	96,60	64,19	P
AFI	-13,91	-171,78	105,08	33,40	P
RAR	-21,21	-159,77	113,09	45,98	P
RAO	-29,25	-177,93	134,78	33,99	P
SNZO	-41,31	174,70	156,16	38,74	P
QSPA	-89,93	144,44	180,01	83,18	P
CAN	-35,22	149,00	190,15	29,10	SH
PAF	-49,35	70,21	220,99	81,51	P
AIS	-37,80	77,57	232,66	75,96	P
RODM	-19,70	63,44	250,26	89,21	P
DGAR	-7,41	72,45	263,44	81,81	P
PALK	7,27	80,70	279,35	75,45	P
CHTO	18,81	98,94	295,96	60,68	P
NIL	33,65	73,27	304,41	86,94	P
AAK	42,64	74,49	313,43	87,68	P
KURK	50,72	789,62	321,94	86,75	P
INCN	37,48	126,62	330,19	51,56	P
INU	35,35	137,03	339,27	53,39	SH
MAJO	36,55	138,20	341,17	46,08	P
YAK	62,03	129,68	347,78	71,52	P
MA2	59,58	150,77	357,60	66,42	P



Şekil 3.156. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.25.3. Solu fay model parametrizasyonu

19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremine ait sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesi için depreme ait kaynak parametreleri Tablo 3.75.'de verilmiştir. USGS-NEIC çözümünden elde edilmiş doğrultu ( $311^\circ$ ), eğim ( $35^\circ$ ) ve rake ( $87^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır. Odak lokasyonu bilgileri USGS-NEIC kataloglarından ( $6.755^\circ\text{G} - 155.024^\circ\text{D}$  ve 43.4 km) elde edilmiştir. Model fay düzleminin tanımlanması için 70 km x 30 km boyutlarındaki (Blaser ve ark., 2010) bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için tasarlanmıştır. Bahsi geçen model fay düzlemi 10 km x 5 km boyutlarında 42 fay parçasına (doğrultu boyunca 7 ve eğim boyunca 6 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.157.). Yapılacak ters çözüm denemeleri sonucunda deprem odağının model fay düzlemi üzerindeki konumu belirlemeye çalışılacaktır.



Şekil 3.157. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi doğrultu boyunca 10 km ve eğim boyunca 5 km aralıklarla toplam 42 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, GD ve KB kenarına olan uzakları (sırasıyla 17.5 km, 32.5km ve 32.5km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Depremin ters çözümü için kırılma hızı ( $V_r$ ) başlangıçta 3.0 km/sn olarak tercih edilmiştir. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremini temsil eden en iyi fay modeli belirlendikten sonra çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselme zamanı eşit yükselme ve düşümlü, 1.5 sn süreli birbiriyle örtüşmeyen 8 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 13.5 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.25.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

70 km x 30 km kırılma alanına sahip model fay düzlemi ile odağın ortada (Model M1), GD kenarına yakın (Model M2) ve KB kenarına yakın (Model M3) yer aldığı ters çözüm denemelerinde amprik bağınımlardan (Blaser ve ark., 2010) başlangıçta belirlenmiş bu faylanma alanının yeterli olduğu ve odağın ortada konumlandırılmasının veriye daha iyi uyum verdiği görülmüştür (Tablo 3.77.). Odağın derinliğinin değiştirildiği ters çözüm denemeleri sonucunda hata miktarı yine artınca

başlangıçta 3.0 km/sn alınan kırılma hızı ( $V_r$ ) değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Kırılma hızının 2.5 ile 3.0 km/sn arasında değiştirildiği bu denemeler sonucunda kırılma hızının 2.5 km/sn alındığı Model M4 denemesinin en az hatalı sonucu verdiği görülmüştür (Tablo 3.77.).

Tablo 3.77. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	70	30	42	10-5	4-3	3,0	91,4	17,06	0,38501	7,6
M2	70	30	42	10-5	2-3	3,0	92,0	17,18	0,39053	7,4
M3	70	30	42	10-5	6-3	3,0	91,1	17,99	0,38580	7,6
M4	70	30	42	10-5	4-3	2,5	90,9	17,61	0,38352	8,8
M5	70	30	42	10-5	4-3	2,6	91,6	17,50	0,38425	8,5
M6	70	30	42	10-5	4-3	2,7	91,7	17,43	0,38409	8,2
M7	70	30	42	10-5	4-3	2,8	91,6	17,33	0,38392	7,9
M8	70	30	42	10-5	4-3	2,9	91,5	17,20	0,38477	7,8
M9	70	30	42	10-5	4-3	3,1	92,0	16,87	0,38662	7,3
M10	70	30	42	10-5	4-3	3,2	91,9	16,71	0,38705	7,1
M11	70	30	42	10-5	4-3	3,3	91,8	16,56	0,38800	6,9
M12	70	30	42	10-5	4-3	3,4	91,5	16,42	0,38906	6,7
M13	70	30	42	10-5	4-3	3,5	91,5	16,27	0,39000	6,5

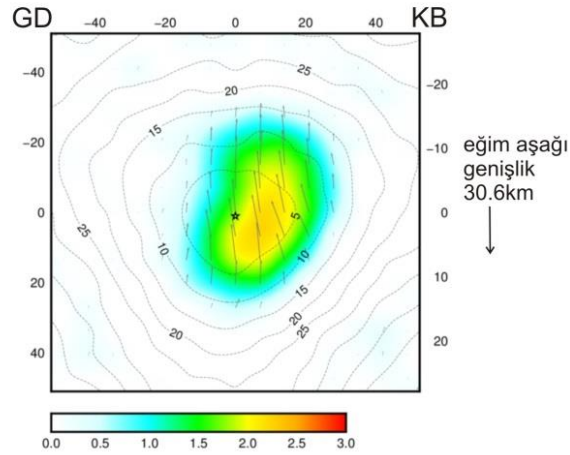
19 Nisan 2014 Solomon Adaları depreminin Model M4 ters çözümü denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.158.'de gösterilmiştir. Hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekillerinin karşılaştırması da Şekil 3.159.'da verilmiştir. Depreme ait kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının odak etrafında konumlanmış dairesel şekilli, çapı yaklaşık 20 km olan ve en büyük kayma genliği değeri 8.8 m olan büyük bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği belirlenmiştir. Bu kayma dağılımı için hesaplanan sismik moment ( $M_o$ )  $17.610 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.43$ )'dir. Bu depreme ait moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde enerji serbestlenmesinin yaklaşık olarak 26 sn sürdüğü gözlemlenmektedir. Ortalama kayma açısının  $91^\circ$  olarak hesaplanması depremin tamamen ters faylanma sonucu oluştuğunu önermektedir.



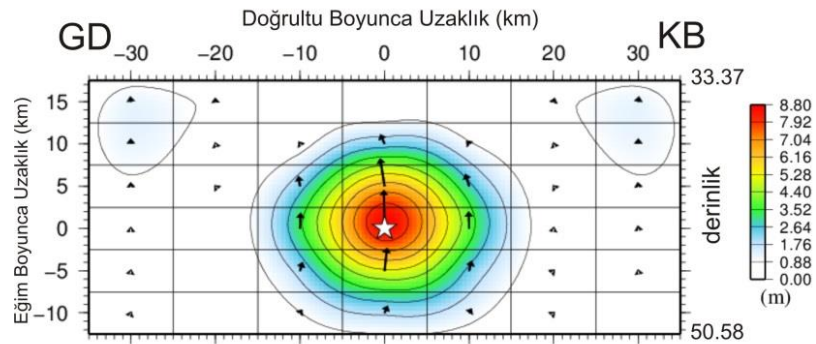


19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi sonlu-fay modeli USGS-NEIC (2014) tarafından da P ve SH uzak alan dalga şekillerinden elde edilmiştir. Bu çalışma ve USGS-NEIC tarafından bulunan kayma dağılım modelleri Şekil 3.160.'da karşılaştırılmıştır. Kayma dağılım modelleri incelendiğinde iki modelde de depremi kırılmasının büyük bir pürüz tarafından kontrol edildiği açıkça gözükmemektedir. Bu açıdan her iki model de birbirine oldukça benzemektedir. İki model arasındaki en önemli fark kayma değerinde gözlemlenmektedir. USGS-NEIC (2014) tarafından önerilen modelde kayma genliği değeri yaklaşık 2.5 m bulunurken bizim çalışmamızda ise yaklaşık olarak 8.8 m bulunmuştur. Bu da çalışmalar arasında gerçekleşen önemli bir fark olarak belirtilmelidir.

Sonlu Fay Modellemesi (USGS-NEIC, 2014)

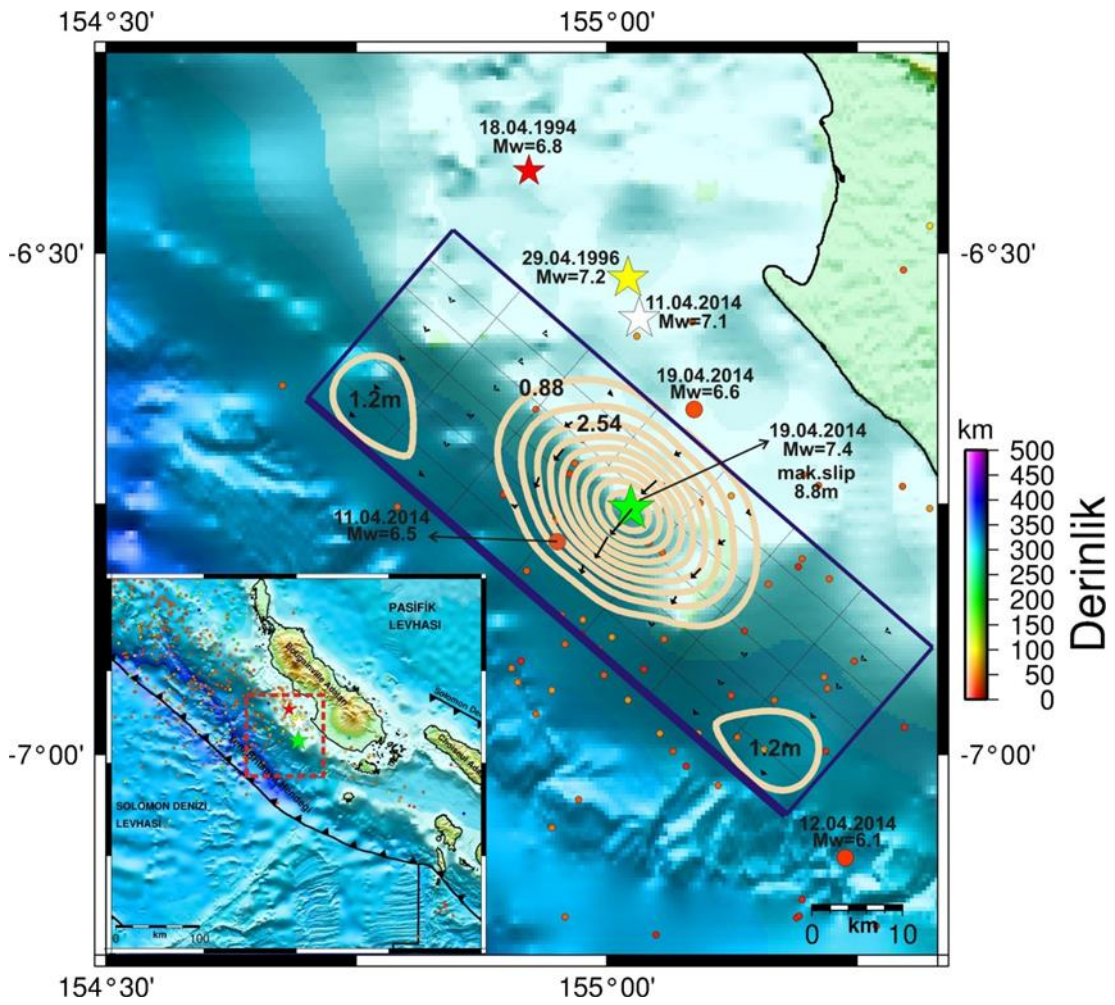


Sonlu Fay Modellemesi (Bu çalışma)

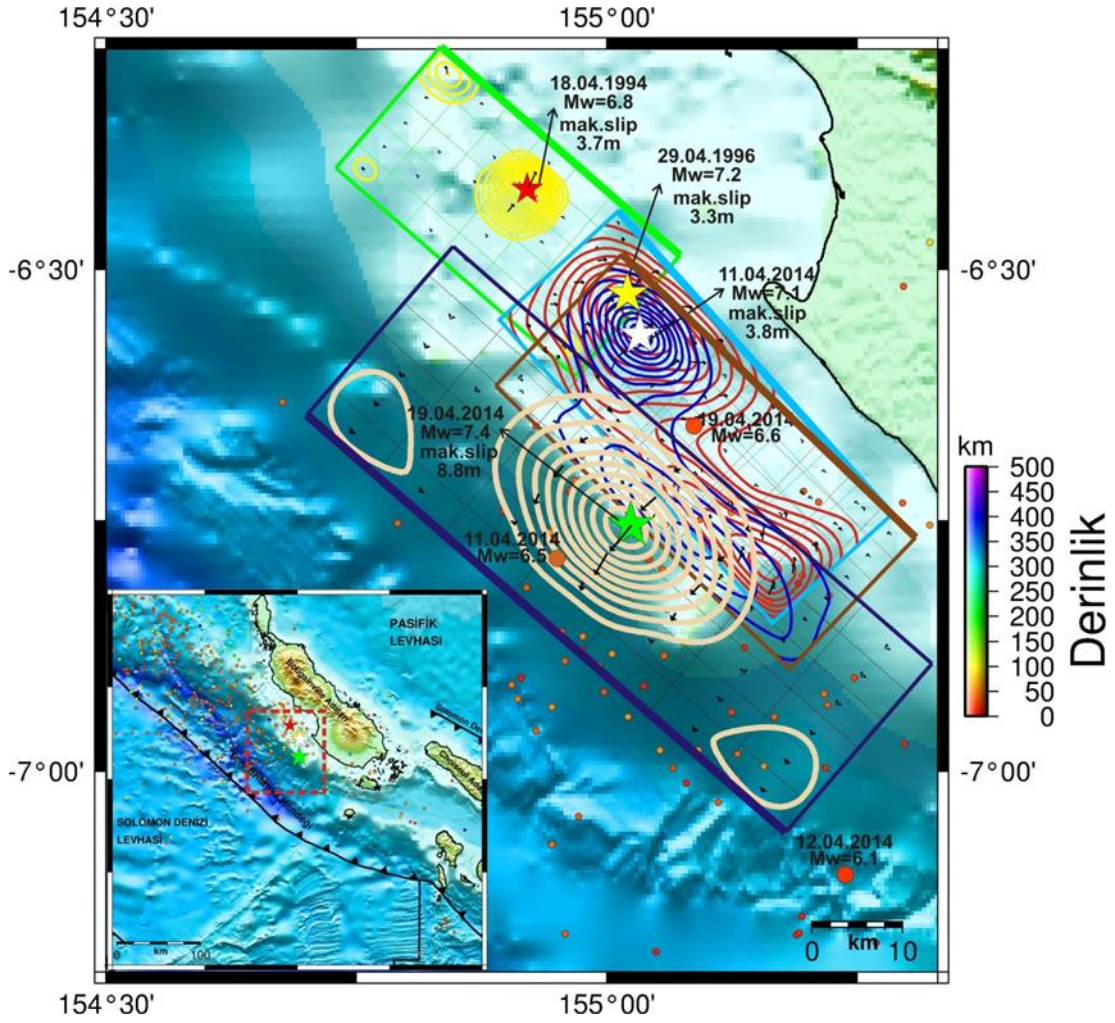


Şekil 3.160. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için USGS-NEIC (2014) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması

19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi için ters çözüm sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli harita projeksiyonu Şekil 3.161.'de gösterilmiştir. Bunun yanında bu depremle birlikte çok yakın bir konumda meydana gelmiş 18 Nisan 1994, 29 Nisan 1996 ve 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremlerinin bu çalışmada bulunan kayma dağılımlarının içeren harita projeksiyonları Şekil 3.162.'de verilmiştir. Toplam kırılma alanının ardışık kırılmalarla genişlediği genel bir izlenim olarak ortaya atılabilir.



Şekil 3.161. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi (yeşil yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi ile 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Deprem için kayma dağılımı konturları (krem rengi çizgi) 0.88 m aralıklarla çizilmiştir



Şekil 3.162. 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi (yeşil yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden önce meydana gelen 18 Nisan 1994, 29 Nisan 1996 ve 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremlerinin kayma dağılımları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 11 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi ile 19 Nisan 2014 Solomon Adaları depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Yeşil çerçeveli alan 18 Nisan 1994 depreminin faylanma alanını, mavi çerçeveli alan 29 Nisan 1996 depreminin faylanma alanını, kahverengi çerçeveli alan 11 Nisan 2014 depreminin faylanma alanını ve lacivert çerçeveli alan ise 19 Nisan 2014 depreminin faylanma alanını göstermektedir. 18 Nisan 1994 depremi için konturlar (sarı çizgi) 0.37 m, 29 Nisan 1996 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.33 m, 11 Nisan 2014 depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.38 m ve 19 Nisan 2014 depremi için konturlar (krem rengi çizgi) 0.88 m aralıklarla çizilmiştir

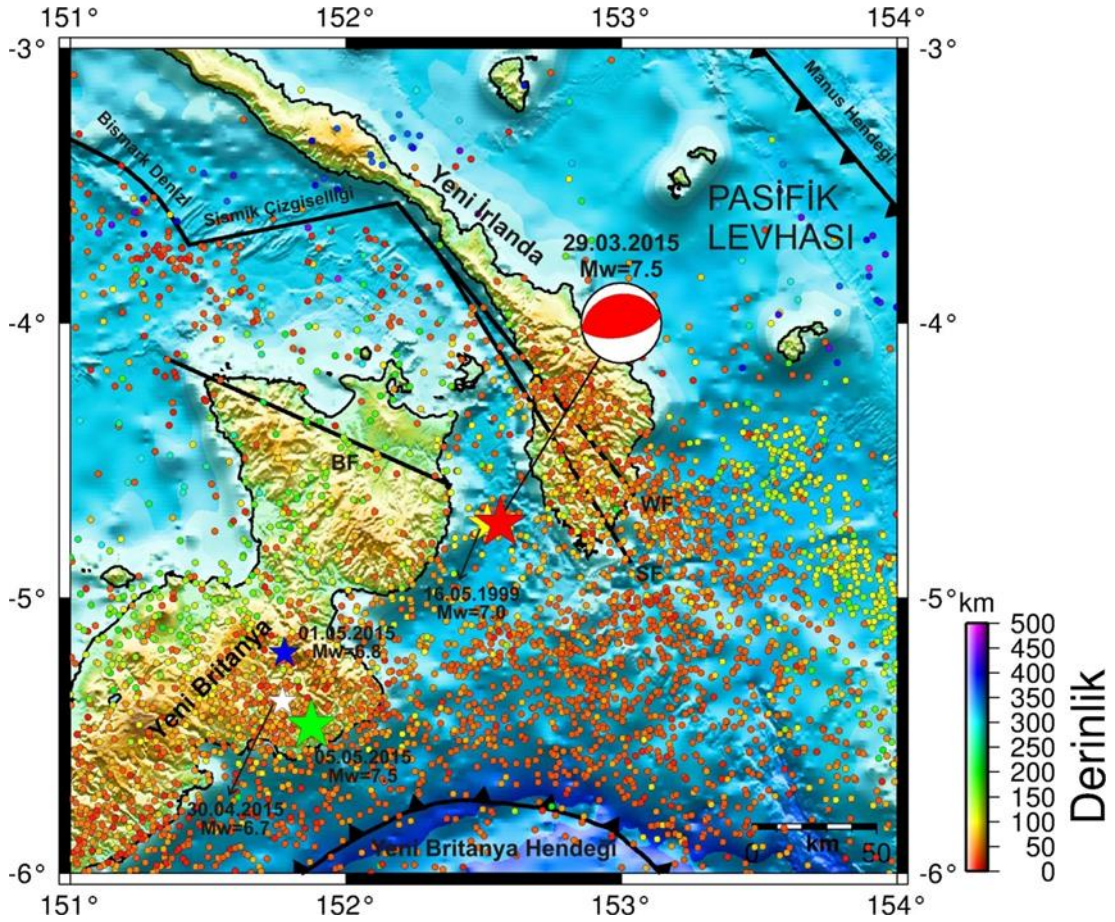
### 3.2.26. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=7.5$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.26.1. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=7.5$ )

29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ( $M_w=7.5$ ), Yeni Britanya Adası ile Yeni İrlanda Adası arasında kalan bölgede meydana gelmiştir (Şekil 3.163.). Bu olayın meydana geldiği konum tektonik anlamda dünyanın en karmaşık bölgelerinden biri olarak adlandırılan “Pasifik Ateş Çemberi” (Pasific Ring of Fire) içerisinde bulunmaktadır. Bilindiği üzere Pasifik Ateş Çemberi” (Pasific Ring of Fire) terimi bu bölge içerisinde var olan çok sayıda önemli tektonik unsurun (Avusturalya, Solomon Denizi Kuzey ve Güney Bismark, Woodlark ve Pasifik Levhaları, okyanus ortası sirtlar ve transform faylar) bulunması nedeniyle verilmiştir. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi Solomon Denizi levhasının Güney Bismark Levhası altına daldığı yer olan Yeni Britanya Hendeği dalma-batma zonu kaynaklı oluşmuştur. Depremın kaynak mekanizma çözümü dalma-batma kaynaklı olduğunu doğrulamaktadır (Tablo 3.78.). Depremden sonra herhangi bir can kaybı ve maddi zarar kaydedilmezken, Yeni Britanya Adasının kuzeyindeki Rabaul şehri yakınlarında yarım metre dalga yüksekliğine sahip tsunami olayı yaşanmıştır (Heidarzadeh ve ark., 2015).

Bu çalışmada daha önce sonlu-fay analizi yapılan 29 Mart 2015 bu depremden sonra yaklaşık 45 günlük zaman dilimi içerisinde bölgede önemli derecede deprem etkinliği kaydedilmiştir. Sırasıyla 30 Nisan 2015 ( $M_w=6.8$ ), 1 Mayıs 2015 ( $M_w=6.7$ ) ve 05 Mayıs 2015 ( $M_w=7.5$ ) depremleri bu etkinlik içerisinde yer alan önemli depremlerdir ve çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde irdelenecektir.





Şekil 3.163. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (kırmızı yıldız), mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes vd., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya Bölgesi depremi ile 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). BF: Baining Fayı; SF:Sapom Fayı; WF: Weitin-Kamdaru Fayı

Tablo 3.78. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_o$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^\circ$ )	Eğim ( $^\circ$ )	Rake ( $^\circ$ )	Kaynak
23:48:31.00	-4,729	152,562	35,5	246,9	255	20	83	USGS-NEIC
23:48:54.70	-5,180	152,590	37,6	189,0	260	29	90	HRV-GCMT

### 3.2.26.2. Kullanılan telesismik veri

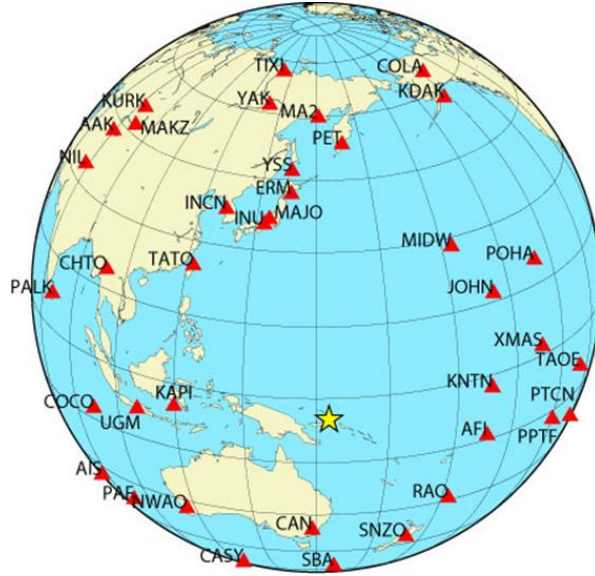
29 Mart 2015 Yeni Britanya depreminin sonlu-fay ters çözüm analizinde ters çözüm için toplam 37 istasyonda kaydedilmiş geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri içerilmiştir. Bu istasyonlarda kaydedilmiş 36 P ve 3 SH dalga fazı ters çözümde

kullanılmıştır. İstasyonlar Tablo 3.79.'da listelenmiş ve azimutal dağılımları Şekil 3.164.'de gösterilmiştir. Verilerin ilk olarak alet etkisi giderilmiştir. Daha sonra verilere 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Son olarak veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Depremin büyüklüğü göz önüne alınarak 100 sn'lik bir kayıt uzunluğunun modellenmesinin ile sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesi için uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

Tablo 3.79. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( <sup>0</sup> )	Boylam( <sup>0</sup> )	Azimut( <sup>0</sup> )	Uzaklık( <sup>0</sup> )	Faz
PET	53,02	158,65	4,32	57,99	P
COLA	64,87	-147,86	21,70	81,98	P
KDAK	57,78	-152,58	26,66	76,35	P
MIDW	28,22	-177,37	39,58	43,87	P
JOHN	16,73	-169,53	59,31	43,18	P
POHA	19,76	-155,53	62,55	56,59	P
XMAS	2,04	-145,45	83,40	50,41	P
KNTN	-2,77	-171,72	88,16	35,70	P
TAOE	-8,85	-140,15	97,62	66,87	P
AFI	-13,91	-171,78	107,13	36,32	P
PPTF	-17,59	-149,57	107,81	57,99	SH
PTCN	-25,07	-130,10	114,67	76,54	P
RAO	-29,25	-177,93	134,62	37,15	P
SNZO	-41,31	174,70	154,75	41,59	P
CAN	-35,22	149,00	185,68	30,76	P,SH
CASY	-66,28	110,54	196,88	68,07	P
PAF	-49,35	70,21	220,76	81,42	P
NWAO	-32,93	117,24	225,00	43,33	P
AIS	-37,80	77,57	232,11	75,25	P
COCO	-12,19	96,83	258,46	55,52	P
UGM	-7,91	110,52	263,42	41,88	P,SH
KAPI	-5,01	119,75	268,09	32,69	P
PALK	7,27	80,70	279,14	72,70	P
CHTO	18,81	98,94	295,76	57,79	P
NIL	33,65	73,27	304,64	83,78	P
AAK	42,64	74,49	313,69	84,51	P
TATO	24,97	121,50	316,03	42,35	P
MAKZ	46,81	81,98	319,11	80,41	P
KURK	50,72	789,62	322,25	83,65	P
INCN	37,48	126,62	332,45	48,62	P
INU	35,35	137,03	341,20	42,66	P
MAJO	36,55	138,20	343,15	43,41	P
YAK	62,03	129,68	348,74	69,04	P
ERM	42,02	143,16	350,53	47,53	P
YSS	46,96	142,76	351,57	52,42	P
TIXI	71,63	128,87	352,56	77,93	P
MA2	59,58	150,77	359,00	64,33	P



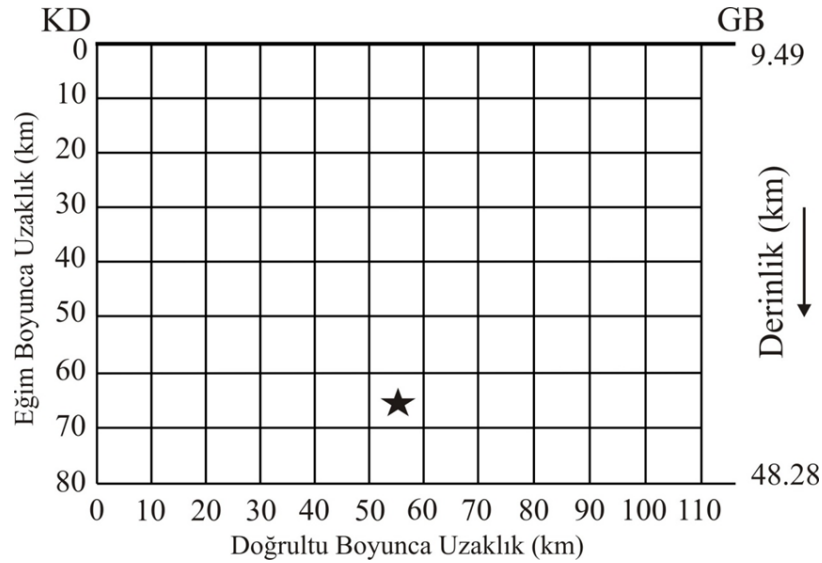


Şekil 3.164. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.26.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Doğrultu, eğim ve rake açısı Tabo 3.78'deki HRV-GCMT çözümünden (sırasıyla  $260^\circ$ ,  $29^\circ$  ve  $90^\circ$ ) alınan 110 km x 80 km'lik bir model fay düzlemi sonlu-fay analizi için tanımlanmıştır (Şekil 3.165.). USGS-NEIC tarafından hesaplanan odak konumu ( $4.729^\circ\text{G} - 152.562^\circ\text{D}$  ve 41.0 km) dikkate alınarak model fay düzleminin deprem kaynak bölgesindeki konumu yapılacak ters çözüm denemeleriyle sınanacaktır. Model fay düzleminin tanımlanması için 110 km x 80 km boyutlarındaki bir model kırılma alanının temsili için tasarlanmıştır. Model fay düzlemi 10 x 10 km boyutlarında 88 fay parçasına (doğrultu boyunca 11 ve eğim boyunca 8 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 3.165.).

Ters çözüm denemelerine başlarken kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmış ve sonrasında yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.5 sn süreli birbiriyle örtüşen 10 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 16.5 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.



Şekil 3.165. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 10 km aralıklarla toplam 88 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst ve KD, GB kenarına olan uzakları (sırasıyla 65 ve 52.5km, 52.5km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

#### 3.2.26.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Şekil 3.165’de gösterilen model fay düzlemi boyutları amprik bağıntıların (Blaser ve ark., 2010) önerdiği fay düzlemi boyutlarından (70 km x 30 km) daha büyüktür. Model M1 denemesi odak faylanma alanının ortasında alınarak bu fay boyutları ile yapılan bir ters çözüm denemesidir (Tablo 3.80.). Daha sonra odağın KD ve GB kenarlarına yakın alındığı aynı fay boyutlarıyla yapılan ters çözüm denemelerinde (sırasıyla Model M2 ve M3) kayma bölgelerinin çevrelenemediği görülmüştür. Odağın model fay düzlemi üzerindeki konumunun derinlik boyutunda değiştirildiği denemelerde de (Tablo 3.80.’de Model M4) benzer bir durumda karşılaşınca fay düzlemi boyutları genişletilerek (100 km x 60 km) Model M5 denemesi yapılmıştır. Hata miktarının düştüğü bununla birlikte kayma bölgelerinin halen tam çevrelenemediği görülmüştür. Bunun üzerine fay boyutları 110 km x 80 km’ye çıkarılmış (Tablo 3.80.de Model M6) ve hatanın düştüğü kayma alanlarının bu boyutlarla çevrelenemediği görülmüştür. Ardından kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti amacıyla birçok ters çözüm denemesi yapılmış ve (Tablo 3.80.). Kırılma hızının 2.8 km/sn olduğu Model M10 denemesi depremin en gerçekçi temsili olarak seçilmiştir.

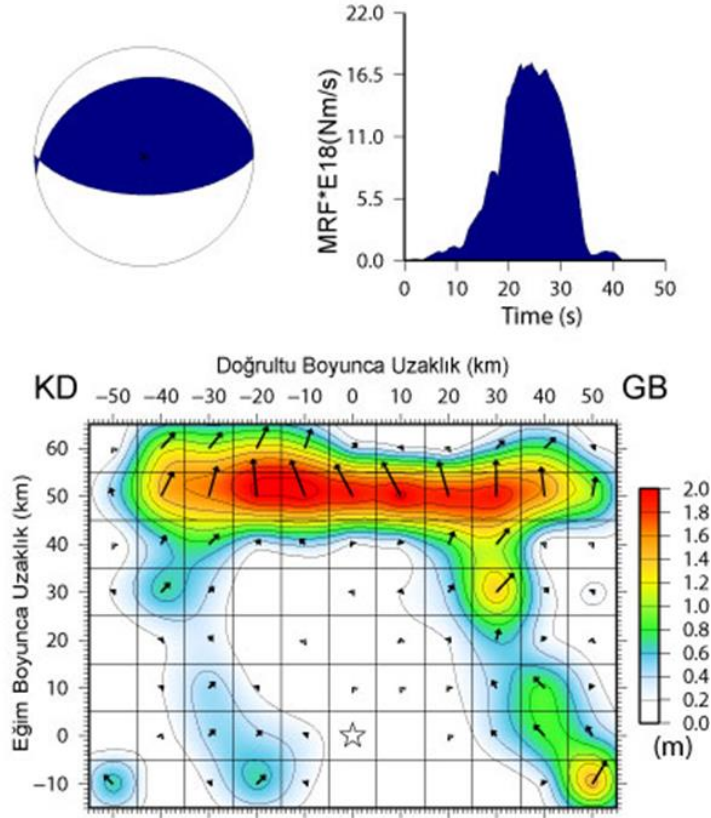
Tablo 3.80. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi Adaları depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu									
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> N <sub>o</sub>					
M1	70	30	42	10x5	4-3	3,0	82,7	92,89	0,46899	4,5
M2	70	30	42	10x5	2-3	3,0	84,3	132,9	0,41134	5,9
M3	70	30	42	10x5	6-3	3,0	83,8	132,5	0,44980	5,8
M4	70	30	42	10x5	4-1	3,0	83,4	114,5	0,42015	6,0
M5	100	60	60	10x10	5-1	3,0	80,9	187,8	0,32001	3,4
M6	110	80	88	10x10	6-2	3,0	80,6	193,6	0,31327	2,7
M7	110	80	88	10x10	6-2	2,5	80,1	198,0	0,31395	2,3
M8	110	80	88	10x10	6-2	2,6	80,3	196,7	0,31367	2,2
M9	110	80	88	10x10	6-2	2,7	80,6	196,3	0,31319	2,1
M10	110	80	88	10x10	6-2	2,8	80,7	195,3	0,31255	2,0
M11	110	80	88	10x10	6-2	2,9	80,6	194,6	0,31290	2,3
M12	110	80	88	10x10	6-2	3,1	80,4	192,5	0,31415	2,9
M13	110	80	88	10x10	6-2	3,2	80,3	191,1	0,31522	3,1
M14	110	80	88	10x10	6-2	3,3	80,4	189,8	0,31648	3,4
M15	110	80	88	10x10	6-2	3,4	80,5	188,4	0,31814	3,5
M16	110	80	88	10x10	6-2	3,5	80,6	186,8	0,31981	3,5

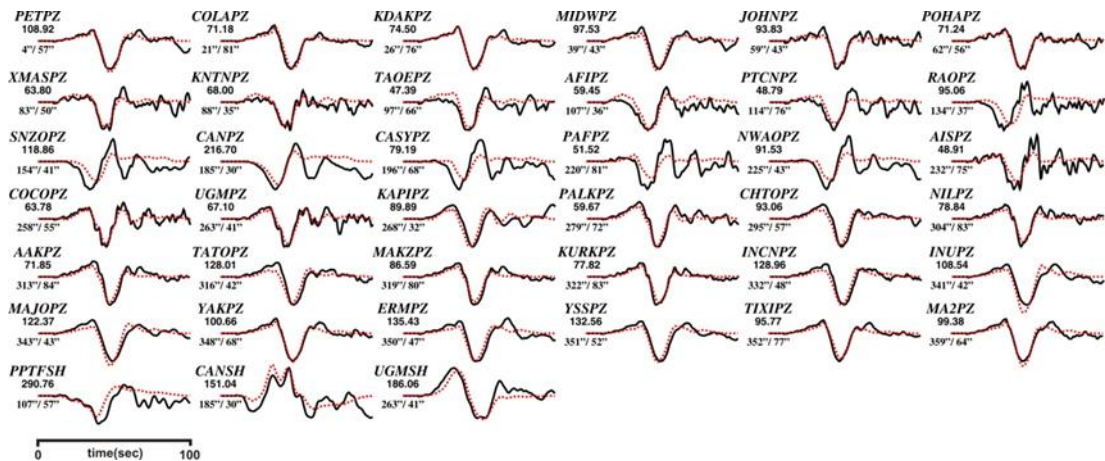
29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin Model M10 ters çözümü denemesi ile elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.167.'de gösterilmiştir. Hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri arasındaki uyumun yeterince tatmin edici olduğu görülmüştür (Şekil 3.168.). Bu deprem esnasında serbestlenen sismik moment ( $M_o$ )  $19.53 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.46$ ) olarak hesaplanmış ve ortalama kayma açısı  $81^\circ$  olarak bulunmuştur. Kayma dağılım modeli incelendiğinde deprem kırılmasının karmaşık bir kırılma sürecine sahip olduğu görülmektedir. Göreceli olarak küçük bir kayma ile odakta başlayan kırılma eğim yukarı yayılmış ve faylanma alanının üstteki yarısının neredeyse tamamını örten büyük bir pürüzün (kayma genliği 2.0 m) kırılmasıyla esas karakterini göstermiştir. Fay düzleminin GB derin köşesine yerleşmiş kayma genliği 1.46 m olan diğer bir pürüzün varlığından da söz edilebilir. Hesaplanan moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde moment serbestlenmesinin yaklaşık 42 sn sürdüğü söylenebilmektedir. Sonuç olarak deprem kırılmasının biri büyük diğeri küçük iki pürüzün kırılması ile oluştuğu söylenebilir.

## 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi

Moment =  $0.1953E+21$ (Nm),  $M_w = 7.5$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (260.0, 29.0, 80.7, 41.0)



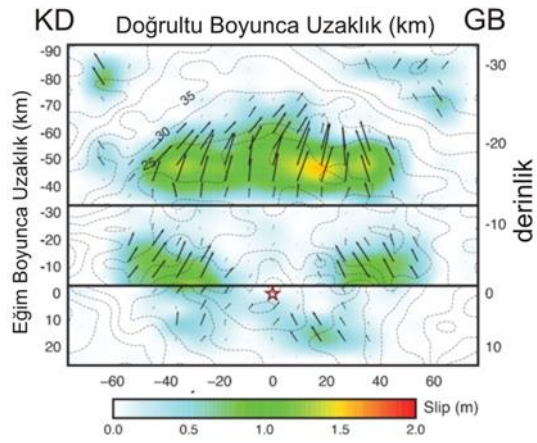
Şekil 3.166. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.80.'deki Model M10 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



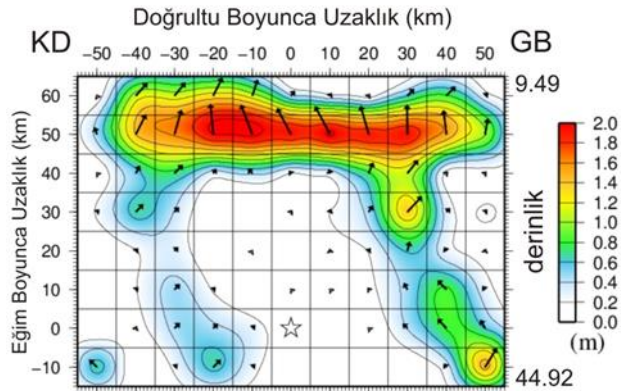
Şekil 3.167. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M10 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi çeşitli araştırmacı ve kurumlar tarafından da çalışılmış önemli bir depremdir. Nitekim USGS (2015) tarafından sonlu-fay modeli hesaplanmıştır. Şekil 3.168.'de bu çalışmadaki ve USGS (2015)'deki modeller karşılaştırılmıştır. Her iki kayma dağılımı modelinin birbirine oldukça benzediği açıkça görülmektedir. Bu sonuç bize çalışmamızın doğruluğunu teyit etmemizi sağlamaktadır. Bu iki çalışmanın yanında bir başka araştırmacı Heidarzadeh ve ark., (2015) 29 Mart 2015 Yeni Britanya depreminin tsunami tehlikesini incelerken kayma dağılımı modeli ortaya koymuşlardır. Bu model de bu çalışmada ve USGS (2015) tarafından ortaya koyulan modellere oldukça benzerlik göstermekte ve 2 m'lik bir kayma değeri ortaya koymaktadır.

Sonlu Fay Modellemesi (USGS-NEIC, 2015)



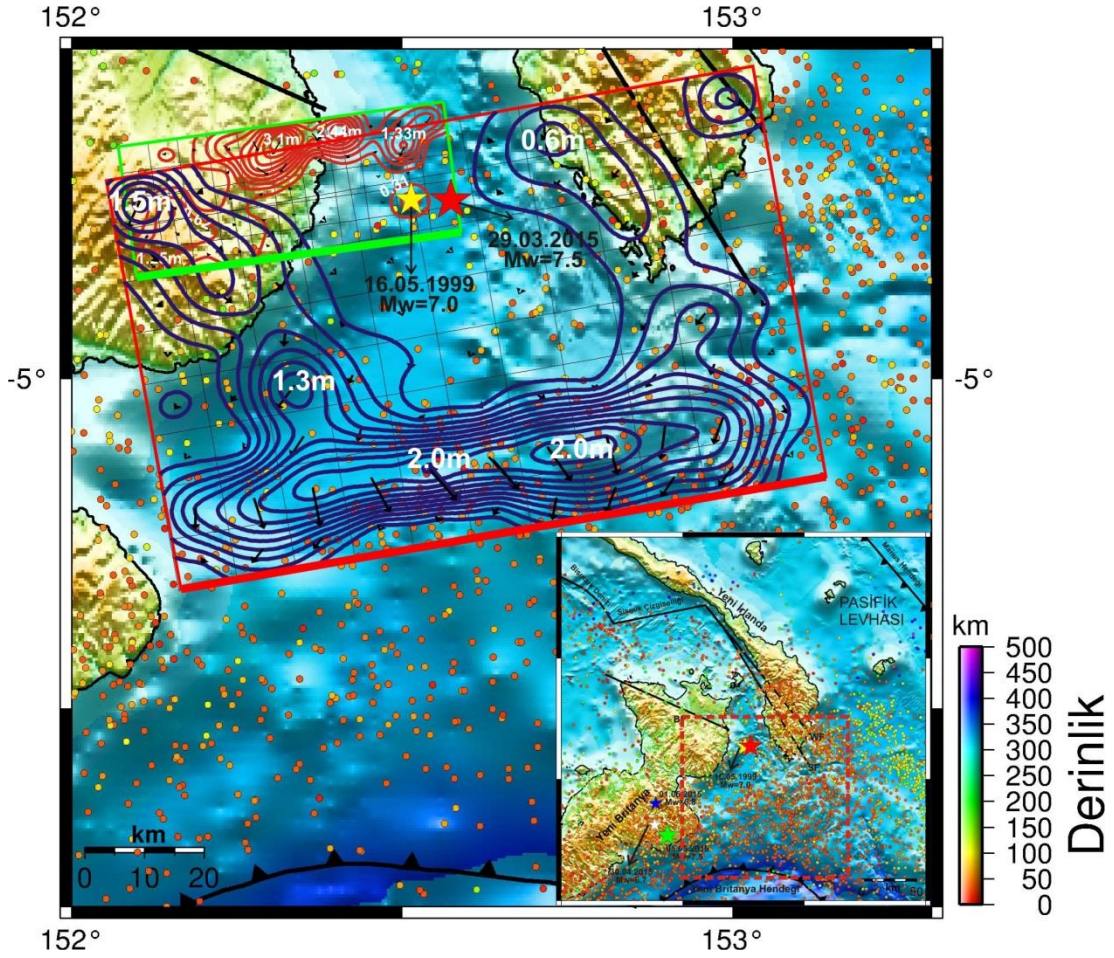
Sonlu Fay Modellemesi (Bu çalışma)



Şekil 3.168. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için USGS-NEIC (2015) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması



29 Mart 2015 Yeni Britanya depremi için ters çözüm sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli harita projeksiyonu Şekil 3.169.'da bu depreme yakın bir konumda meydana gelen 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya depremi kayma dağılım modelinin harita projeksiyonu ile birlikte gösterilmiştir. 1999 depremi kırılmasının 2015 depremi kırılma alanı içinde kaymanın olmadığı bir alanda yerleşmesi ilgi çekicidir.



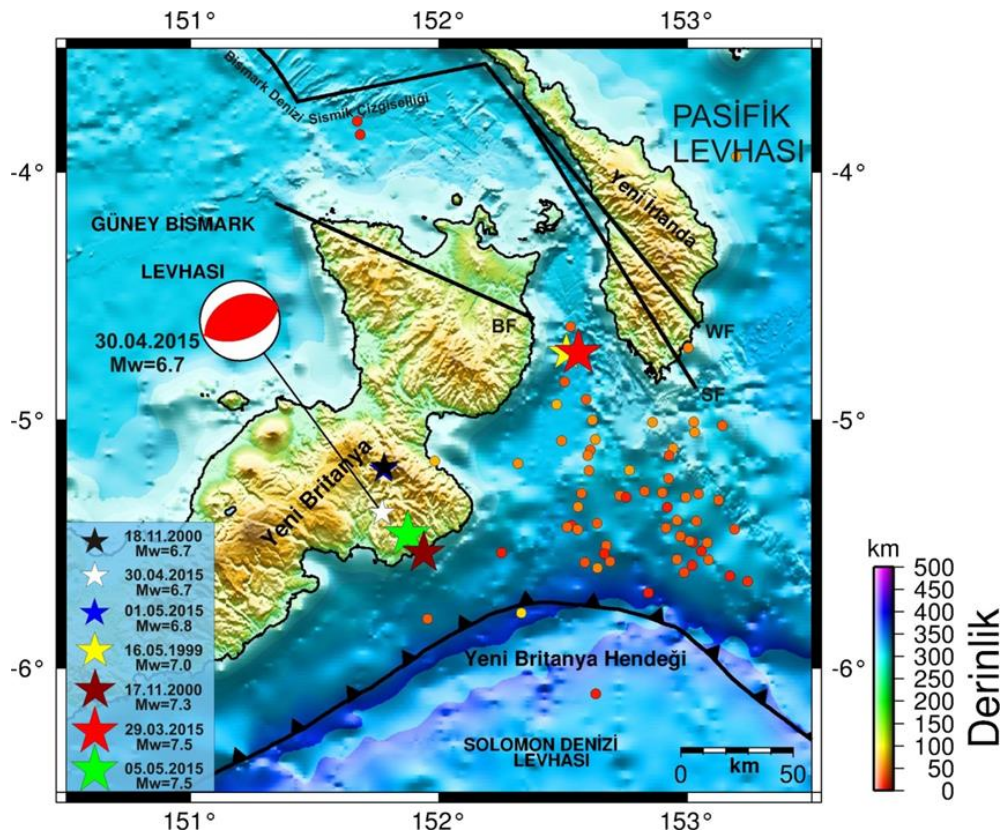
Şekil 3.169. 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi (kırmızı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden önce meydana gelen 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya Bölgesi depreminin (sarı yıldız) kayma dağılımları da şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 16 Mayıs 1999 Yeni Britanya Bölgesi depremi ile 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Yeşil çerçeveli alan 16 Mayıs 1995 depreminin faylanma alanını ve kırmızı çerçeveli alan 29 Mart 2015 depreminin faylanma alanını göstermektedir. 16 Mayıs 1999 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.31 m, 29 Mart 2015 depremi için konturlar (lacivert çizgi) 0.2 m aralıklarla çizilmiştir



### 3.2.27. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=6.7$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.27.1. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=6.7$ )

30 Nisan 2015 Yeni Britanya depremi ( $M_w=6.8$ ), Yeni Britanya adasının altında Solomon Denizi Levhası'nın Güney Bismark Levhası altına daldığı Yeni Britanya Hendeği üzerinde meydana gelmiştir. Kaynak mekanizma çözümü bir dalma-batma zonu depremi olduğunu desteklemektedir (Tablo 3.81.). Bu deprem, 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ( $M_w=7.4$ ) ile başlayan büyük deprem silsilesi içinde yer aldığı gibi 2000 yılı deprem silsilesi içindeki 17 Kasım 2000 ( $M_w=7.3$ ) ve 18 Kasım 2000 ( $M_w=6.7$ ) depremlerine yakın bir konumda oluşmuştur. Bu açıdan incelenmesi dikkate değer olacaktır (Şekil 3.169.).



Şekil 3.170. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (beyaz yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ile 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloğlarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). BF: Baining Fayı; SF: Sapom Fayı; WF: Weitin-Kamdarı Fayı

Tablo 3.81. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

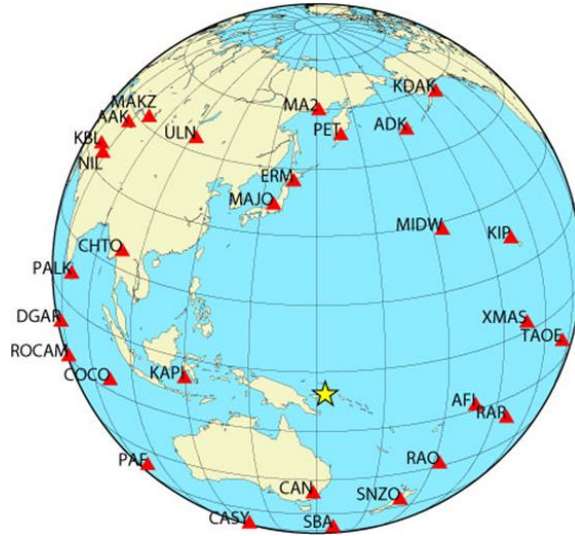
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
10:45:02.00	-5,375	151,771	31,0	14,1	243	23	81	USGS-NEIC
10:45:09.60	-5,580	151,83	38,3	10,3	243	39	83	HRV-GCMT

### 3.2.27.2. Kullanılan telesismik veri

Analizlerde 29 P ve 2 SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekli kullanılmıştır. İstasyonların azimutal dağılımları Şekil 3.171.'de ve detayları Tablo 3.82.'de verilmiştir. Alet etkisi giderilen veriler 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında filtrelenmiş ve 0.5 sn ile örneklenmiştir. 50 sn'lik bir kayıt uzunluğu ters çözümde kullanılmıştır.

Tablo 3.82. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

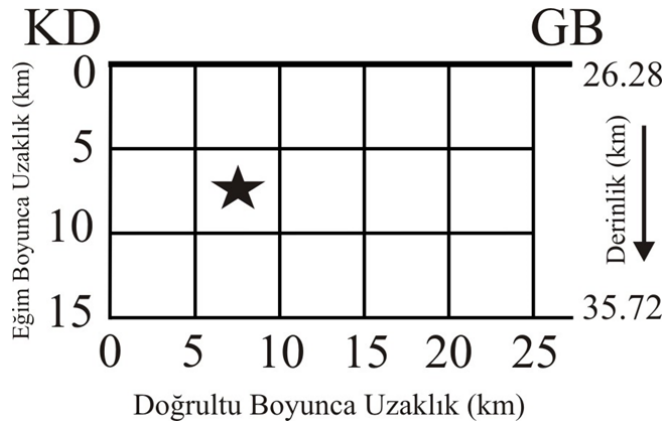
İstasyon	Enlem( $^{\circ}$ )	Boylam( $^{\circ}$ )	Azimut( $^{\circ}$ )	Uzaklık( $^{\circ}$ )	Faz
PET	53,02	158,65	4,84	58,69	P
ADK	51,88	-176,68	21,20	82,86	P
KDAK	57,78	-152,58	26,66	76,35	P
MIDW	28,22	-177,37	39,85	44,86	P
KIP	21,42	-151,08	59,62	56,02	P
XMAS	2,04	-157,45	83,03	51,26	P
TAOE	-8,85	-140,15	97,38	67,57	P
AFI	-13,91	-171,78	106,07	36,88	P,SH
RAR	-21,21	-159,77	113,43	49,50	P,SH
RAO	-29,25	-177,93	133,37	37,27	P
SNZO	-41,31	174,70	153,71	41,36	P
SBA	-77,85	166,76	176,74	72,90	P
CAN	-35,32	149,00	184,52	30,05	P
CASY	-66,28	110,54	196,71	67,24	P
PAF	-49,35	70,21	220,80	80,43	P
ROCA	-19,76	63,37	250,45	86,69	P
COCO	-12,19	96,83	258,85	54,63	P
DGAR	-7,41	72,45	263,49	78,75	P
KAPI	-5,01	119,75	269,14	31,89	P
PALK	7,27	80,70	279,45	72,70	P
CHTO	18,81	98,94	296,48	57,37	P
NIL	33,65	73,27	304,81	83,49	P
KBL	33,54	69,04	305,10	87,09	P
AAK	42,64	74,49	313,86	84,38	P
MAKZ	46,81	81,98	319,35	80,38	P
ULN	47,87	107,05	328,91	66,10	P
MAJO	36,55	138,20	344,20	43,41	P
ERM	42,02	143,16	351,39	48,04	P
MA2	59,58	150,77	359,44	64,96	P



Şekil 3.171. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.27.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Model fay düzleminin tanımlanmasında HRV-GCMT çözümünden elde edilmiş doğrultu ( $243^\circ$ ), eğim ( $39^\circ$ ) ve rake ( $83^\circ$ ) açıları kullanılmıştır (Tablo 3.83.). Odak konumu ( $5.375^\circ\text{G} - 151.771^\circ\text{D}$  ve  $31.0 \text{ km}$ ) USGS-NEIC kataloglarından elde edilmiştir. Model fay düzleminin tanımlanması için  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  boyutlarında 15 fay parçasına (doğrultu boyunca 5 ve eğim boyunca 3 fay parçası) bölünmüş,  $25 \text{ km} \times 15 \text{ km}$  boyutlarındaki temsili alan tasarlanmıştır (Şekil 3.172.). Odağın model fay düzlemi üzerindeki konumu ters çözüm denemeleriyle belirlenecektir.



Şekil 3.172. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi  $5 \text{ km}$  aralıklarla toplam 15 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KD ve GB kenarına olan uzakları (sırasıyla  $7.5 \text{ km}$ ,  $7.5 \text{ km}$  ve  $17.5 \text{ km}$ ) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 7 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.27.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Odağın merkezde olduğu ve faylanma alanının amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) belirlendiği Model M1 denemesi ile odağın KD ve GB kenarlarına yakın olduğu sırasıyla Model M2 ve M3 denemeleri yapılarak hem model fay düzleminin boyutları hem de odağın doğrultu boyunca konumu sorgulanmıştır. Tanımlanan faylanma alanının yeterli olduğu ve Model M2 denemesinin gözlenmiş veriye uyumda daha az bir hata verdiği görülmüştür (Tablo 3.83.). Kırılma hızının ( $V_r$ ) tespit için çok sayıda ters çözüm denemesi yapılmış ve kırılma hızının 2.8 km/sn olduğu ters çözüm denemesi M7 final çözümü olarak kabul edilmiştir (Tablo 3.83.).

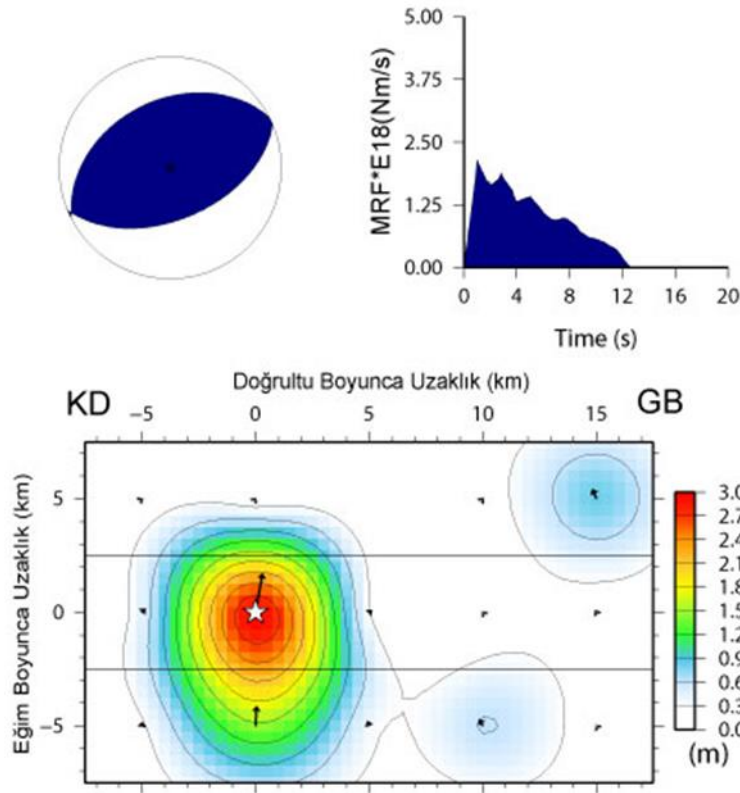
Tablo 3.83. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)	
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>0</sub> -N <sub>0</sub>						
M1	25	15	15	5x5	3-2	3,0	89,0	1,120	0,35607	2,5	
M2	25	15	15	5x5	2-2	3,0	86,3	1,117	0,35183	2,9	
M3	25	15	15	5x5	4-2	3,0	86,8	1,161	0,35347	2,7	
M4	25	15	15	5x5	2-2	2,5	87,3	1,208	0,35132	3,1	
M5	25	15	15	5x5	2-2	2,6	87,0	1,202	0,35123	3,1	
M6	25	15	15	5x5	2-2	2,7	86,8	1,196	0,35128	3,0	
M7	25	15	15	5x5	2-2	2,8	86,6	1,191	0,35121	3,0	
M8	25	15	15	5x5	2-2	2,9	86,4	1,184	0,35153	2,9	
M9	25	15	15	5x5	2-2	3,1	86,1	1,170	0,35218	2,9	
M10	25	15	15	5x5	2-2	3,2	86,0	1,163	0,35250	2,8	
M11	25	15	15	5x5	2-2	3,3	85,9	1,157	0,35284	2,8	
M12	25	15	15	5x5	2-2	3,4	85,8	1,151	0,35320	2,7	
M13	25	15	15	5x5	2-2	3,5	85,7	1,144	0,35325	2,7	

Model M7 için elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.173.'de gösterilmiştir. Bu model için hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.174.'de karşılaştırılmıştır. Bu deprem esnasında ortaya çıkan sismik moment ( $M_0$ )  $1.191 \times 10^{19}$  Nm ve ortalama kayma açısı  $87^\circ$  olarak bulunmuştur. Depreme kırılmasının odak etrafına yerleşmiş, çapı 10 km olan dairesel şekilli ve en büyük kayma genliği değeri 3 m olan bir fay pürüzünün kırılması ile kontrol edildiği görülmektedir. Faylanma alanının GB köşesinde yüzeye yakın konumlanmış kayma bölgesinde kayma genliği göreceli olarak küçük (0.8 m) olduğundan bir pürüz olarak düşünülmemiştir. Moment boşalım fonksiyonu incelendiğinde enerji serbestlenmesinin yaklaşık 13 sn sürdüğü görülebilir. Sonuç olarak 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi kırılmasının esas olarak tek bir pürüzün yenilmesi ile oluşmuştur.

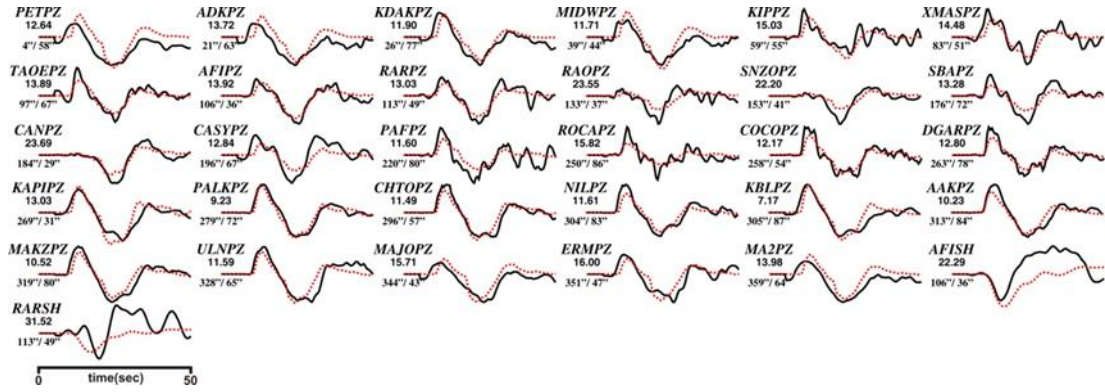
### 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi

Moment =  $0.1190E+20$ (Nm),  $M_w = 6.7$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (243.0, 39.0, 86.6, 31.0)



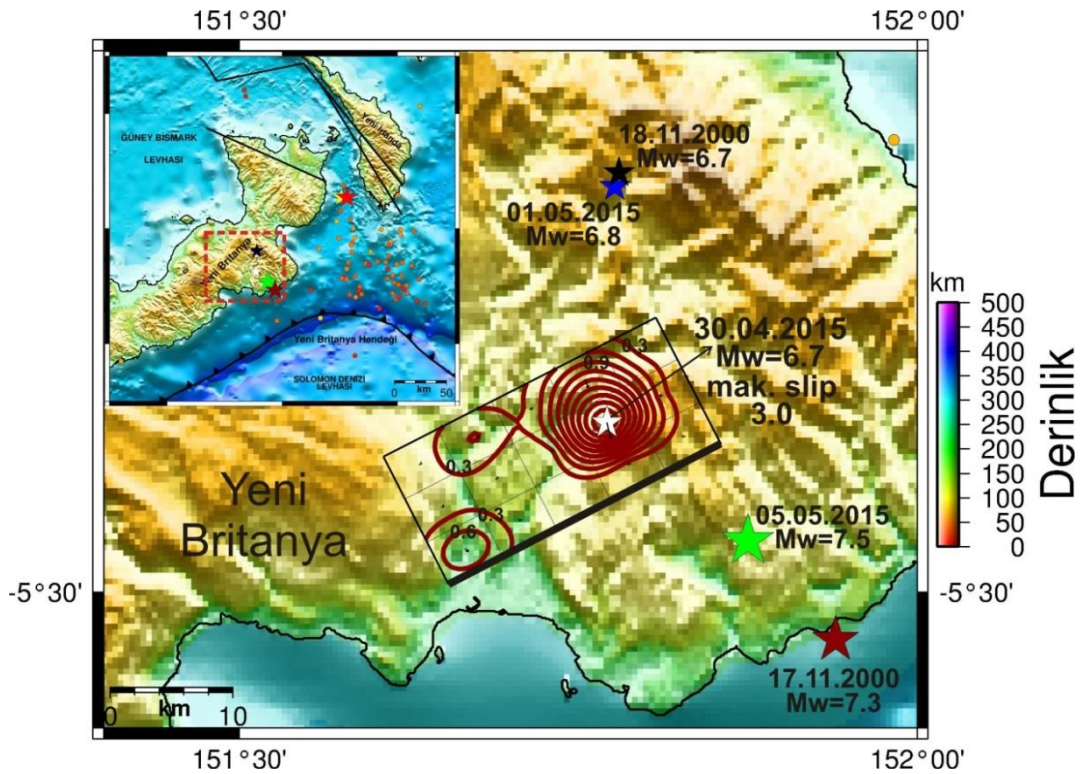
Şekil 3.173. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.83.'deki Model M7 denemesinin sonucunda elde edilmiştir





Şekil 3.174. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M7 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

30 Nisan 2015 Yeni Britanya depreminin ters çözüm sonucunda elde edilen kayma dağılım modelinin harita projeksiyonu Şekil 3.175.'de bu depreme çok yakın bir konumda meydana gelen diğer depremlerin lokasyonları ile birlikte gösterilmiştir.



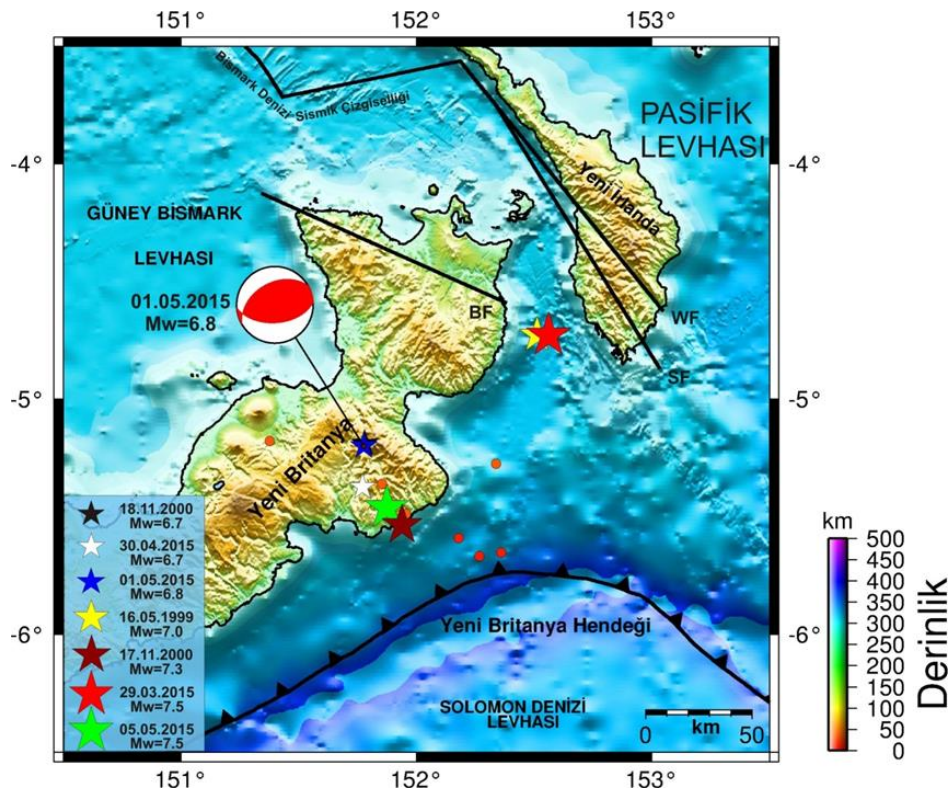
Şekil 3.175. 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi (beyaz yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Şekildeki daireler 29 Mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ile 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 30 Nisan 2015 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.3 m aralıklarla çizilmiştir



### 3.2.28. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=6.8$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.28.1. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=6.8$ )

1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ( $M_w=6.8$ ), Solomon Denizi Levhası'nın Güney Bismark Levhası altına daldığı bölgede Yeni Britanya adasının güneyinde, 30 Nisan 2015 depreminin hemen kuzeyinde meydana gelmiştir (3.176.). 2015 yılı içinde meydana gelmiş büyük deprem silsilesinde  $M_w \geq 6.5$  olan zaman sırasına göre üçüncü depremdir. Depremin kaynak mekanizma çözümü küçük bir sol-yanal faylanma bileşeni olan ters faylanmayı işaret etmektedir (Tablo 3.84.). Hemen KD'da uzanan sol-yanal Weitin Fayı düşünüldüğünde sol yanal faylanma bileşeni makuldür.



Şekil 3.176. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (mavi yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ile 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). BF: Baining Fayı; SF:Sapom Fayı; WF: Weitin-Kamdaru Fayı

Tablo 3.84. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

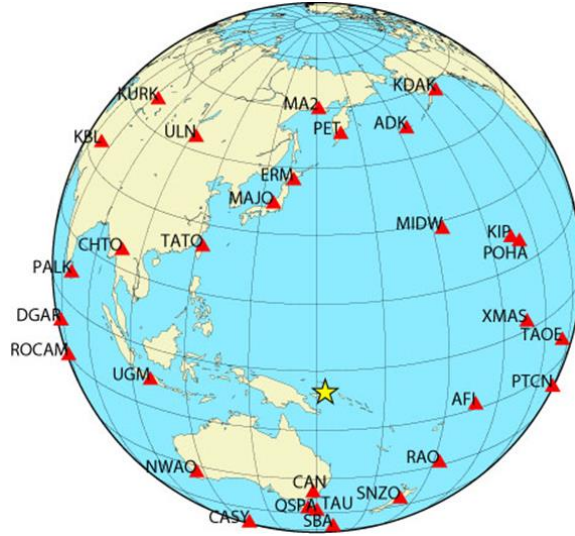
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
08:06:03:00	-5,201	151,777	50,5	17,32	249	38	81	USGS-NEIC
08:06:10:10	-5,470	151,760	49,3	16,10	240	42	70	HRV-GCMT

### 3.2.28.2. Kullanılan telesismik veri

Ters çözümde 28 P ve 2 SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekilleri kullanılmıştır. (Tablo 3.85., Şekil 3.177.). Verilerin alet etkisi giderildikten sonra 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmış ve 0.5 sn ile örneklenmiştir. Ters çözümde kullanılacak dalga şekilleri uzunlukları 50 sn'dir.

Tablo 3.85. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan istasyonlar ve dalga türleri.

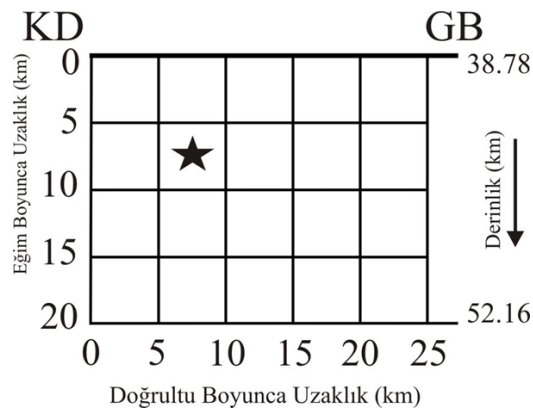
İstasyon	Enlem( $^{\circ}$ )	Boylam( $^{\circ}$ )	Azimut( $^{\circ}$ )	Uzaklık( $^{\circ}$ )	Faz
PET	53,02	158,65	4,84	58,51	P
ADK	51,88	-176,68	21,23	63,09	P
KDAK	57,78	-152,58	2684	77,12	P
MIDW	28,22	-177,37	39,95	44,72	P
KIP	21,42	-151,08	59,72	55,93	P
POHA	19,76	-155,53	62,58	57,49	P
XMAS	2,04	-157,45	83,16	51,24	P
TAOE	-8,85	-140,15	97,45	67,58	P
AFI	-13,91	-171,78	106,30	36,93	P,SH
PTCN	-25,07	-130,10	114,56	77,06	P
RAO	-29,25	-177,93	133,54	37,38	P
SNZO	-41,31	174,70	153,80	41,51	P
SBA	-77,85	166,76	176,74	73,08	P
QSPA	-89,93	144,44	180,01	84,73	P
CAN	-35,32	149,00	184,51	30,23	SH
TAU	-42,91	147,32	185,31	37,92	P
CASY	-66,28	110,54	196,69	67,40	P
NWAO	-32,93	117,24	224,83	42,45	P
DGAR	-7,41	72,45	263,45	78,78	P
UGM	-7,91	110,52	263,92	41,06	P
PALK	7,27	80,70	279,39	72,01	P
CHTO	18,81	98,94	296,31	57,30	P
KBL	34,54	69,04	305,09	87,00	P
TATO	24,97	121,50	317,07	42,15	P
KURK	50,72	78,62	322,42	83,54	P
ULN	47,87	107,05	328,87	65,95	P
MAJO	36,55	138,20	344,14	43,63	P
ERM	42,02	143,16	351,36	47,86	P
MA2	59,58	150,77	359,44	64,78	P



Şekil 3.177. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.28.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Deprem için model fay düzlemi faylanma parametreleri (doğrultu  $240^\circ$ , eğim  $42^\circ$  ve rake  $70^\circ$ ) HRV-GCMT çözümünden alınmıştır (Tablo 3.84.). Odak bilgileri USGS-NEIC'den ( $5.200^\circ\text{G}$  -  $151.777^\circ\text{D}$  ve  $44.0$  km) elde edilmiştir. Model fay düzleminin tanımlanması için  $5$  km x  $5$  km boyutlarında  $20$  fay parçasına (doğrultu boyunca  $5$  ve eğim boyunca  $4$  fay parçası) bölünmüş,  $25$  km x  $20$  km boyutlarındaki bir model tanımlanmıştır (Şekil 3.178.). Deprem odağının model fay düzlemi üzerindeki konumu ters çözüm denemeleri ile belirlemeye çalışılacaktır.



Şekil 3.178. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi  $5$  km aralıklarla toplam  $20$  adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KD ve GB kenarına olan uzakları (sırasıyla  $7.5$  km,  $7.5$  km ve  $17.5$  km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

Başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak alınmıştır. Çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile en uygun kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbirleriyle örtüşen 6 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde 7 sn'lik bir toplam kayma süresine ve 3.0 km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.

#### 3.2.28.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

Model M1, M2 ve M3 ters çözüm denemelerinde amprik bağıntılardan (Blaser ve ark., 2010) faylanma alanının yeterli olduğuna kanaat getirilmiştir. Bu denemelerde odak model fay düzlemi üzerinde sırasıyla ortada, KD kenara yakın ve GB kenara yakın alınmıştır (sırasıyla Model M1, M2 ve M3). Model M2 denemesi sonucunda hata miktarı daha az çıkınca kırılma hızı ( $V_r$ )'nin tespitine geçilmiştir. Kırılma hızının 2.7 m/sn olduğu ters çözüm denemesi M6 gerçeği yansıtan en yakın model olarak tespit edilmiştir (Tablo 3. 86.).

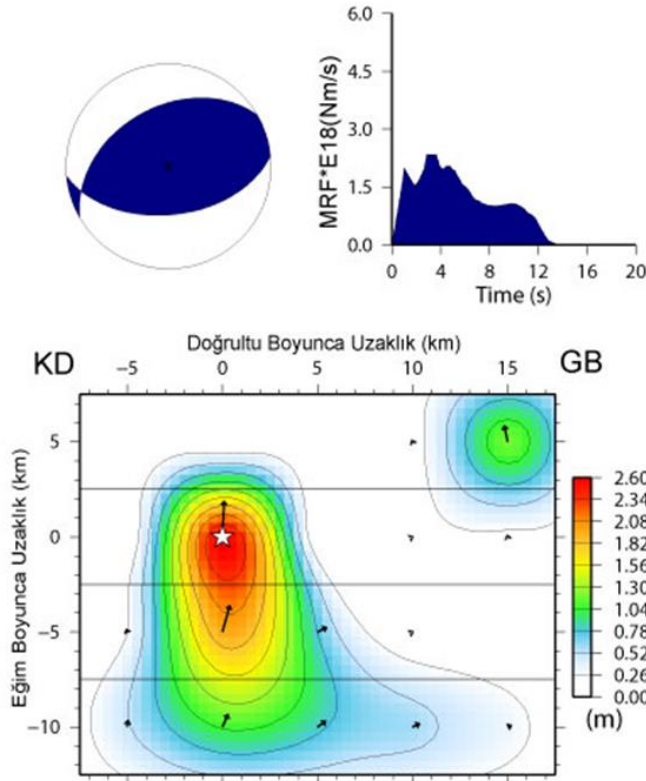
Tablo 3.86. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)	
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>0</sub> -N <sub>0</sub>						
M1	25	20	20	5x5	3-3	3,0	71,3	1,430	0,24499	2,3	
M2	25	20	20	5x5	2-3	3,0	71,5	1,492	0,23491	2,4	
M3	25	20	20	5x5	4-3	3,0	71,2	1,465	0,24018	2,4	
M4	25	20	20	5x5	2-3	2,5	71,5	1,534	0,23453	2,8	
M5	25	20	20	5x5	2-3	2,6	71,5	1,525	0,23427	2,7	
M6	25	20	20	5x5	2-3	2,7	71,5	1,571	0,23419	2,6	
M7	25	20	20	5x5	2-3	2,8	71,5	1,509	0,23431	2,5	
M8	25	20	20	5x5	2-3	2,9	71,5	1,500	0,23454	2,5	
M9	25	20	20	5x5	2-3	3,1	71,5	1,485	0,23537	2,4	
M10	25	20	20	5x5	2-3	3,2	71,5	1,478	0,23598	2,3	
M11	25	20	20	5x5	2-3	3,3	71,6	1,470	0,23662	2,3	
M12	25	20	20	5x5	2-3	3,4	71,6	1,463	0,23731	2,2	
M13	25	20	20	5x5	2-3	3,5	71,6	1,455	0,23806	2,2	

1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 3.181’de gösterilmiş ve bu modelden hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenen dalga şekilleri Şekil 3.180’de karşılaştırılmıştır. Kayma dağılım modeli depremin  $1.571 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=6.72$ ) sismik moment serbestlediğine işaret etmektedir. Ortalama kayma açısı  $72^\circ$  olarak bulunmuş ve sol yanal faylanma bileşeninin varlığı ortaya konmuştur. Kayma dağılım modeli biri büyük diğeri göreceli olarak küçük pürüzün kırılmasına işaret etmektedir. Büyük pürüz yaklaşık olarak 20 km x 10 km’lik bir faylanma alanını örtmekte olup uzun kenarı eğim boyunca uzanmaktadır ve en büyük kayma genliği 2.6 m’dir. Küçük pürüz fayın GB sığ köşesinde sıkışmış görünümündedir. Faylanma alanının doğrultu boyunca genişletildiği birkaç ters çözüm denemesinde bu pürüzün zayıfladığı görülmüştür. Bu nedenle bu pürüz ile ilgili kayma ters çözüm sonucu ortaya çıkmış yapay kayma olabilir. Kırılma yaklaşık 12 sn sürmüştür.

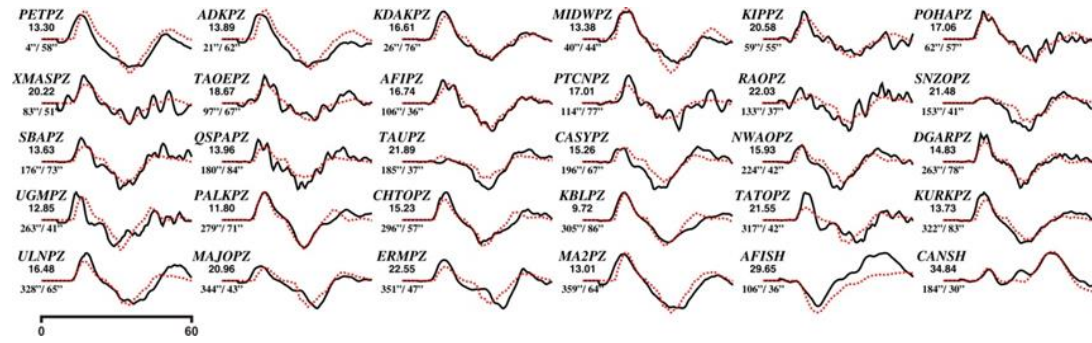
### 01 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi

Moment =  $0.1517E+20$ (Nm),  $M_w = 6.7$   
 (Strike,Dip,Slip,h) = (240.0, 42.0, 71.5, 44.0)



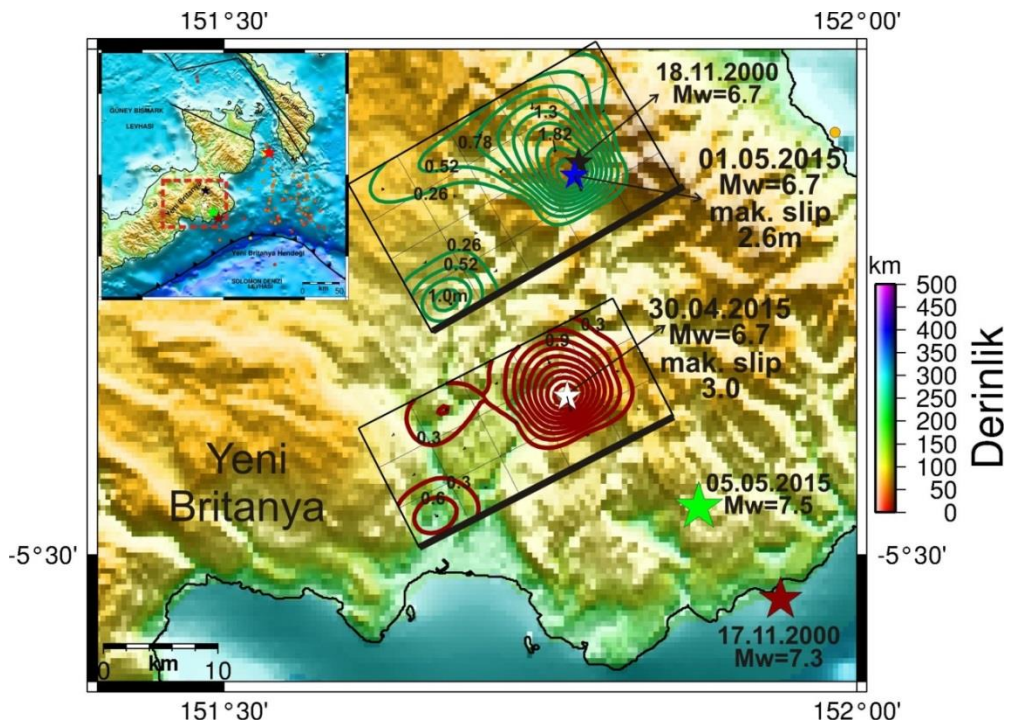
Şekil 3.179. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.86.’daki Model M6 denemesinin sonucunda elde edilmiştir





Şekil 3.180. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M6 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon sonum ve uzaklıklarını göstermektedir

01 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi kayma dağılım modelinin harita izdüşümü Şekil 3.181.'de ve bu depreme çok yakın bir konumda meydana gelen 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi kayma dağılım modeli izdüşümü ile birlikte gösterilmiştir. Yeni Britanya hendeği üzerinde 30 Nisan 2015 depremi kırılması 1 Mayıs 2015 depremi kırılması ile eğim aşağı yayılmıştır.



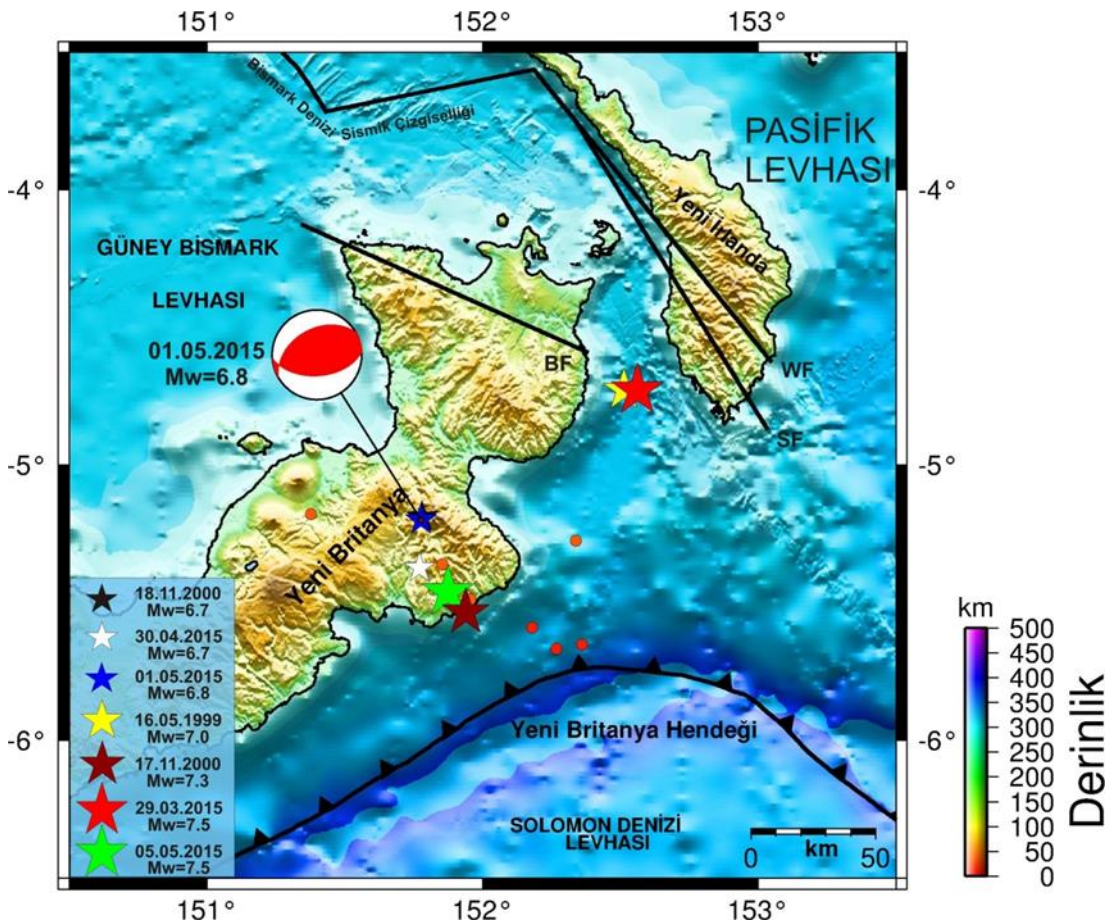
Şekil 3.181. 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi (mavi yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin (mavi yıldız) kayma dağılımı da harita projeksiyonu üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ile 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. 30 Nisan 2015 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.3 m aralıklarla, 1 Mayıs 2015 depremi için konturlar (yeşil çizgi) 0.26 m aralıklarla çizilmiştir



### 3.2.29. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=7.5$ ) sonlu fay analizi

#### 3.2.29.1. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi ( $M_w=7.5$ )

5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ( $M_w=7.5$ ), 2015 büyük deprem silsilesinin son  $M_w \geq 6.5$  depremidir. Depremin episantrı 29 mart 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ( $M_w=7.5$ ) GB'sında yer almaktadır (Şekil. 3.182.).



Şekil 3.182. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi dışmerkez lokasyonu (yeşil yıldız), odak mekanizma çözümü ve bölgeye ait tektonik unsurlar gösterilmiştir. Mekanizma çözümleri Harvard-GCMT (<http://www.globalGCMT.org/>) kataloğundan ve faylar ise Llanes ve. Ark., (2009)'dan alınmıştır. Şekildeki daireler 01 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ile 05 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şeki yanındaki derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Artçı şok parametreleri Amerikan Jeolojik Araştırmalar - Uluslararası Deprem Bilgi Merkezi kataloglarından elde edilmiştir (USGS-NEIC). BF: Baining Fayı; SF:Sapom Fayı; WF: Weitin-Kamdaru Fayı

Bu depremin kaynak mekanizma çözümü ters faylanma ağırlıklı bir faylanmaya işaret etmekle birlikte küçük bir sol-yanal faylanma bileşeni de görülmektedir (Tablo 3.87.).

Tablo 3.87. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çeşitli sismoloji kuruluşları tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

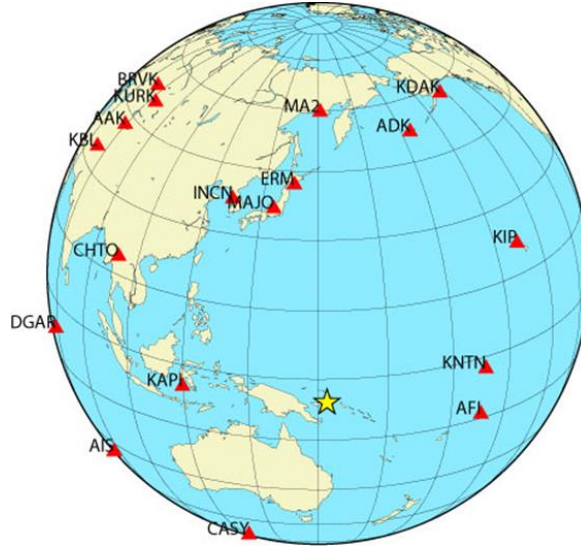
Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik CMT (km)	$M_0$ ( $\times 10^{18}$ ) Nm	Doğrultu ( $^{\circ}$ )	Eğim ( $^{\circ}$ )	Rake ( $^{\circ}$ )	Kaynak
01:44:04.00	-5,462	151,875	55	21,24	244	29	75	USGS-NEIC
01:44:26.60	-5,320	152,10	38,3	19,40	245	33	77	HRV-GCMT

### 3.2.29.2. Kullanılan telesismik veri

5 Mayıs 2015 depreminin ters çözümü için toplam 18 istasyonda kaydedilmiş P ve 3 istasyonda kaydedilmiş SH geniş-bant yerdeğiştirme dalga şekli kullanılmıştır. Ters çözümde kullanılan istasyonlara ait detaylı bilgileri Tablo 3.87.'de verilmiştir. Bu istasyonlara ait azimutal dağılımlar Şekil 3.183.'de gösterilmiştir. Dalga şekillerinin alet etkisi giderilmiş ve 0.01 – 1.0 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre uygulanmıştır. Veriler 0.5 sn örnekleme aralığıyla örneklenmiştir. Depremin büyüklüğü göz önüne alındığında sonlu-fay özelliklerinin belirlenmesi için ters çözümde 80 sn'lik bir zaman enceresinin kullanılması kararlaştırılmıştır.

Tablo 3.88. 5 Mayıs 2105 Yeni Britanya Bölgesi depreminin ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonlar ve dalga türleri

İstasyon	Enlem( $^{\circ}$ )	Boylam( $^{\circ}$ )	Azimut( $^{\circ}$ )	Uzaklık( $^{\circ}$ )	Faz
ADK	51,88	-176,68	21,13	63,30	P,SH
KDAK	57,78	-152,58	26,78	77,31	P
KIP	21,42	-151,08	59,52	55,98	P
KNTN	-2,77	-171,72	87,26	36,40	P
AFI	-13,91	-171,78	105,99	36,76	P,SH
CASY	-66,28	110,54	172,55	71,54	P
AIS	-37,80	77,57	196,75	71,54	P
DGAR	-7,41	72,45	263,50	78,84	P
KAPI	-5,01	72,45	269,28	78,84	P
CHTO	18,81	98,94	296,43	57,30	P,SH
KBL	34,54	69,04	305,09	87,23	P
AAK	42,64	74,49	313,85	84,52	P
KURK	50,72	78,62	322,42	83,80	P
BRVK	53,06	70,28	323,52	89,35	P
INCN	37,58	126,62	333,33	48,96	P
MAJO	36,55	138,20	344,11	43,91	P
ERM	42,02	143,16	351,30	48,14	P
MA2	59,58	150,77	359,38	65,04	P

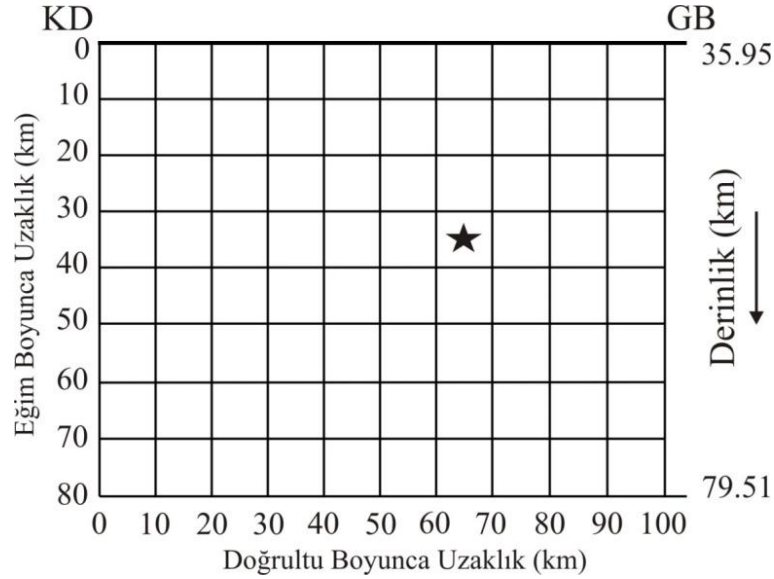


Şekil 3.183. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi sonlu-fay ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımları. Yıldız depremin dışmerkezini göstermektedir

### 3.2.29.3. Sonlu fay model parametrizasyonu

Model fay düzleminin tanımlanmasında HRV-GCMT çözümünden elde edilmiş parametreler (doğrultu  $245^\circ$ , eğim  $33^\circ$  ve rake  $77^\circ$ ) kullanılmıştır. Odak USGS-NEIC'den ( $5.462^\circ\text{G} - 151.875^\circ\text{D}$  ve  $55.0$  km) elde edilmiştir.  $100$  km x  $80$  km boyutlarındaki bir model  $10$  km x  $10$  km boyutlarında  $80$  fay parçasına (doğrultu boyunca  $10$  ve eğim boyunca  $8$  fay parçası) bölünerek model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır (Şekil 3.184.). Ters çözüm denemeleri ile odağın fay düzlemi üzerindeki konumu belirlemeye çalışılacaktır.

Depremin ters çözümü için başlangıçta kırılma hızı ( $V_r$ )  $3.0$  km/sn olarak alınmıştır. En uygun fay modeli belirlendikten sonra çeşitli hızlarda yapılacak ters çözüm denemeleri ile kırılma hızı tespit edilmeye çalışılacaktır. Her bir fay parçası kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü,  $1.0$  sn süreli birbiriyle örtüşen  $8$  üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Böylelikle, model fay düzlemi üzerinde  $9$  sn'lik bir toplam kayma süresine ve  $3.0$  km/sn den daha küçük kırılma hızlarına olanak tanınmıştır.



Şekil 3.184. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi 10 km aralıklarla toplam 80 adet fay parçasına bölünmüştür. Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KD ve GB kenarına olan uzakları (sırasıyla 65 km, 15 km ve 35 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır

#### 3.2.29.4. Modelleme sonuçları ve tartışma

İlk üç ters çözüm denemesinde (Tablo 3.89.'da, Model M1, M2 ve M3 denemeleri) amprik bağıntıların (Blaser ve ark., 2010) önerdiği 70 km x 30 km boyutlarında bir fay düzlemi kırılmayı temsil için kullanılmıştır. Bu denemelerde deprem odağı sırasıyla ortada, KD kenarına yakın ve GB kenarına yakın alınmıştır. Bu denemelerde seçilen kırılma alanının yetersiz geldiği ve odağın GB kenarına yakın konumlandırıldığı bir parametrisasyonun gözlenmiş veriye daha iyi bir uyum verdiği görülmüştür. Böylelikle bundan sonraki denemelerde odak GB kenara yakın konumlandırılmıştır. Faylanma alanının 90 km x 60 km'ye çıkarıldığı ters çözüm denemesi (Model M4) sonucunda da kayma bölgelerinin tam çevrelenemediği görülünce Model M5 denemesinde faylanma alanı 100 km x 80 km'ye çıkarılmıştır. Depreme ait tüm kayma bölgelerinin içerilebildiği görüldüğü gibi hata miktarının da azaldığı görülmüştür. En uygun kırılma hızının ( $V_r$ ) tespiti amacıyla hızların 2.5 ile 3.5 km/sn arasında değiştiği çok sayıda ters çözüm denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda kırılma hızının 3.4 km/sn olduğu ters çözüm denemesi (Model M14) depremi gerçeğe yakın bir şekilde en iyi temsil eden model olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 3.89. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

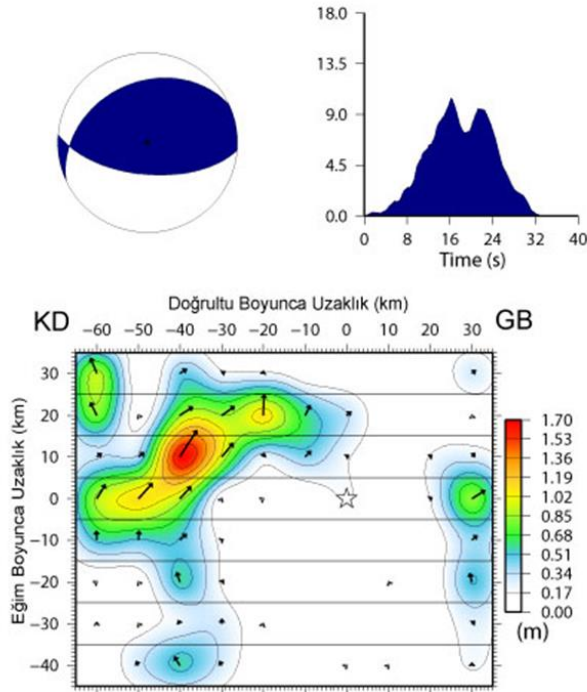
Model Parametrizasyonu										
	Fay Boyutları (km)		Fay Parçası		Odağın Yeri	Kırılma Hızı (km/sn)	Rake Açısı	Mo ( $\times 10^{19}$ )	Hata Miktarı	Kayma Miktarı (m)
	Uz.	Gen.	Sayı	Boyut (km)	M <sub>o</sub> -N <sub>o</sub>					
M1	70	30	42	10x5	4-3	3,0	64,1	8,818	0,29203	4,8
M2	70	30	42	10x5	2-3	3,0	62,4	11,20	0,29379	4,2
M3	70	30	42	10x5	6-3	3,0	66,2	11,29	0,20931	3,4
M4	90	60	54	10x10	8-3	3,0	64,4	11,29	0,19973	1,6
M5	100	80	80	10x10	7-5	3,0	63,5	12,22	0,19461	1,8
M6	100	80	80	10x10	7-5	2,5	63,2	12,27	0,20184	2,5
M7	100	80	80	10x10	7-5	2,6	63,1	12,25	0,20023	2,2
M8	100	80	80	10x10	7-5	2,7	63,2	12,21	0,19853	1,9
M9	100	80	80	10x10	7-5	2,8	63,3	12,21	0,19176	1,7
M10	100	80	80	10x10	7-5	2,9	63,5	12,21	0,19601	1,6
M11	100	80	80	10x10	7-5	3,1	63,6	12,21	0,19318	1,9
M12	100	80	80	10x10	7-5	3,2	63,6	12,17	0,19179	2,0
M13	100	80	80	10x10	7-5	3,3	63,8	12,12	0,19064	1,8
M14	100	80	80	10x10	7-5	3,4	64,1	12,05	0,18993	1,7
M15	100	80	80	10x10	7-5	3,5	64,6	11,97	0,19000	1,4

Depremın kayma dağılım modeli Şekil 3.185.'de gösterilmiş ve hesaplanan yapay dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 3.186.'da karşılaştırılmıştır. Sismik moment ( $M_o$ )  $12.05 \times 10^{19}$  Nm ( $M_w=7.32$ ) olarak hesaplanmıştır. Kayma dağılım modeli hatırı sayılır bir sol yanal bileşene de işaret etmektedir. Ortalama kayma açısı  $64^\circ$  olarak bulunmuştur. Deprem kırılmasının biri büyük diğer ikisi göreceli olarak küçük üç pürüzün yenilmesini içerdiği görülmektedir. Kırılma büyük pürüzün GB sığ kesiminde başlamış ve önce KD'ya doğru doğrultu boyunca 30 km ilerlemiştir. Daha sonra büyük pürüz üzerindeki kırılmanın eğim aşağıya ilerlediği dikkat çekmektedir. 50 km x 30 km bir faylanma alanını örten büyük pürüz üzerinde en büyük kayma genliği 1.7 m'dir. Fayın KD sığ köşesinde büyük pürüzden ayırt edilebilen ve genliği 0.9 m olanküçük pürüzlerden biri yer almaktadır. Fayın GB kenarına yaslanmış diğer bir kayma bölgesi her ne kadar pürüz olarak nitelense de ters çözüm sonucu ortaya çıkmış yapay kayma olasılığı gözardı edilmemiştir. Bu nedenle fay düzleminin daha da uzatıldığı ilave ters çözüm denemelerde de GB kenara yaslanık vaziyette

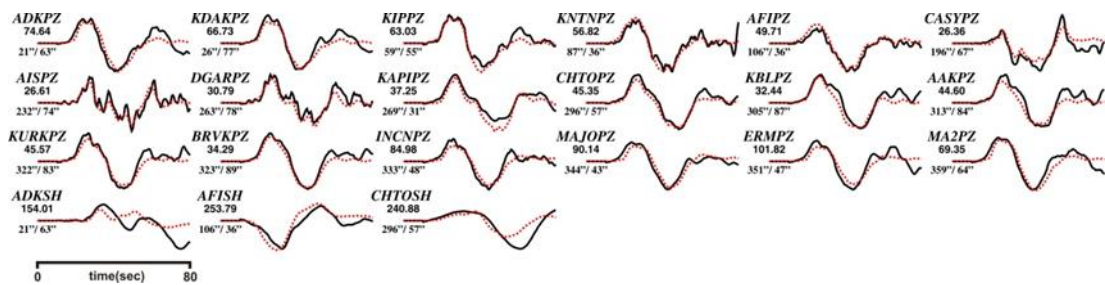
mevcudiyetini sürdürmüştür. Bu kayma bölgesi üzerinde kayma genliği 0.8 m'ye ulaşmaktadır. Hesaplanan moment boşalım fonksiyonu kırılma sürecinin yaklaşık 33 sn sürdüğüne işaret etmektedir (Şekil 3.184.).

### 05 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi Depremi

Moment =  $0.1205E+21$ (Nm),  $M_w = 7.3$   
(Strike,Dip,Slip,h) = (245.0, 33.0, 64.1, 55.0)



Şekil 3.185. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için çalışmada elde edilen odak mekanizma çözümü, moment boşalım fonksiyonu ve kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3.89.'daki Model M14 denemesinin sonucunda elde edilmiştir



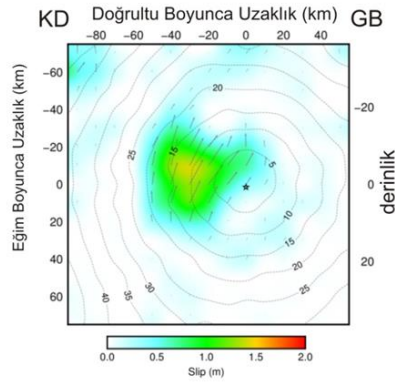
Şekil 3.186. 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenmiş (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model M14 için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir

5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için USGS (2015) ve Heidarzadeh ve ark. (2015) tarafından da sonlu fay modelleri bulunmuştur. USGS (2015) tarafından

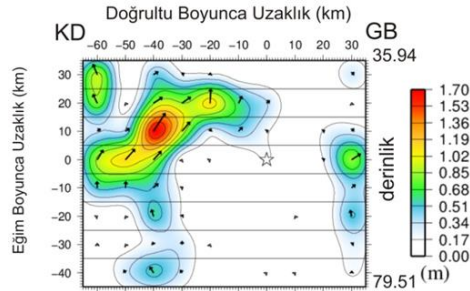


bulunan kayma dağılım modeli ile bu çalışmamızda elde edilen model Şekil 3.187.'de karşılaştırılmıştır. İki model de birbirlerine benzerliğiyle dikkat çekmektedir. USGS (2015) tarafından yapılan çözümde kayma değeri yaklaşık 1.5 m olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise 1.7 m olarak elde edilmiştir. Her iki modelde de odak etrafındaki kayma göreceli olarak önemsizdir ve esas kayma bölgesi odakın KD'sunda konumlanmaktadır. Bu çalışmada GB kenarına yaklaşık olan kayma bölgesi USGS (2015) modelinde mevcut değildir. Yukarıda bu kayma bölgesinin yapay olabileceği konusundaki tartışma dikkate alındığında USGS (2015) modelinde yapay olduğunu önerdiği ifade edilebilir. İki model arasındaki en önemli fark depremi oluşturan pürüzlerin boyutlarındadır. USGS (2015) 20 km x 20 km'lik bir alanı, bu çalışma ise yaklaşık 50 km x 30 km'lik bir pürüz alanı örten büyük pürüz önermektedir. Bu iki çalışmanın yanında Heidarzadeh ve ark. (2015) tarafından ortaya konulan model de bu çalışma ve USGS (2015) tarafından ortaya konulan modelleri desteklemektedir. Bu araştırmacılar 1.7 m'lik bir kayma genliği hesaplamıştır.

Sonlu Fay Modellemesi (USGS-NEIC, 2015)

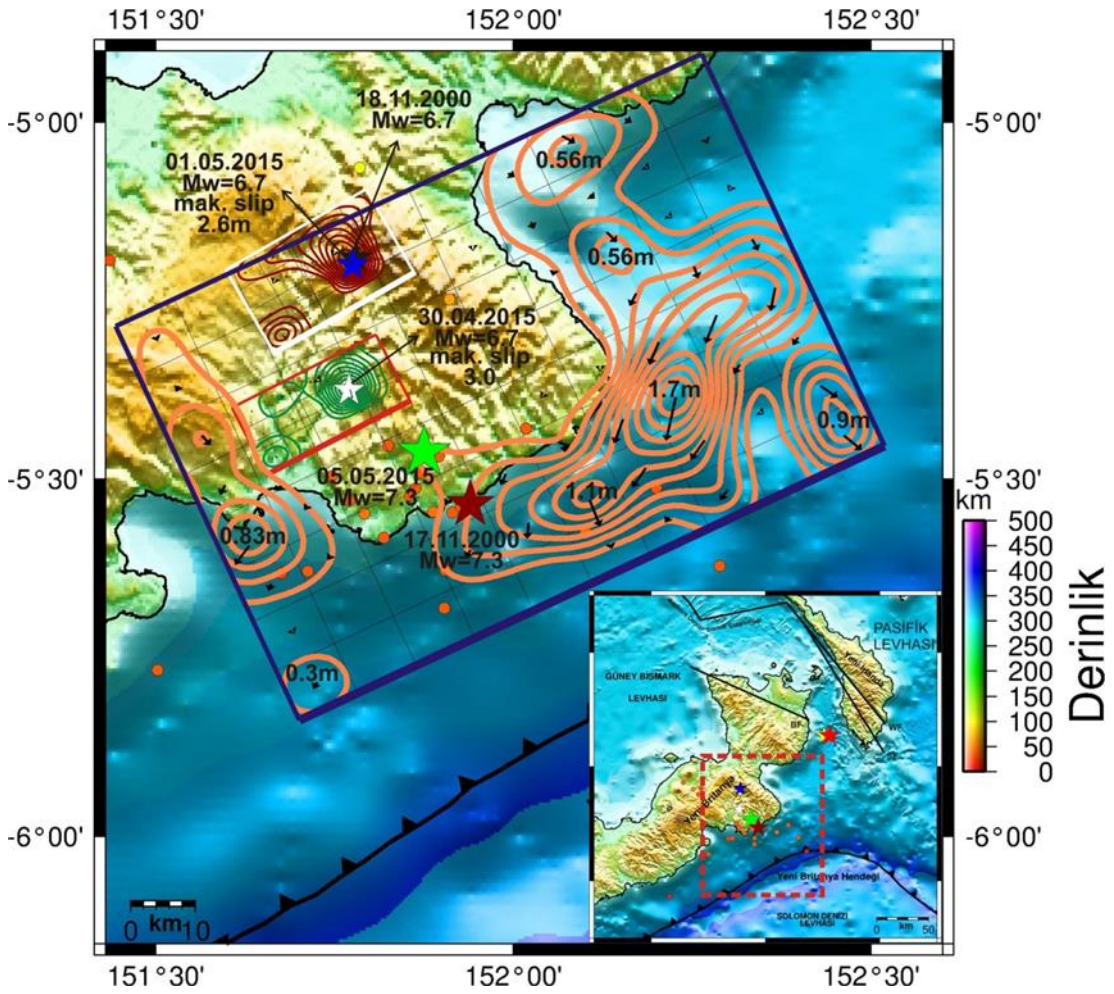


Sonlu Fay Modellemesi (Bu çalışma)



Şekil 3.187. 05 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için USGS-NEIC (2015) (üstte) ve bu çalışmada (altta) elde edilen sonlu fay modellerinin karşılaştırılması

5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi için ters çözüm sonucunda elde edilen kayma dağılım modeli harita izdüşümü bu depremin kırılma düzlemi civarında oluşmuş önceki depremlerin kayma dağılımlarının izdüşümleri ile Şekil 3.187.'de gösterilmiştir. Önceki depremlerin kırılmalarının 5 Mayıs 2015 depreminin kayma boşluklarında toplanması bu şekilden yapılacak en önemli çıkarımdır.



Şekil 3.188. 05 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi (yeşil yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Aynı zamanda bu depremden önce meydana gelen 30 Nisan 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ve 01 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depreminin kayma dağılım modelleri de şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki daireler 1 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi ile 5 Mayıs 2015 Yeni Britanya Bölgesi depremi arasında meydana gelmiş  $M_w \geq 3.0$  artçı şokları ifade etmektedir. Şekil yanında verilen derinlik göstergesi bu depremlere aittir. Kırmızı çerçevesi alan 30 Nisan 2015 depreminin faylanma alanını, beyaz çerçevesi alan 01 Mayıs 2015 depreminin faylanma alanını ve lacivert çerçevesi alan 05 Mayıs 2015 depreminin faylanma alanını göstermektedir. 30 Nisan 2015 depremi için konturlar (yeşil çizgi) 0.3 m, 01 Mayıs 2015 depremi için konturlar (kırmızı çizgi) 0.26 m aralıklarla ve 05 Mayıs 2015 depremi için konturlar (turuncu çizgi) 0.17 m aralıklarla çizilmiştir

### 3.3. Coulomb gerilme değişimleri analizleri

Bu tez çalışmasında gerilme değişimi modellemeleri için başlangıç zaman eğiği önceki bölümlerde kayma dağılımı modellenmiş ilk deprem olan 13 Ekim 1993 Doğu Yeni Gine depremi olarak alınmıştır. Gerilme değişimleri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanmış ve gösterilmiştir. Daha sonra kaynak ve hedef deprem üçüncü depremin gerilme değişimlerinden tetiklenip tetiklenmediğinin kontrol edilmesi için kaynak alınarak gerilme değişimleri hesaplanmıştır. Bu süreç benzer olarak çalışmada irdelenecek tüm depremler için tekrarlanmıştır. Yapılan hesaplamalar yorumlanırken metin içinde tüm depremler tekrarlardan kaçınmak ve okuyucuyu sıkmamak için sadece tarihleri ile adlandırılacaktır. Tüm şekillerde mavi renk gerilmedeki düşüşü ve kırmızı renkte gerilmedeki artışı göstermektedir.

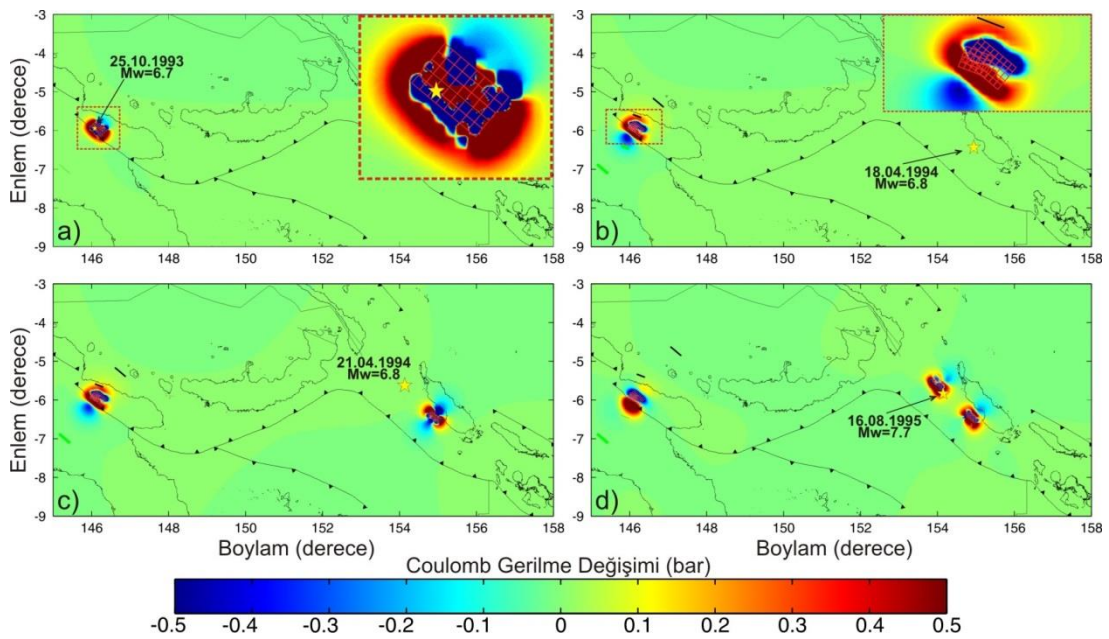
Coulomb gerilme değişimi hesaplamalarında kullanılacak olan kaynak veya alıcı fay düzlemleri olarak belirlenen depremlere ait bu tez çalışması içinde hesaplanmış kırılma parametreleri (doğrultu, eğim, kayma açısı ve kayma miktarı) ve faylanma alanı boyutları (fay uzunluğu ve genişliği) Tablo 3.90.'da detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 3.90. Gerilme değişimleri hesaplanacak depremlerin kırılma parametreleri ve faylanma alanı boyutları

No	Tarih	M <sub>w</sub>	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Kayma Açısı (°)	Fay Uzunluğu (km)	Fay Genişliği (km)	En Büyük Kayma (m)
1	13.10.1993	6.9	310	08	95	40	25	4.0
2	25.10.1993	6.7	291	20	63	25	20	3.4
3	18.04.1994	6.8	131	45	96	35	25	3.7
4	21.04.1994	6.8	131	41	92	40	25	2.5
5	16.08.1995	7.7	320	48	73	150	60	4.5
6	29.04.1996	7.2	138	45	92	45	25	3.3
7	14.10.1996	6.9	302	31	79	45	20	4.1
8	16.05.1999	7.0	262	28	97	55	25	3.1
9	17.11.1999	6.9	279	35	92	35	30	3.6
10	19.11.1999	7.1	275	25	96	70	60	1.7
11	29.10.2000	7.1	140	33	94	88	48	1.4
12	16.11.2000A	8.1	145	84	-14	200	40	10.1
13	16.11.2000B	7.5	253	15	92	110	50	7.5
14	17.11.2000	7.3	230	24	62	100	50	2.1
15	18.11.2000	6.7	243	37	78	25	25	1.3
16	19.04.2001	6.6	319	28	98	20	15	5.0
17	31.10.2001	6.9	266	25	92	50	20	3.1
18	11.03.2003	6.8	324	60	30	50	20	2.1
19	01.09.2006	6.8	301	42	85	35	15	3.6
20	17.10.2006	6.6	43	36	101	25	15	2.9
21	01.04.2007	8.1	305	25	63	250	80	4.8
22	28.06.2007	6.6	40	60	172	25	15	4.1
23	26.09.2007	6.7	138	44	85	40	35	0.7
24	11.04.2014	7.1	134	48	93	45	30	3.8
25	19.04.2014	7.4	311	35	91	70	30	8.8
26	29.03.2015	7.5	260	29	81	110	80	2.0
27	30.04.2015	6.7	243	39	87	25	15	3.0
28	01.05.2015	6.7	240	42	72	25	20	2.6
29	05.05.2015	7.3	245	33	64	100	80	1.7

13 Ekim 1993 depreminin 25 Ekim 1993 depremi kırılma düzlemi üzerinde 21 km odak derinliğinde hesaplanan gerilme değişimi Şekil 3.189.a.'da gösterilmiştir. Şekil 3.189.a. 25 Ekim 1993 depremi odağının 13 Ekim 1993 depreminden kaynaklanan gerilme artış bölgesinde yer aldığını açıkça göstermektedir. Bu durum 25 Ekim 1993 depreminin tetiklendiği ya da bu iki deprem arasında gerilme etkileşimi olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Şekil 3.189.b. 13 Ekim 1993 ve 25 Ekim 1993 depreminin kaynak alınmasıyla 18 Nisan 1994 depremi kırılma düzlemi üzerinde hesaplanan gerilme değişimlerini ifade etmektedir. Görüldüğü üzere 18 Nisan 1994 depremi ile önceki iki deprem arasında aralarındaki uzaklık nedeniyle herhangi bir gerilme

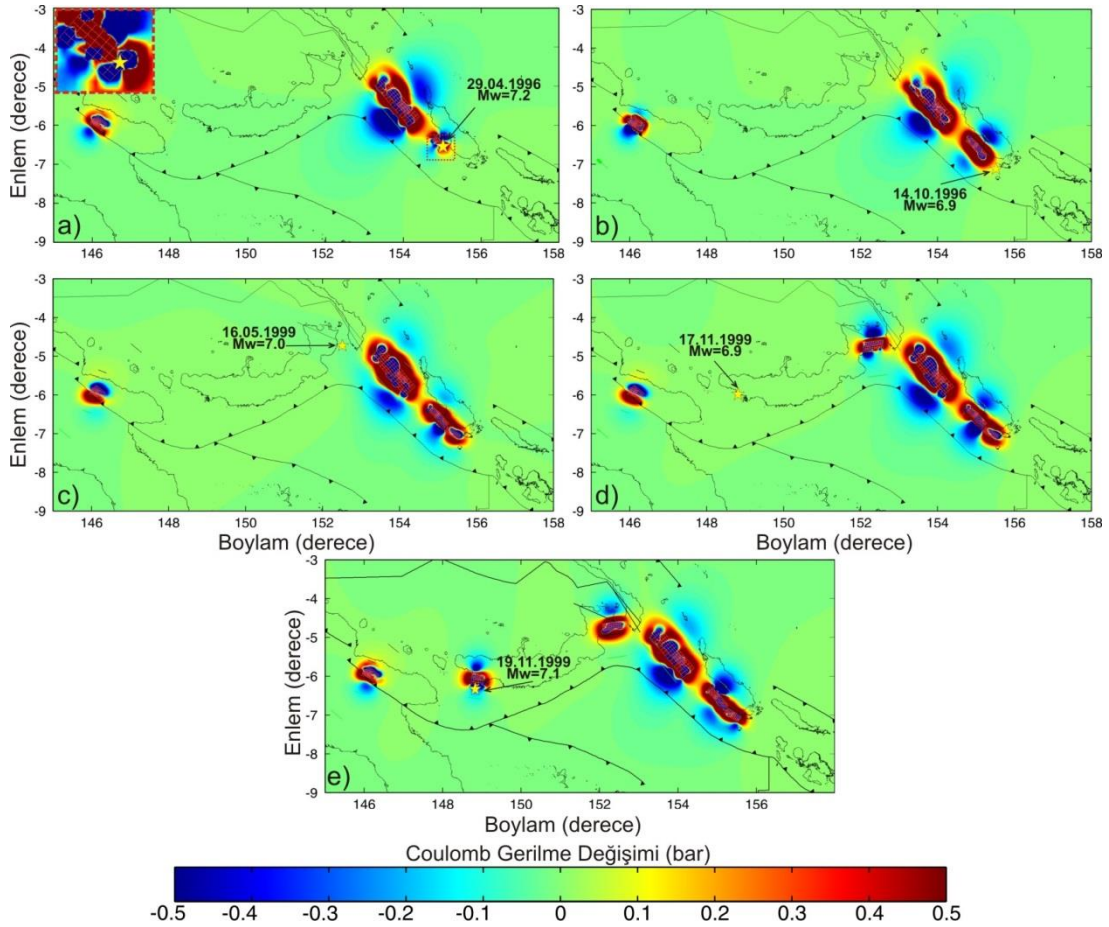
etkileşimi bulunmamaktadır. Şekil 3.189.c.'de gösterilen gerilme değişim haritası dördüncü deprem olan 21 Nisan 1994 depreminin önceki üç depremden dolayı çok zayıf bir gerilme artışına maruz kaldığını göstermektedir. Bu depremlerden sonra meydana gelen 16 Ağustos 1995 depremi gerilme değişimi analizi Şekil 3.189.d.'de verilmiştir. Önceden meydana gelmiş dört depremin kaynak olarak alınmasıyla gerilme değişimi araştırılan bu depremin özellikle 21 Nisan 1994 depreminin gerilme değişiminden dolayı kuvvetli bir gerilme artışına maruz kaldığını ve tetiklendiğini ima etmektedir (Şekil 3.189.d.).



Şekil 3.189. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 1993-1995 yılları arasındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları a) 13 Ekim 1993 depreminin 25 Ekim 1993 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=291°, eğim=20°, rake=63°) üzerinde 21 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, b) 13-25 Ekim 1993 depremlerinin 18 Nisan 1994 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=131°, eğim=45°, rake=96°) üzerinde 35 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, c) 1993 ve 18 Nisan 1994 depremlerinin 24 Nisan 1994 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=131°, eğim=41°, rake=92°) üzerinde 35 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, d) 1993 ve 1994 depremlerinin 16 Ağustos 1995 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=320°, eğim=48°, rake=73°) üzerinde 46 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri. Gerilme değişimlerinin farkedilebilmesi için a ve b'de dörtgenler içine alınmış alanları büyütülmüş hallerinin iç şekiller olarak verildiğine dikkat ediniz. Hesaplamalarda kullanılan odak ve faylanma parametreleri için sırasıyla Tablo 3.1. ve 3.90.'a bakınız. Levha sınırları ve faylar Tregoning ve ark., (1998) ve Llanes ve ark., (2009)'dan derlenmiştir

29 Nisan 1996 depremi öncesi gerilme değişiminin elde edilmesi için yapılan modellemelerde bu depremden önce meydana gelen depremler kaynak deprem olarak tanımlanmış ve Şekil 3.190.a.'da verilen gerilme değişim modeli bulunmuştur. 29 Nisan 1996 depreminin odağının özellikle 18 Nisan 1994 depremi kırılmasının oluşturduğu gerilme artış bölgesinde yer alıyor olması dikkat çekicidir. Dolayısıyla bir gerilme etkileşimi ve bunun sonucu bir tetikleme meydana geldiği söylenebilir. Şekil 3.190.b.'de 14 Ekim 1996 depremi öncesinde meydana gelen tüm depremler tarafından oluşturulmuş gerilme değişimleri gösterilmektedir. 14 Ekim 1996 depreminin odak bölgesinin kuvvetli bir gerilme artışına maruz kaldığı ve bu gerilme artışının özellikle 29 Nisan 1996 depremi nedeniyle meydana geldiği görülebilir. Şu ana kadar incelenen tüm depremler kaynak olarak kabul edilip 16 Mayıs 1999 depremi kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan gerilme değişimleri (Şekil 3.190.c.), 16 Mayıs 1999 depreminin bir gerilme artışına maruz kalmadığını önermektedir. Benzer bir durum 17 Kasım 1999 depremi için de söz konusudur (Şekil 3.190.d.). Bu depremin konumu olarak gerilme hesaplamalarında kullanılan deprem kırılmalarından etkilenmeyecek kadar uzakta yer almaktadır. Yine bu depremin kısa bir süre sonrasında ve oldukça yakın bir konumda meydana gelen 19 Kasım 1999 depremi odağı gerilmenin azaldığı bölgeye düşmektedir (Şekil 3.190.e.). Bu durum levahalar arası yüzeyde deprem oluşumlarında da ya da tetiklenmelerinde sadece kosismik gerilme artışlarının etkin olmadığı şeklinde yorumlanmıştır.

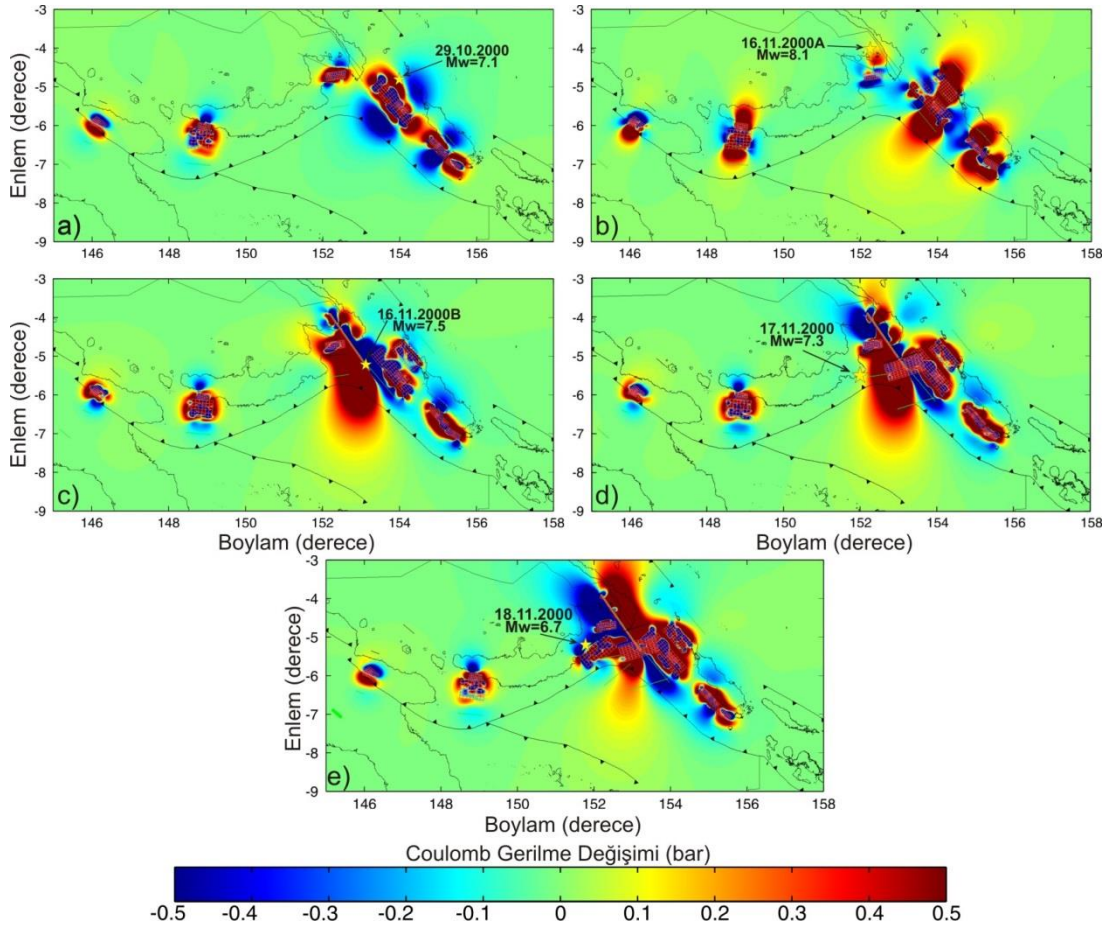




Şekil 3.190. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 1996-1999 yılları arasındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları a)1993, 1994, 1995 depremlerinin 29 Nisan 1996 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=138°, eğim=45°, rake=92°) üzerinde 35 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, b) 1993, 1994, 1995 ve 29 Nisan 1996 depremlerinin 14 Ekim 1996 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=302°, eğim=31°, rake=79°) üzerinde 25 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, c) 1993, 1994, 1995 ve 1996 depremlerinin 16 Mayıs 1999 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=262°, eğim=28°, rake=97°) üzerinde 45 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, d) 1993, 1994, 1995, 1996 ve 16 Mayıs 1999 depremlerinin 17 Kasım 1999 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=279°, eğim=35°, rake=92°) üzerinde 45 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, e) 1993, 1994, 1995, 1996, 16 Mayıs ve 17 Kasım 1999 depremlerinin 19 Kasım 1999 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=275°, eğim=25°, rake=96°) üzerinde 35 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri. Hesaplamalarda kullanılan odak ve faylanma parametreleri için sırasıyla Tablo 3.1. ve 3.90.'a bakınız. Levha sınırları ve faylar Tregoning ve ark., (1998) ve Llanes ve ark., (2009)'dan derlenmiştir

2000 yılında Yeni Britanya Hendeği'nin büküm yaptığı bölgenin kuzeyinde, Yeni Britanya Adası'nın doğusunda bir büyük deprem silsilesi oluşmuş ve bu çalışmada incelenmiştir. Şekil 3.189.a. ve 3.190.b.'de gerilme etkileşimleri araştırılan 10 depremin (1993, 1994, 1995, 1996 ve 1999) bu silsileye olan etkisinin yanısıra silsile içindeki depremlerin kendi aralarındaki etkileşimlerinin araştırılması merak uyandıracaktır. Şekil 3.191.a. bu silsilenin ilk depremi olan 29 Ekim 2000 depremi kırılma düzlemine paralel düzlemler üzerinde hesaplanan gerilme değişimlerini

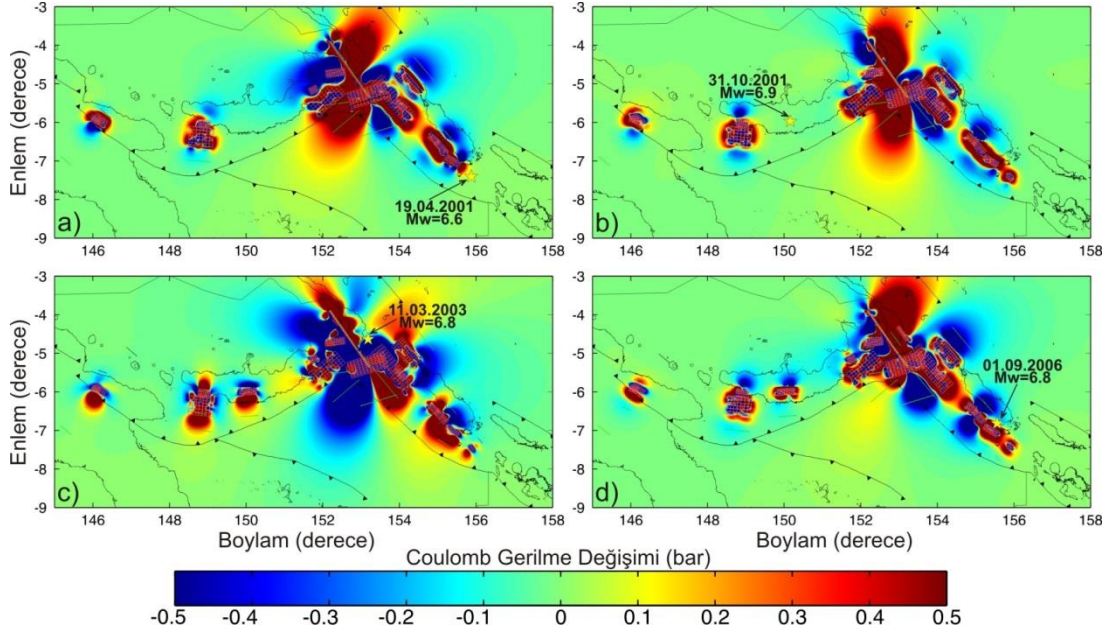
göstermektedir. Özellikle yakındaki 21 Nisan 1994 ve 16 Ağustos 1995 depremlerinin 29 Ekim 2000 depremi odağı civarında güçlü bir gerilme artışı oluşturduğu görülmektedir. Silsiledeki ikinci deprem olan 16 Kasım 2000A depremi kırılma düzlemine paralel düzlemler üzerindeki gerilme değişimleri haritalandığında (Şekil 3.191.b.). Özellikle 16 Mayıs 1999 depreminin bu depremin odağının olduğu alanda 0.1 bar'dan fazla gerilme artışına neden olduğu görülebilir. 16 Kasım 2000A depreminden kısa süre sonra aynı gün içerisinde meydana gelen 16 Kasım 2000B depreminin kırılma düzlemi üzerinde hesaplanan ve odak derinliğinde haritalanan (Şekil 3.191.c.) gerilme değişimleri kuvvetli bir gerilme artışına işaret etmektedir. Bu kuvvetli gerilme yüklemesinin çoğunun 16 Kasım 2000A depreminden kaynaklandığı oldukça açıktır. Deprem silsilesinin bir başka önemli depremi olan 17 Kasım 2000 depremi için gerilme değişimleri hesaplandığında deprem odağının az da olsa gerilme etkileşiminin pozitif olduğu bölgede yer aldığı görülebilir (Şekil 3.191.d.). Burada önemle belirtmelidir ki 17 Kasım 2000 depreminin pozitif anlamda gerilme etkileşimini sağlayan deprem 16 Kasım 2000A depremidir. Bu silsilenin son parçası olan 18 Kasım 2000 depremi için önceki tüm depremler kaynak alınarak yapılan gerilme değişimleri haritalandığında bu deprem odağının gerilmenin düştüğü bir alanda konumlandığı farkedilebilir (Şekil 3.191.e.). Bu deprem silsilesi Park ve Mori (2007a) tarafından da çalışılmıştır. Araştırmacılar, 29 Ekim 2000 depreminin 16 Kasım 2000A depremine çok az bir gerilme yüklemesi yaptığını, 16 Kasım 2000A depreminin 16 Kasım 2000B depremini kuvvetli bir şekilde pozitif yönde gerilme değişimine maruz bıraktığını ve özellikle 16 Kasım 2000A depreminin 17 Kasım 2000 depremini tetiklediği yönde sonuçlar ortaya koymuşlardır. 18 Kasım 2000 depremi bu makalede çalışılmamıştır. Park ve Mori (2007a)'nin hesapladığı sonlu-fay kayma dağılımları bu çalışmada bulunanlardan biraz farklı olsa da gerilme etkileşimleri açısından benzer sonuçlara erişilmesi ve çoğunlukla silsiledeki depremlerin gerilme tetiklemesi olarak nitelendirilebilecek şekilde oluşumları kayda değerdir.



Şekil 3.191. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 2000 yılındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları a) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999 depremlerinin 29 Ekim 2000 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=140°, eğim=33°, rake=94°) üzerinde 45 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, b) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999 ve 29 Ekim 2000 depremlerinin 16 Kasım 2000A depremi kırılma düzlemi (doğrultu=145°, eğim=84°, rake=-14°) üzerinde 30 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, c) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 29 Ekim 2000 ve 16 Kasım 2000A depremlerinin 16 Kasım 2000B depremi kırılma düzlemi (doğrultu=253°, eğim=15°, rake=92°) üzerinde 32 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, d) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 29 Ekim 2000 ve 16 Kasım 2000A-B depremlerinin 17 Kasım 2000 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=230°, eğim=24°, rake=62°) üzerinde 37 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, e) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 29 Ekim 2000, 16 Kasım 2000A-B ve 17 Kasım 2000 depremlerinin 18 Kasım 2000 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=243°, eğim=37°, rake=78°) üzerinde 45 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri. Hesaplamalarda kullanılan odak ve faylanma parametreleri için sırasıyla Tablo 3.1. ve 3.90.'a bakınız. Levha sınırları ve faylar Tregoning ve ark., (1998) ve Llanes ve ark., (2009)'dan derlenmiştir

Şekil 3.192.a. ve Şekil 3.192.b. sırasıyla 19 Nisan 2001 ve 31 Ekim 2001 depremleri için yapılan gerilme modellemesi sonuçlarını yansıtmaktadır. Her iki depreminde önceki depremlerden dolayı gerilmenin 0.1 bar arttığı bölgelerde yerleşmiş odaklarının bulunduğu görülebilir. Ancak, 11 Mart 2003 depremi odağının önceki depremlerden dolayı gerilme gölgesi oluşan bir alanda yerleştiği görülmüştür (Şekil

3.192.c.). Özellikle bu depremin neden olduğu gerilme artışının 1 Eylül 2006 depremi odağını etkilediği görülebilir (Şekil 3.192.d.).

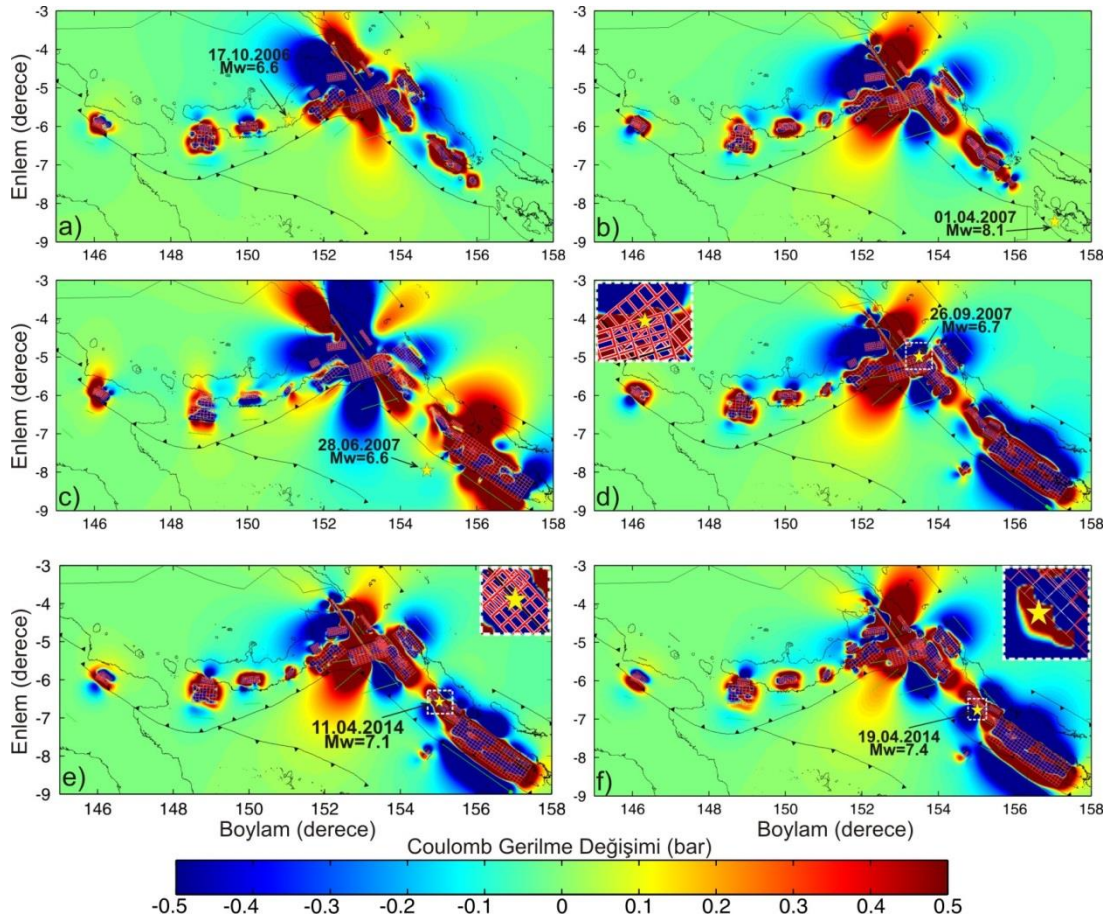


Şekil 3.192. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 2001-2006 yılları arasındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları a) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000 depremlerinin 19 Nisan 2001 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=319°, eğim=28°, rake=98°) üzerinde 25 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, b) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000 ve 19 Nisan 2001 depremlerinin 31 Ekim 2001 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=266°, eğim=25°, rake=92°) üzerinde 34 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, c) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 19 Nisan ve 31 Ekim 2001 depremlerinin 11 Mart 2003 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=324°, eğim=60°, rake=30°) üzerinde 41 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, d) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 19 Nisan 2001, 31 Ekim 2001 ve 11 Mart 2003 depremlerinin 1 Eylül 2006 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=301°, eğim=42°, rake=85°) üzerinde 38 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri. Hesaplamalarda kullanılan odak ve faylanma parametreleri için sırasıyla Tablo 3.1. ve 3.90.'a bakınız. Levha sınırları ve faylar Tregoning ve ark., (1998) ve Llanes ve ark., (2009)'dan derlenmiştir

17 Ekim 2006 ve 1 Nisan 2007 depremleri kırılma düzlemlerine paralel uzanan düzlemler üzerinde önceki depremlerce neden olunan gerilme değişimleri sırasıyla Şekil 3.193.a. ve Şekil 3.193.b.'de gösterilmiştir. 2006 depremlerinin odağı küçük de olsa gerilme artışının olduğu bir alanda yer alırken 2007 depreminin önceki depremlerin gerilme değişimlerinden etkilenmediği görülmektedir. 2007 deprem silsilesi içinde yer alan diğer iki deprem (28 Haziran ve 26 Eylül 2007 depremleri) öncesi gerilme değişimlerinin gösterildiği Şekil 3.192.c. ve Şekil 3.192.d. her iki deprem odağında da gerilme artışına işaret etmektedir. Bu gerilme artışı ilk deprem için çok küçük olmasına rağmen 26 Eylül 2007 depremi için oldukça güçlüdür.

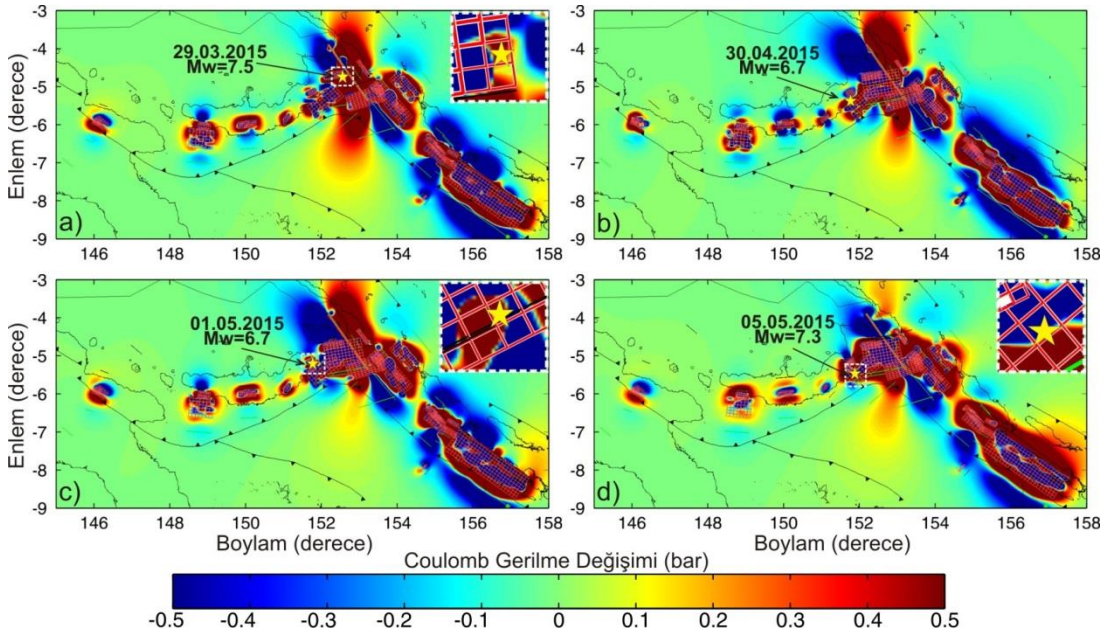


Çalışmada incelenen 2014 yılındaki iki deprem öncesi gerilme değişimlerinin durumu Şekil 3.192.e. ve Şekil 3.192.f.'de gösterilmiştir. 11 Nisan 2014 depremi odağının gerilmenin azaldığı 19 Nisan 2014 depreminin ise gerilmenin arttığı alanlarda yerleştiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.193. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 2006-2014 yılları arasındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları a) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003 ve 01 Eylül 2006 depremlerinin 17 Ekim 2006 depremi kırılma düzlemi (doğrultu= $43^\circ$ , eğim= $36^\circ$ , rake= $101^\circ$ ) üzerinde 33 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, b) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006 depremlerinin 1 Nisan 2007 depremi kırılma düzlemi (doğrultu= $305^\circ$ , eğim= $25^\circ$ , rake= $63^\circ$ ) üzerinde 24 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, c) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006 ve 01 Nisan 2007 depremlerinin 28 Haziran 2007 depremi kırılma düzlemi (doğrultu= $40^\circ$ , eğim= $60^\circ$ , rake= $172^\circ$ ) üzerinde 18 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, d) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006, 01 Nisan 2007 ve 28 Haziran 2007 depremlerinin 26 Eylül 2007 depremi kırılma düzlemi (doğrultu= $138^\circ$ , eğim= $44^\circ$ , rake= $85^\circ$ ) üzerinde 30 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, e) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006 ve 2007 depremlerinin 11 Nisan 2014 depremi kırılma düzlemi (doğrultu= $134^\circ$ , eğim= $48^\circ$ , rake= $93^\circ$ ) üzerinde 37 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, f) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007 ve 11 Nisan 2014 depremlerinin 19 Nisan 2014 depremi kırılma düzlemi (doğrultu= $311^\circ$ , eğim= $35^\circ$ , rake= $91^\circ$ ) üzerinde 43 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri. Gerilme değişimlerinin farkedilebilmesi için d, e ve f'de dörtgenler içine alınmış alanlarının büyütülmüş halleri iç şekiller olarak verildiğine dikkat ediniz. Hesaplamalarda kullanılan odak ve faylanma parametreleri için sırasıyla Tablo 3.1. ve 3.90.'a bakınız. Levha sınırları ve faylar Tregoning ve ark., (1998) ve Llanes ve ark., (2009)'dan derlenmiştir

2015 deprem silsilesindeki depremler öncesi gerilme değişimlerinin durumları Şekil 3.193.'de verilmiştir. 29 Mart, 30 Nisan ve 1 Mayıs 2015 depremlerinin pozitif gerilme değişimlerinden etkilenmiş alanlarda odaklarının yer aldığı sırasıyla Şekil 3.192.a., Şekil 3.193.b. ve Şekil 3.193.c.'de görülebilir. Bu pozitif değişimlerin özellikle silsile içinde daha önce oluşmuş depremler kaynaklı olması silsileye ait bu depremlerin uzay ve zaman ortamlarında yakın şekilde oluşmalarında gerilme etkileşimlerinin payı olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Şekil 3.193.d.'de gösterilen 5 Mayıs 2015 depremi öncesi gerilme değişimleri haritası incelendiğinde bu deprem odağının gerilme değişimlerinin pozitiften negatife döndüğü sınır üzerinde yer aldığı belirlenmiştir.



Şekil 3.194. Çalışmada sonlu-fay kayma dağılım modelleri bulunan 2015 yılındaki depremlere ait her biri bir sonraki depremin kırılma düzlemi üzerinde ve odak derinliğinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişim haritaları a) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007 ve 2014 depremlerinin 29 Mart 2015 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=260°, eğim=29°, rake=81°) üzerinde 41 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, b) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2014 ve 29 Mart 2015 depremlerinin 30 Nisan 2015 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=243°, eğim=39°, rake=87°) üzerinde 31 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, c) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2014, 29 Mart 2015 ve 30 Nisan 2015 depremlerinin 01 Mayıs 2015 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=240°, eğim=42°, rake=72°) üzerinde 44 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri, d) 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2014, 29 Mart 2015, 30 Nisan 2015 ve 01 Mayıs 2015 depremlerinin 05 Mayıs 2015 depremi kırılma düzlemi (doğrultu=245°, eğim=33°, rake=64°) üzerinde 55 km derinlikte neden olduğu gerilme değişimleri. Gerilme değişimlerinin farkedilebilmesi için a, c ve d'de dörtgenler içine alınmış alanlarının büyütülmüş halleri iç şekiller olarak verildiğine dikkat ediniz. Hesaplamalarda kullanılan odak ve faylanma parametreleri için sırasıyla Tablo 3.1. ve 3.90.'a bakınız. Levha sınırları ve faylar Tregoning ve ark., (1998) ve Llanes ve ark., (2009)'dan derlenmiştir



Böylelikle çalışmada sonlu-fay analizleri yapılmış tüm depremler için gerilme değişimi hesaplamalarının giriş kısmında bahsedildiği üzere her deprem kırılma düzlemi ve odağında önceden meydana gelmiş depremlerin kaynak olarak alınmasıyla gerilme değişim modelleri elde edilmiştir. Yapılan bu analizler sonucu beklendiği gibi çoğu depremin bir sonraki deprem üzerinde pozitif yönde bir gerilme etkileşimi içerisinde olduğu elde edilmiştir. Analizlerde beklenenin aksine gerçekleşen en önemli sonuç 19 Kasım 1999 depreminin herhangi bir gerilme etkileşimi içerisinde bulunmadığının tespiti olmuştur.

### **3.4. Tartışma**

#### **3.4.1. Pürüz örüntüleri ve gerilme etkileşimleri**

Fay pürüzleri fay yüzeyleri üzerinde yüksek tektonik gerilmeler toplayabilen izole alanlar olarak nitelendirilmiştir (Lay ve Kanamori 1980). Bir fay yüzeyi üzerinde kırılacak pürüz sayısı ve bu pürüz veya pürüzlerin boyutları ilgili depremin büyüklüğünü belirleyecektir (Ruff ve Kanamori, 1983; Nagai ve ark., 2001). Örnek olarak Nagai ve ark. (2001) Japonya doğusundaki dalma batma zonunda tek bir pürüz kırılmasının büyüklüğü 7 ve birden fazla pürüzün kırılmasının da büyüklüğü 8 ölçüsünde depremleri oluşturduklarını gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda pürüzler fay zonları üzerinde geometrik süreksizlikler oluşturduklarından deprem kırılmalarını durduracak heterojeniteyi de sağlarlar. Bu durumda gelecekte oluşacak depremlerin kırılma boyutlarının ve dolayısıyla büyüklüklerinin belirlenmesi bağlamında da bilgi sağlayabilirler. Bu nedenle kırılmaları durduran pürüzler bariyer olarak isimlendirilmişlerdir (Aki, 1979 ve 1984). Bariyerler sadece deprem kırılmalarını durdurmakla kalmazlar; gelecekteki deprem kırılmalarının başlangıç noktalarını da oluşturacak gerilme konsantrasyon alanlarıdır.

Dalma-batma zonlarındaki levha hızlarının kıtasal fay zonlarından kat kat fazla olması dalma-batma zonlarındaki büyük deprem tekrarlanmalarını oldukça düşürmektedir. Kıtasal sınır transformları olan Kuzey Anadolu ve San Andreas Fay Zonları boyunca levha hızları sırasıyla yaklaşık 25 ve 35 mm/yıl'dır (Smith ve

Sandwell, 2006; Reilinger ve ark., 2006; Liu-Zeng ve ark., 2006; Lundgren ve ark., 2009). Buna bağı olarak 7.5-8.0 büyüklüğündeki bir deprem Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca 200-400 yılda bir tekrarlarlarken San Andreas Fayı boyunca 100-200 yıl boyunca tekrarlamaktadır (Weldon ve ark., 2004; Şengör ve ark., 2005; Smith ve Sandwell, 2006; Akciz ve ark., 2009; Utkucu ve ark., 2009). Ancak, bu çalışmada odaklanılan Güney Pasifik'teki Yeni Gine bölgesinde levha hızları 90-100 mm/yıl kadar yükselmektedir (Tregoning, 2002; Wallace ve ark., 2004; Stanaway, 2008). Dalma-batma zonlarındaki levhalar arası yüzeylerin kıtasal fay zonlarına göre çok geniş olması da eklendiğinde Yeni Gine bölgesinde 7.5-8.0 büyüklüğündeki depremlerin tekrarlanmaları 30 yıla kadar düşmektedir (Lay ve Kanamori, 1980; Park ve Mori, 2007b). Bu durumda önceki depremlerde belirlenen pürüz alanlarının sonraki depremlerle tekrar kırılıp kırılmadıkları önem arz eden bir soru olarak ortaya çıkmakta ve Yeni Gine Bölgesi bu sorunun cevaplandırılması için uygun bir araştırma sahası oluşturmaktadır. Eğer geçmişteki depremlerin pürüz alanları sonraki depremlerde de benzer kayma büyüklüklü pürüz alanları olarak kırılıyorsa bu durum deprem tehlikesinin belirlenmesi açısından büyük bir önem taşıyacaktır. Çünkü Yeni Gine Bölgesi'nde oluşan büyük bir depremde belirlenen pürüz alanı 20-30 yıl kadar kısa bir gelecekte benzer büyüklükte bir depremle kırılacaktır.

Faylar üzerinde benzer uzunlukların benzer yer değiştirmelerle kırılması kıtasal fay zonlarında belirlenmiş ve karakteristik deprem hipotezi ortaya atılmıştır (Schwartz and Coppersmith, 1984; Sieh, 1996). Acaba dalma-batma zonlarında da durum böyle midir? Japonya doğusunda yer alan dalma-batma zonu levhalar arası yüzeyinde karakteristik deprem oluşumları belirlenmiştir (Nagai ve ark., 2001; Igarashi ve ark., 2003; Yamanaka ve Kikuchi, 2004). Yani, bu dalma-batma zonunda karakteristik benzer şekilde ve düzenli aralıklarla kırılan pürüzler belirlenmiştir. Bununla birlikte, Schwartz (1999), Pasifik levhası etrafındaki sınırlarda tekrarlayan büyük depremlerde karakteristik pürüz kırılmalarını görmemiştir. Benzer bir sonuç bu çalışmanın araştırma sahasıyla örtüşen ancak mekan ve zaman olarak daha sınırlı bir çalışmada da (Park ve Mori, 2007b) elde edilmiştir. 25-30 yıl içinde Yeni Britanya Hendeği üzerinde meydana gelmiş ve levha sınırının aynı kısmını kırmış depremlerin kırılmaları büyük ölçüde örtüşmelerine rağmen pürüz bölgeleri yani kaymanın

göreceli olarak yüksek olduğu alanlar örtüşmemektedir. Yani bu deprem kırılmaları karakteristik değildir.

Yukarıda değinildiği üzere bu çalışmanın kapsadığı mekan ve zaman Park ve Mori (2007b)'ye göre daha geniştir. Yeni Britanya Hendeği üzerinde meydana gelmiş depremlerin karakteristik olup olmadıklarına bu çalışmanın sonuçlarından bir cevap bulmak üzere Yeni Britanya Hendeği'nin doğrultusu boyunca büküldüğü Yeni Britanya Adası güneyinde meydana gelmiş ve bu çalışmada incelenmiş 8 depremin kayma dağılımlarının yüzey izdüşümleri Şekil 3.195.'de gösterilmiştir. Ayrıca, bu şeklin kapsadığı harita alanına düşen ve kayma dağılımları Park ve Mori (2007a,b) tarafından bulunan 2 depremin (26 Temmuz 1971- $M_w=8.1$  ve 16 Kasım 2000B- $M_w=7.5$ ) kayma dağılımlarının yüzey izdüşümleri de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere kırılma alanları örtüşmelerine rağmen göreceli olarak yüksek kaymalı alanlar yani pürüzler örtüşmemektedir. Aynı büyüklük ve kayma genliğindeki fay alanlarının örtüşmelerinden ziyade önceki depremlerde kaymamış levhalar arası yüzeylerin sonraki deprem kırılmalarında kaymaları söz konusudur.

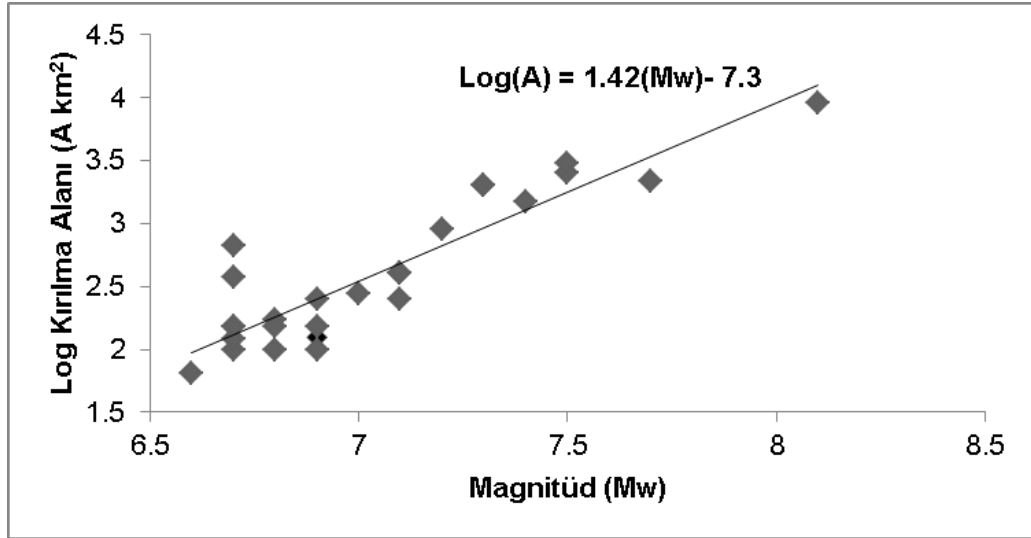
Örnek olarak 17 Kasım 2000 depreminin ( $M_w=7.3$ ) kırılma alanı ile örtüşen bir kırılma alanına sahip ve aynı veya yaklaşık büyüklükte 29 Mart 2015 ( $M_w=7.5$ ) ve 5 Mayıs 2015 ( $M_w=7.3$ ) depremleri meydana gelmiştir. Bu depremlerin çalışmada bulunan kayma dağılımları (Şekil 3.195.'de sırasıyla siyah, yeşil ve kırmızı konturlar) karşılaştırıldığında büyük pürüzlerin alanca kısmen örtüştükleri ancak en büyük kayma genliğine sahip alanların örtüşmediği görülebilir. Bu örtüşmenin çok küçük de olsa 1971 depreminin büyük pürüzünün dış kenar bölgesi için de söz konusu olduğu görülebilir. 2000 depreminin büyük pürüz alanı 2015'deki iki depremin büyük pürüzleriyle örtülmüştür ancak bu örtmede yüzde yüz değildir. Bununla birlikte karakteristik deprem kırılmaları olarak nitelendirilebilecek örnekler de vardır. Bu duruma 18 Kasım 2000 ( $M_w=6.7$ ) ve 1 Mayıs 2015 ( $M_w=6.7$ ) depremleri (Şekil 3.195.) ve 29 Nisan 1996 ( $M_w=7.2$ ) ve 11 Nisan 2014 ( $M_w=7.1$ ) depremleri (Şekil 3.162.) gösterilebilir. Dolayısıyla, incelenen depremler için karakteristik pürüz kırılmaları genel olarak geçerli değildir.



3.13.). Birinci deprem levhalar arası yüzeyin 21 km'den daha derin kısmını, sonraki ise 21 km'den daha sığ kısmını kırmıştır. Yani, önceki depremle başlayan ve derinde sonlanan kırılma sonraki depremle eğim yukarı yayılmıştır. Yine, bu deprem çiftine benzer 17 Kasım 1999 ( $M_w=6.9$ ) ve 19 Kasım 1999 ( $M_w=7.1$ ) depremleri çifti gösterilebilir (bkz. Şekil 3.62.). Benzer şekilde kırılma ikinci depremle eğim yukarı yayılmıştır.

Ardışık depremlerle kırılmanın hem doğrultu hem de eğim yukarı yayıldığı bir 4 depremden oluşan bir örnek de verilebilir (bkz. Şekil 3.162.). 18 Nisan 1994 depremi ( $M_w=6.8$ ) ile başlayan levhalar arası yüzeyin kırılması 29 Nisan 1996 depremi ( $M_w=7.2$ ) kırılmasıyla ilk önce doğrultu boyunca yayılmış ve ardından 19 Nisan 2014 ( $M_w=7.4$ ) depremi kırılmasıyla kırılma eğim yukarı yayılmıştır. Yukarıda değindiğimiz gibi 1996 depremi kırılması 11 Nisan 2014 depremi ( $M_w=7.1$ ) kırılmasıyla karakteristik olarak tekrarlamıştır. Bu durum levhalar arası yüzeyde büyüklüğü ( $M_w$ ) 7.0-7.3 civarı bir depremin kırılmasının 20 yılda bir tekrarlayabileceğini önermektedir.

İncelenen depremlerden yapılan diğer bir gözlem de  $M_w < 7.0$  depremlerin tek bir pürüzün kırılmasıyla göreceli olarak daha basit gerçekleştiği ve  $M_w \geq 7.0$  olan depremlerin birden fazla pürüzün kırılmasıyla daha karmaşık olarak gerçekleştiğidir. Pürüzlerin boyutları ile meydana gelen depremlerin büyüklükleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için en büyük pürüz alanları deprem büyüklüklerine göre grafiklenmiş (Şekil 3.196.) ve bir amprik ilişki belirlenmiştir. Genelde literatürdeki deprem ölçekleme çalışmalarında kırılma alanları ile deprem büyüklükleri arasındaki amprik bağıntılar çıkarılmıştır (Tablo 3.91.) (Wells ve Coppersmith, 1994; Leonard ve ark., 2010; Blaser ve ark., 2010; Konstantinou, 2014; Allen ve Hayes, 2017) . Bu amprik bağıntılardan çıkarılan kırılma alanları ile bu çalışmada çıkarılan en büyük pürüz kırılma alanı karşılaştırıldığında büyük pürüzün kırılma alanının toplam kırılma alanının çoğunu örttüğü görülebilir. Bu durumda Yeni Britanya Hendeği üzerinde büyük pürüz kırılma sürecinde hakimdir ve diğer pürüzlerin kırılma sürecindeki etkisi genel olarak zayıftır denebilir.



Şekil 3.196. Çalışmada incelenen depremlerden Yeni Britanya Hendeği üzerinde oluşmuş ters faylanma mekanizmalı depremlerin (toplamda 26 deprem) en büyük pürüz alanlarının depremlerin büyüklüklerine göre değişimi

Tablo 3.91. Literatürde kırılma alanları (A) için belirlenmiş ampirik bağıntılar. L, kırılma uzunluğu ve W, kırılma genişliğidir. Bu çalışmada çıkarılan bağıntının en büyük pürüz alanlarından belirlendiğine dikkat ediniz

Araştırmacı(lar)	Kırılma alanı-büyükklük ilişkisi	Tektonik ortam	M <sub>w</sub> =7.5 için kırılma alanı (km <sup>2</sup> )
Wells ve Coppersmith (1994)	Log(A)=-3.99+0.98(M <sub>w</sub> )	Ters ya da Bindirme faylar	2290
Leonard (2010)	Log(M <sub>0</sub> )=1.5log(A)+6.1	Eğim Atımlı faylar	2712
Blaser ve ark. (2010)	Log L=-2.37+0.57M <sub>w</sub> Log W=-1.86+0.46M <sub>w</sub>	Dalma-batma zonları	3125
Konstantinou (2014)	M <sub>w</sub> =1.34log(A)+3.07	Eğim Atımlı faylar	2022
Allen ve Hayes (2017)	Log(A)=-5.62+1.22(M <sub>w</sub> )	Dalma-batma zonları	3388
Bu çalışma	Log(A)=1.42(M <sub>w</sub> )-7.3	Dalma-batma zonları	2238

Çalışmada incelenen depremler için hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişimleri genel olarak ardışık deprem kırılmalarında gerilme etkileşimlerinin katkısı olduğunu göstermiştir. İncelenen 29 depremden sadece 5 adetinin önceki depremler kaynaklı gerilme gölgeleri içine düşen odakları oldukları görülmüştür. Genelde sonraki depremlerin odakları önceki depremlerden dolayı gerilme değişimlerinin pozitif olduğu yani gerilme artışının olduğu bölgelere düşmektedir.



Bu gerilme artışlarının kimi zaman çok güçlü kimi zaman da 0.05 - 0.1 bar mertebesinde düşük olduğu görülmüştür. İncelenen depermlerin büyüklükleri göz önünde bulundurulduğunda bu miktardaki gerilme artışları önemsiz gibi görülmektedir. Bununla birlikte, çalışmada hesaplanan gerilme değişimleri kosismik deprem kırılmaları kaynaklı olup intersismik yükleme kaynaklı değişimleri içermemektedir. Daha önce de değinildiği üzere çalışma alanında levha hareketleri levhalar arası yüzeyde büyüklüğü ( $M_w$ ) 7-7.3 civarı bir depremin enerjisinin 20 yılda birikmesine olanak verecek kadar hızlıdır. Dolayısıyla küçük kosismik gerilme değişimleri bile depremleri tetikleyecek bir potansiyeli çok rahat kazanabilmektedirler.

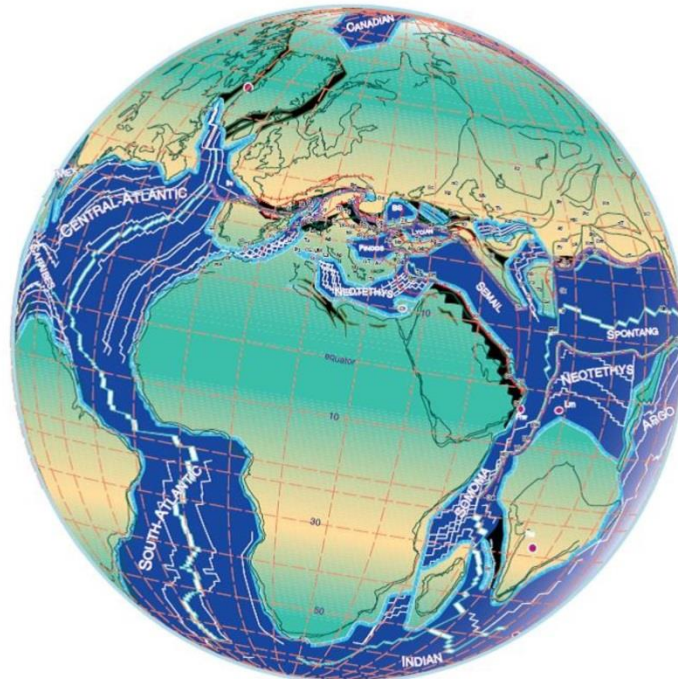
### 3.4.2. İnceleme alanı ile Anadolu jeodinamiğinin karşılaştırılması

Yerbilimleri'nin bilgi birikimi Yer üzerinde hareket eden levhaların geçmişteki durumlarının yapılandırılmasına olanak sağlamaktadır (Cox ve Hart, 1986; Park, 1988; Şengör, 1999; Turcotte ve Schubert, 2002). Bu yeniden yapılandırmalarda görülmüştür ki daha önce kıta birleşmeleriyle oluşmuş devasa kıtalar bölünüp ayrılmakta ve daha sonra tekrar bir araya gelmektedirler. Wilson (1966) okyanus havzalarının çeşitli evrelerden geçerek günümüze geldiklerini fark etmiştir. İlk evrede kıta bölünüp ayrılmasıyla arada okyanusal kabuk ya da okyanus oluşmaya başlamaktadır. Daha sonraki evrede genişlemeye devam etmektedir. Ardından, dalma-batmanın başlamasıyla okyanusal kabuk yitilerek okyanus havzası daralmaya başlar. Son evrede okyanusal kabuğun tamamen yitilmesi ile ayrılan kıtalar tekrar bir araya gelerek büyük bir kıta oluşturacaklardır. 500-600 milyon yıl sürebilen bu devinim daha sonra tekrarlayacaktır. Bu devinim "Wilson devinimi" olarak bilinmektedir.

Çalışmada incelenen Yeni Gine doğusundaki jeodinamik süreçlerle Anadolu ve civarındaki jeodinamik süreçler arasında benzerlikler bulunmaktadır. Nitekim, Wallace ve ark. (2008) GPS verileri ve nümerik modellemelerle destekledikleri çalışmalarında Yeni Gine bölgesi ve Anadolu jeodinamiği arasında dalma-batma sürecinden çarpışma sürecine geçiş, levha sınırı eğriselliği ve tektonik blokların

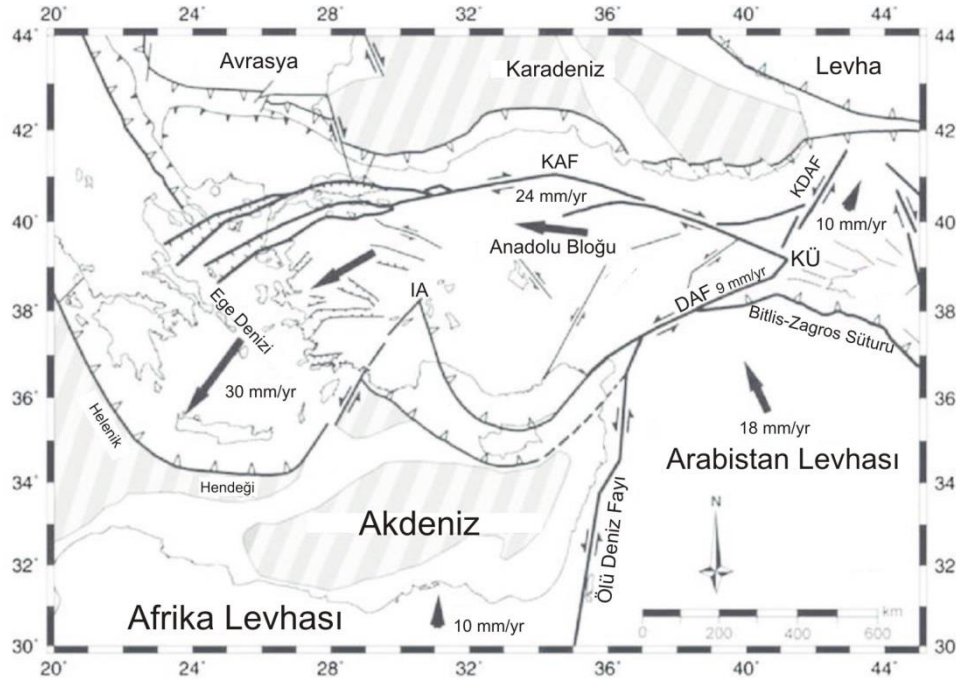
rotasyonu gibi bazı vurucu benzerlikleri belirlemişlerdir. Bu benzerliklerin tektonik süreçlerin anlaşılmasında birbirine ışık tutacağını ileri sürmüşlerdir.

Bu iki bölge jeodinamik açıdan karşılaştırıldığında Anadolu ve civarının Yeni Gine Bölgesi'ne göre Wilson Devrimi'nin daha sonraki evresinde bulunduğu ileri sürülebilir. Anadolu ile Afrika ve Arap levhaları arasında bulunan Neotethys okyanusu havzası dalma batma ile kapanmış veya kapanmaya devam etmektedir (Şekil 3.197.) (Hafkenschied, 2004). Kapanma, Doğu Anadolu'da sona ermiş, okyanusal kabuk dikleşip koparak kıtasal çarpışma süreci başlamıştır (Keskin, 2003; Şengör ve ark., 2003; Sandvol ve ark., 2003; Angus ve ark., 2006) (Şekil 3.198.). Batı'da ise, Neotethys okyanusunun kalıntısı Akdeniz altında Girit ve Kıbrıs yayları boyunca dalma devam etmekte ancak levha dikleşmesi ve geri çekilmesine bağlı olarak son anlarını yaşadığı söylenebilir. Nitekim, levha kopmasının işaretleri olabilecek levha yırtılmalarına dair belirtiler literatürde yer almaktadır (Gans ve ark., 2009; Biryol ve ark., 2011). Levha dikleşmesi ve geri çekilmesi yay ötesinde batı Anadolu'da yay-ötesi havzası gelişimine ve genişleme şeklinde bir tektonik rejime yol açtığı ileri sürülmektedir (Dilek ve Sandvol, 2009; Jolivet ve Brun, 2010).



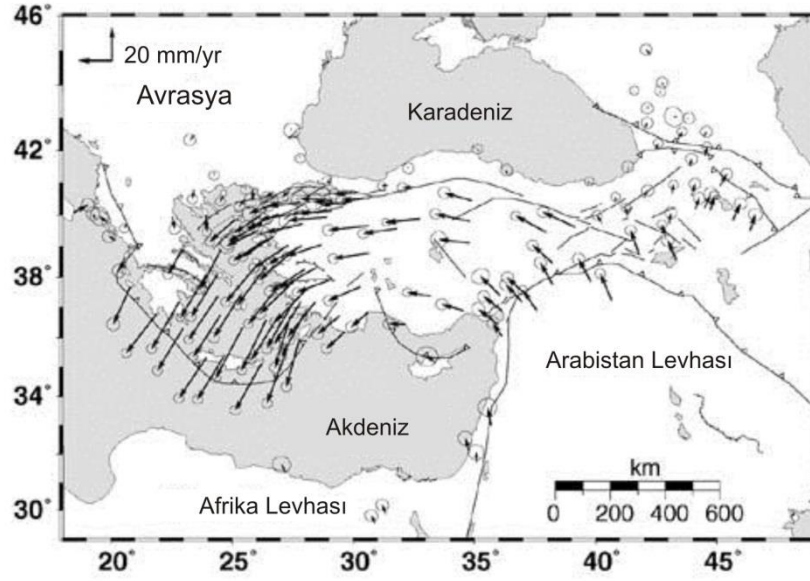
**70 Ma - Erken Maastrichtian (an. 31)**

Şekil 3.197. Geç Kratese döneminde levhaların tasarlanan durumları (Stampfli ve Borel, 2004)



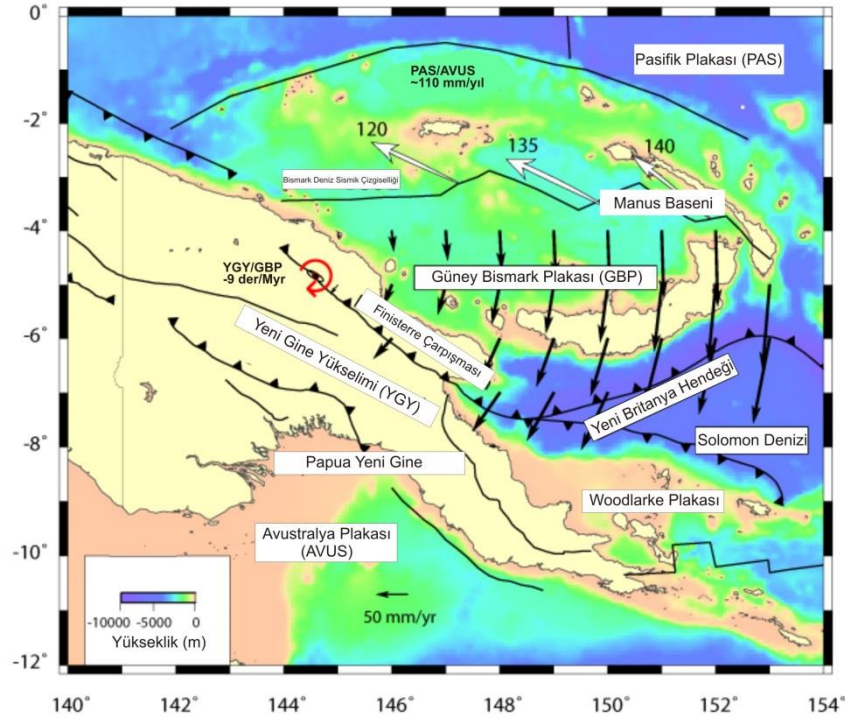
Şekil 3.198. Anadolu ve yakın çevresinin tektonik unsurları (Gülen ve ark., 2002'den alınmıştır). KAF: Kuzey Anadolu Fayı, KDAF: Kuzeydoğu Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, IA: Isparta Açısı, KÜ: Karlıova Üçlü Eklemleri

Gerek doğuda Arap Levhası'nın çarpması gerekse batıda devam eden levha dikleşmesi ve geri çekilmesinin üst mantoda oluşturduğu çekme Anadolu'nun batıya doğru hızlanacak ve saat yönünün tersi yönde dönecek şekilde hareketine yol açmaktadır (Şekil 3.199.) (Reilinger ve ark., 2006; Faccenna ve ark., 2013). Doğu'da levha kopması ile birlikte Türkiye'de neotektonik dönem başlamış ve Kuzey ve Doğu Anadolu kıtasal transformları oluşmuştur (Dewey ve Şengör, 1979; Dilek ve Sandvol, 2009). Batı'da dalan Afrika levhasının yırtılarak Ege ve Kıbrıs segmentleri olarak ikiye parçaya ayrıldığına dair dalga tomografisinden ve paleomagnetizma çalışmalarından belirtiler rapor edilmiştir (Biryol ve ark., 2011; Koç ve ark., 2016). Bu parçalanmaya yol açan yırtılmanın yüzeyde Isparta açısı olarak bilinen tektonik unsura yol açmıştır. Isparta Açısı'nın batı kancında Fethiye-Burdur Fay Zonu ve deniz altında devamında Pliny-Strabo transformu ve Bucak Bindirmesi yer alırken doğu kancasında Aksu Bindirmesi uzanmaktadır.



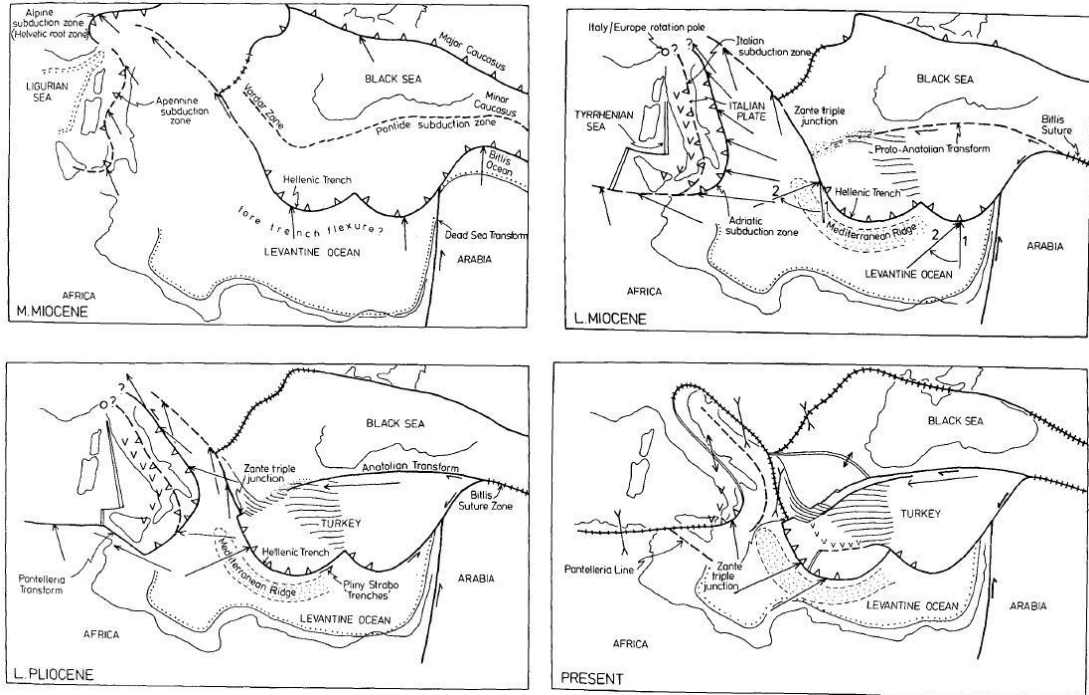
Şekil 3.199. Anadolu ve civarında GPS hız vektörlerinin dağılımı (McClusky ve ark., 2000'den alınmıştır)

Yeni Gine Bölgesi'nin (Şekil 3.200.) ve Anadolu'nun tektonik unsurlarının (Şekil 3.198.) gösterildiği haritalar karşılaştırıldığında dikkate değer benzerlikler göze çarpmaktadır. Yeni Britanya Hendeği, Girit ve Kıbrıs Yaylarına karşılık gelmektedir. Yeni Britanya Hendeği'nin karadaki uzanımı Ramu Markham bindirme fayı Aksu Bindirme fayı'nı andırmaktadır. GPS kabuksal hız alanı Güney Bismark Levhası'nın Papua Yeni Gine adası üzerindeki bir Euler kutbu etrafında saat yönünde döndüğünü önermektedir (Şekil 3.200.) (Wallace ve ark., 2008). Anadolu Levhası'nda Sina Yarımadası'nda konumlanmış bir Euler kutbu etrafında saat yönünün tersinde dönmektedir (Şekil 3.199.) (McClusky ve ark., 2000; Reilinger ve ark., 2006). Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği Kuzey Anadolu Fay Zonu'na karşılık gelmektedir. Ancak, Anadolu ve Güney Bismark levhalarının dönüş yönleri farklı olduğundan biri üzerinde sol-yanal hareketler söz konusuysen diğeri üzerinde hareketler sağ-yanaldır.



Şekil 3.200. Yeni Gine Bölgesi'nin tektonik unsurları ve GPS hız vektörlerinin dağılımı (Wallece ve ark., 2008 alınmıştır)

Woodlark Havzası yayılma merkezi ve Manus Hendeği'nin karşılığı olarak düşünülebilecek tektonik unsurlar Anadolu civarında ilk bakışta görülmemektedir. Ancak, Anadolu ve civarının Wilson devinimi açısından Yeni Gine Bölgesi'ne göre daha geç bir evrede yer aldığı düşünüldüğünde bu durumun bir açıklaması bulunulabilir. Anadolu ve civarının 70 milyon önceki durumunun gösterildiği Şekil 3.197.'ye bakıldığında Neotethys okyanusu altında uzanan yayılma merkezi Woodlark Havzası yayılma merkezi'nin bir karşılığı olarak düşünülebilir. Manus Hendeği'nin karşılığı da şu anda mevcut olmayan ve Kuzey Anadolu'da uzanan Pontid Yayı'dır (Şekil 3.201.) (Keskin, 2003; Dilek ve Sandvol, 2009). Ancak, Pontid Yayı'nda dalma-batma Kuzeye doğruyken Manus Hendeği'nde güneye doğrudur. Geç Miyosen'de Kuzey Anadolu Fay Zonu çekirdeklenme aşamasındadır (Şekil 3.201.'de "proto" ile ifade edilmiştir). Bismark Sismik Çizgiselliği'nin bulunduğu bölgede göreceli olarak diriliğinin az olması yeni oluşmakta olmasıyla bağlantılı olabilir. İlerleyen evrelerde etkinliği artabilir. Ayrıca, Anadolu Levhası içinde karşılanan genişlemenin Bismark Sismik Çizgiselliği'nin kendi boyunca karşılanması da bir fark olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.201. Anadolu ve yakın çevresinin Dewey ve Şengör (1979) tarafından önerilen Orta Miyosen'den günümüze tektonik evrimi (Dewey ve Şengör, 1979'dan alınmıştır)

Son olarak, Yeni Gine Bölgesi'ndeki çalışmaların göreceli olarak azlığı ayrıntılı bir karşılaştırmayı engellemektedir. Anadolu ve civarının Wilson Devinimi içinde bulunduğu evre daha geç bir evre olmasına rağmen Yeni Gine Bölgesi'nde kabuksal hızların Anadolu ve civarına göre kat kat yüksek olması tektonik süreçler kat kat daha kısa zamanda geçeceğini düşündürmektedir.



## BÖLÜM 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Güney Pasifik Okyanusu'nda Yeni Gine Bölgesi'nde 1993-2015 yılları arasında meydana gelmiş büyüklükleri  $M_w \geq 6.7$  olan 29 depremin sonlu-fay ters çözüm analizleri ve kosismik Coulomb gerilme değişim modellemeleri yapılmıştır. Bu depremler Kuzey ile Güney Bismark Levhaları, Güney Bismark ile Solomon Denizi Levhaları ve Solomon Denizi ile Pasifik Levhaları arasındaki sınırlar boyunca meydana gelmiş levhalar arası depremlerdir. Genel olarak Yeni Britanya Hendeği üzerinde 3 - 5 depremlik silsileler halinde oluşmuşlardır. Sonlu-fay ters çözüm analizinde Yagi ve ark. (2004) tarafından geliştirilmiş bir yöntem kullanılmıştır.

Yapılan sonlu fay ters çözümleri ve gerilme değişim hesaplamaları ardından aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- a. Sonlu-fay kayma dağılım modelleri incelenen depremlerin değişen derecelerde kayma heterojenitesine sahip olduğunu göstermiştir. Kayma heterojenitesi,  $M_w \geq 7.0$  depremler için göreceli olarak artmaktadır.  $M_w < 7.0$  depremlerin tek,  $M_w \geq 7.0$  depremler birden fazla fay pürüzünün kırılmasıyla oluşma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.
- b. Pürüzlerin uzaysal dağılımlarında iki farklı örüntü belirlenmiştir. Levhalar arası yüzeyde, farklı depremlerin pürüzleri özellikle de göreceli olarak yüksek kayma genlikli alanları bağlamında örtüşme göstermemektedirler.  $M_w \leq 7.0$  depremlerin kırılma alanlarının  $M_w \geq 7.3$  depremlerin kayma dağılımında kayma boşluğu olan fay alanlarında yerleşmiş olmaları belirlenen ikinci bir uzaysal örüntüdür. Bir örnek olarak 5 Mayıs 2015 depremi ( $M_w=7.3$ ) kayma dağılımındaki kayma boşluğunda 18 Kasım 2000

( $M_w=6.7$ ), 30 Nisan 2015 ( $M_w=6.7$ ) ve 1 Mayıs 2015 ( $M_w=6.7$ ) depremlerinin kırılmaları yerleşmiştir.

- c. 25-30 yıl içinde Yeni Britanya Hendeği üzerinde meydana gelmiş deprem kırılmaları karakteristik değildir. Yani, levha sınırının aynı kısmını kırılmalarına ve kırılmaları büyük ölçüde örtüşmelerine rağmen pürüz bölgeleri yani kaymanın göreceli olarak yüksek olduğu alanlar örtüşmemektedir. Karakteristik olmayan deprem kırılmaları daha önceki bir çalışmada da belirlenmiştir.
- d. Levhalar arası yüzeyin tüm genişliği boyunca kırılması bazı durumlarda deprem çiftleriyle gerçekleşmiştir. 13 Ekim 1993 ( $M_w=6.9$ ) ve 25 Ekim 1993 ( $M_w=6.7$ ) deprem çiftinde birinci deprem levhalar arası yüzeyin 21 km'den daha derin kısmını, sonraki ise 21 km'den daha sığ kısmını kırmıştır. Benzer bir davranış 17 Kasım 1999 ( $M_w=6.9$ ) ve 19 Kasım 1999 ( $M_w=7.1$ ) deprem çifti için de belirlenmiştir.
- e. Yeni Britanya Hendeği üzerinde oluşmuş ters faylanma mekanizmalı depremlerin (toplamda 27 deprem) en büyük pürüz alanları deprem büyüklüklerine göre grafiklenerek  $\text{Log}(A)=1.448(M_w)-7.651$  amirik ilişkisi elde edilmiştir. Büyük pürüz kırılma sürecinde hakim olduğu ve diğer pürüzlerin kırılma sürecindeki etkisinin ise genel olarak zayıf olduğu belirlenmiştir.
- f. Çalışmada incelenen depremler için belirlenen sismik moment, en büyük kayma genliği, ortalama kayma açısı ve kırılma süresi gibi kaynak parametreleri Tablo 4.1.'de listelenmiştir.
- g. Çalışmada incelenen depremler için hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişimleri genel olarak ardışık deprem kırılmalarında gerilme etkileşimlerinin katkısı olduğunu göstermiştir. Kimi zaman çok güçlü kimi

zaman da 0.05 - 0.1 bar mertebesinde düşük gerilme artışları ile depremlerin tetiklendikleri belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Çalışmada incelenen depremler için belirlenen sismik moment, en büyük kayma genliği, ortalama kayma açısı ve kırılma süresi gibi kaynak parametreleri. Gri renkte taralı alan bu çalışma sonucunda hesaplanan değerleri göstermektedir.

Tarih	Kullanılan Veri ve İstasyon Sayısı		Pencere Sayısı	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Kayma Açısı (°)	En Büyük Kayma (m)	Kırılma Süresi (sn)	Sismik Moment (Nm $\times 10^{19}$ )	$M_w$
	P	SH								
13.10.1993	21	14	6	310	08	95	4.0	15	2.591	6.9
25.10.1993	19	10	6	291	20	63	3.4	11	1.435	6.7
18.04.1994	20	3	6	131	45	96	3.7	15	1.904	6.8
21.04.1994	24	8	6	131	41	92	2.5	20	1.793	6.8
16.08.1995	20	8	6	320	48	73	4.5	72	38.28	7.7
29.04.1996	17	6	10	138	45	92	3.3	21	8.317	7.2
14.10.1996	27	14	6	302	31	79	4.1	23	2.392	6.9
16.05.1999	25	11	8	262	28	97	3.1	23	3.943	7.0
17.11.1999	28	5	7	279	35	92	3.6	20	2.958	6.9
19.11.1999	28	9	10	275	25	96	1.7	28	4.819	7.1
29.10.2000	34	16	7	140	33	94	1.4	39	5.314	7.1
16.11.2000 <sup>A</sup>	23	11	11	145	84	-14	10.1	90	197.8	8.1
16.11.2000 <sup>B</sup>	37	11	10	253	15	92	7.5	40	23.42	7.5
17.11.2000	37	12	11	230	24	62	2.1	40	12.77	7.3
18.11.2000	39	10	7	243	37	78	1.3	13	1.343	6.7
19.04.2001	35	10	7	319	28	98	5.0	8	0.935	6.6
31.10.2001	31	5	7	266	25	92	3.1	20	2.591	6.9
11.03.2003	31	8	7	324	60	30	2.1	20	2.003	6.8
01.09.2006	36	3	7	301	42	85	3.6	18	2.257	6.8
17.10.2006	27	7	6	43	36	101	2.9	9	0.854	6.6
01.04.2007	12	4	10	305	25	63	4.8	90	152.1	8.1
28.06.2007	13	3	6	40	60	172	4.1	11	0.847	6.6
26.09.2007	15	4	7	138	44	85	0.7	18	1.532	6.7
11.04.2014	28	4	8	134	48	93	3.8	25	5.454	7.1
19.04.2014	26	3	8	311	35	91	8.8	26	17.61	7.4
29.03.2015	36	3	10	260	29	81	2.0	42	19.53	7.5
30.04.2015	29	2	6	243	39	87	3.0	13	1.191	6.7
01.05.2015	28	2	6	240	42	72	2.6	13	1.517	6.7
05.05.2015	18	3	8	245	33	64	1.7	33	12.05	7.3

- h. Çalışmada incelenen Yeni Gine doğusundaki jeodinamik süreçlerle Anadolu ve civarındaki jeodinamik süreçler arasında benzerlikler ortaya konmuştur. Yeni Britanya Hendeği'nin, Girit ve Kıbrıs Yaylarına karşılık geldiği, karadaki uzanımının ise Ramu Markham bindirme fayı Aksu Bindirme fayı'nı andırdığı şeklinde yorumlanmıştır. GPS kabuksal hız alanı Güney Bismark Levhası'nın Papua Yeni Gine adası üzerindeki bir Euler kutbu etrafında saat yönünde döndüğünü önermekte ve Anadolu Levhası'nda Sina Yarımadası'nda konumlanmış bir Euler kutbu etrafında saat yönünün tersinde dönmektedir. Bismark Denizi Sismik Çizgiselliği Kuzey Anadolu Fay

Zonu'na karşılık gelmektedir. Ancak, Anadolu ve Güney Bismark levhalarının dönüş yönleri farklı olduğundan biri üzerinde sol-yanal hareketler söz konusuken diğeri üzerinde hareketler sağ-yanaldır. Ayrıntılı bir karşılaştırmanın önündeki en önemli engel Yeni Gine Bölgesi'ndeki çalışmaların göreceli olarak azlığıdır. Anadolu ve civarının Wilson Devinimi içinde bulunduğu evre daha geç bir evredir. Buna rağmen Yeni Gine Bölgesi'nde kabuksal hızların Anadolu ve civarına göre kat kat yüksek olması tektonik süreçlerin hızlı bir şekilde ilerleyeceği ön görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Abbott, L. D., and Silver, E. A. 1991. Geology of the southern Finisterre Range: a case history of modern arc-continent collision. In Proceedings PNG Geology, Exploration and Mining Conference (pp. 553-570).
- Abbott, L. D., 1995. Neogene tectonic reconstruction of the Adelbert- Finisterre-New Britain collision, northern Papua New Guinea, *J. Southeast Asia Earth Sci.*, 11, 33-51.
- Abercrombie, R. E., Antolik, M., Felzer, K., and Ekström, G. 2001. The 1994 Java tsunami earthquake: Slip over a subducting seamount. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B4), 6595-6607.
- Abers, G. A., and McCaffrey, R. 1994. Active arc-continent collision: Earthquakes, gravity anomalies, and fault kinematics in the Huon-Finisterre collision zone, Papua New Guinea. *Tectonics*, 13(2), 227-245.
- Akciz, S. O., Grant Ludwig, L., and Arrowsmith, J. R. 2009. Revised dates of large earthquakes along the Carrizo section of the San Andreas fault, California, since AD 1310±30. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114.
- Aki, K. 1979. Characterization of barriers on an earthquake fault. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B11), 6140-6148.
- Aki, K. and Richards, P. G. 1980. *Quantative seismology: Theory and methods*. Freeman and Company, 2.
- Aki, K. 1984. Asperities, barriers, characteristic earthquakes and strong motion prediction. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89(B7), 5867-5872.
- Allen, T. I., and Hayes, G. P. 2017. Alternative Rupture-Scaling Relationships for Subduction Interface and Other Offshore Environments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(3), 1240-1253.
- Anderson, G. and Johnson, H. 1999. A new statistical test for static stress triggering: Application to the 1987 Superstition Hills earthquake sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B9), 20153-20168.
- Angus, D. A., Wilson, D. C., Sandvol, E., and Ni, J. F. 2006. Lithospheric structure of the Arabian and Eurasian collision zone in eastern Turkey from S-wave receiver functions. *Geophysical Journal International*, 166(3), 1335-1346.

- Antolik, M., Dreger, D. and Romanowicz, B. 1999. Rupture processes of large deep-focus earthquakes from inversion of moment rate functions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B1), 863-894.
- Benes, V., S. D. Scott, and R. A. Binns, 1994. Tectonics of rift propagation into a continental margin: Western Woodlark Basin, Papua New Guinea, *J. Geophys. Res.*, 99, 4439-4455.
- Benz, H.M., Herman, M., Tarr, A.C., Hayes, G.P., Furlong, K.P., Villaseñor, A., Dart, R.L., and Rhea, S., 2011. Seismicity of the Earth 1900–2010 New Guinea and vicinity: U.S. Geological Survey Open-File Report 2010–1083-H, scale 1:8,000,000.
- Beroza, G.C. And Spudich, P., 1988. Linearized inversion for fault rupture behavior: Application to the 1984 Morgan Hill, California, earthquake, *J. Geophys. Res.*, 93, 6275-6296.
- Biryol, C. B., and Beck, S. L. 2007. Source rupture process of the Solomon Islands earthquake of April 1, 2007 inferred from teleseismic body waves. In AGU Fall Meeting Abstracts.
- Biryol, C. B. 2009. Complex Rupture Processes Of The Solomon Islands Subduction Zone Earthquake And Subduction Controlled Upper Mantle Structure Beneath Anatolia. In *The Graduate College The University Of Arizona*, 150 Syf.
- Biryol, C. B., Beck, S. L., Zandt, G., and Özacar, A. A. 2011. Segmented African lithosphere beneath the Anatolian region inferred from teleseismic P-wave tomography. *Geophysical Journal International*, 184(3), 1037-1057.
- Blaser, L., Krüger, F., Ohrnberger, M., and Scherbaum, F. 2010. Scaling relations of earthquake source parameter estimates with special focus on subduction environment. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(6), 2914-2926.
- Byrne, D. E., Davis, D. M., and Sykes, L. R. 1988. Loci and maximum size of thrust earthquakes and the mechanics of the shallow region of sub-cluction zones. *Tectonics* 7:833-57.
- Catalli, F., and Chan, C. H. 2012. New insights into the application of the Coulomb model in real-time. *Geophysical Journal International*, 188(2), 583-599.
- Chan, C. H., and Ma, K. F. 2004. Possibility of forecasting aftershock distributions from stress change: A case study of inland Taiwan earthquakes. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15(3), 503-521.
- Chen, T., A. V. Newman, L. Feng, and H. M. Fritz. 2009. Slip distribution from the 1 April 2007 Solomon Islands earthquake: A unique image of near-trench rupture, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L16307, doi:10.1029/2009GL039496.
- Chinnery, M. A. 1963. The stress changes that accompany strike-slip faulting. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53(5), 921-932.



- Choy, G. L., and Cormier, V. F. 1986. Direct measurement of the mantle attenuation operator from broadband P and S waveforms. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91(B7), 7326-7342.
- Christensen, D. H., ve Rulf, L. J. 1988. Seismic coupling and outer rise earthquakes. *Jour. Geophys. Res.* 93:13,421-44.
- Cooper, P., and B. Taylor, 1987a. Seismotectonics of New Guinea: A model for arc reversal following arc continent collision, *Tectonics*, 6, 53-67.
- Cooper, P., and B. Taylor, 1987b. The spatial distribution of earthquakes, focal mechanisms, and subducted lithosphere in the Solomon Islands, in *Marine Geology, Geophysics and Geochemistry of the Woodlark Basin- Solomon Islands*, edited by B. Taylor and N. F. Exxon, *Circum-Pac. Counc. Energy Miner. Resour. Earth Sci. Ser.*, 7, 67-88.
- Cox, A. and Hart, R. B. 1986. *Plate tectonics. How it works.* Blackwell Scientific Publications, Oxford. 392.
- Cullen, A. B., and Pigott, J. D. 1989. Post-Jurassic tectonic evolution of Papua New Guinea. *Tectonophysics*, 162(3-4), 291-302.
- Curtis, J. W., 1973. Plate tectonics of Papua New Guinea - Solomon Islands region, *J. Geol. Soc. Aust.*, 20, 21-36.
- Çakır, Z., Ergintav, S., Akoğlu, A. M., Çakmak, R., Tatar, O., and Meghraoui, M. 2014. InSAR velocity field across the North Anatolian Fault (eastern Turkey): Implications for the loading and release of interseismic strain accumulation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(10), 7934-7943.
- D'Addario, G. W., D. B. 1976. Dow, and R. Swodoba, *Geology of Papua New Guinea scale 1:2,500,000.* Bur. of Miner. Resour., Canberra, A.C.T., Australia.
- Das, S., and Scholz, C. H. 1981. Theory of time-dependent rupture in the earth. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B7), 6039-6051.
- Davies, H. L., P. A. Symonds, and I. Ripper, 1984. Structure and evolution of the Solomon Sea region, *BMR J. Aust. Geol. Geophys.*, 9, 49-68.
- Deng, J., Sykes, L. R. 1997. Stress evolution in southern California and triggering of moderate-, small, and micro-size earthquakes, *J. Geophys. Res.* 102, 24411-24435.
- Denham, D. 1969. Distribution of earthquakes in the New Guinea-Solomon Islands region, *J. Geophys. Res.*, 74, 4290-4299.
- Dewey, J. F., and J. M. Bird, 1970. Mountain belts and the new global tectonics. *J. Geophys. Res.*, 75, 2625-2647.
- Dewey, J. F., and Şengör, A. C. 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, 90(1), 84-92.

- Dilek, Y., and Sandvol, E. 2009. Seismic structure, crustal architecture and tectonic evolution of the Anatolian-African plate boundary and the Cenozoic orogenic belts in the Eastern Mediterranean region. Geological Society, London, Special Publications, 327(1), 127-160.
- Dmowska, R., Lovison-Golob, L. C., and Durek, J. J. 1991. Partial breaking of a mature seismic gap: The 1987 earthquakes in New Britain. *pure and applied geophysics*, 136(4), 459-477.
- Eguchi, T., Y. Fujinava, M. Ukawa, and L. Bibot, 1989. Earthquakes associated with the back-arc opening in the eastern Bismarck Sea: Activity, mechanisms and tectonics, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 56, 189-209.
- Engdahl, E. R., R. Van der Hilst, and R. P. Biland, 1998. Global teleseismic earthquake relocations with improved travel times and procedures for depth determination, *Bull. Seismol. Soc. Am.*
- Faccenna, C., Becker, T. W., Jolivet, L., and Keskin, M. 2013. Mantle convection in the Middle East: Reconciling Afar upwelling, Arabia indentation and Aegean trench rollback. *Earth and Planetary Science Letters*, 375, 254-269.
- Fisher, M.A, Geist E.L., Sliter, R., Wong, F.L., Reiss, C., and Mann, D.M., 2007. Preliminary Analysis of the Earthquake (Mw=8.1) and Tsunami of April 1, 2007, In the Solomon Islands, Southwestern Pacific Ocean. *Science of Tsunami Hazards*, Vol. 26, No.1, pp. 3-20.
- Fritz, H., and N. Kalligaris 2008. Ancestral heritage saves tribes during 1 April 2007 Solomon Islands tsunami. *Geophys. Res. Lett.* 35, L01607, doi:10.1029/2007GL031654.
- Fukahata, Y., Y. Yagi, and M. Matsu'ura 2003. Waveform inversion for seismic source processes using ABIC with two sorts of prior constraints: Comparison between proper and improper formulations, *Geophys. Res. Lett.*, 30(6), 1305, doi:10.1029/2002GL016293.
- Gans, C. R., Beck, S. L., Zandt, G., Biryol, C. B., and Ozacar, A. A. 2009. Detecting the limit of slab break-off in central Turkey: new high-resolution Pn tomography results. *Geophysical Journal International*, 179(3), 1566-1572.
- Gariel, J. C., Archuleta, R. J., and Bouchon, M. 1990. Rupture process of an earthquake with kilometric size fault inferred from the modeling of near-source records. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(4), 870-888.
- Geist, E. L., ve Parsons, T. 2005. Triggering of tsunamigenic aftershocks from large strike-slip earthquakes: Analysis of the November 2000 New Ireland earthquake sequence. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6(10).
- Hafkenscheid, E. 2004. Subductie van de Tethys Oceanen gereconstrueerd uit plaatbewegingen en mantel-tomografie (Vol. 241). *Faculteit Aardwetenschappen Universiteit Utrecht*.
- Hamilton, W., 1973. Tectonics of the Indonesian region, *Bull. Geol. Soc. Malays.*, 6, 3-10.

- Hamilton, W., 1979. Tectonics of the Indonesian region, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 1078, 354pp.
- Harris, R. A. and Simpson, R. W. 1992. Changes in static stress on southern California faults after the 1992 Landers earthquake. *Nature* 360, 251±254.
- Hartzell, S.H. and Heaton, T.H., 1983. Inversion of strong-ground motion and teleseismic wave form data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. seism. Soc. Am.* 73, 1553 –1583.
- Hartzell, S.H., 1978. Earthquake aftershocks as Green's functions, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 5, No. 1, 1-4.
- Hartzell, S.H., Stewart, G.S. And Mendoza, C., 1991. Comparison of L1 and L2 norms in a teleseismic waveform inversion for the slip history of the Loma Prieta, California, earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 81, No. 5, pp. 1518-1539.
- Harvard Centroid Moment Tensor Catalog (Harvard CMT) 2014. <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html> Erişim Tarihi: 05.01 2014.
- Heidarzadeh, M., Gusman, A. R., Harada, T., and Satake, K. 2015. Tsunamis from the 29 March and 5 May 2015 Papua New Guinea earthquake doublet (Mw 7.5) and tsunamigenic potential of the New Britain trench. *Geophysical Research Letters*, 42(14), 5958-5965.
- Hudnut, K. W., L. Seeber, and J. Pacheco 1989. Cross-Fault Triggering in the November 1987 Superstition Hills earthquake sequence, Southern California, *Geophys. Res. Lett.* 16, 199-202.
- Ide, S. and M. Takeo, 1997. Determination of constitutive relations of fault slip based on seismic wave analysis, *J. Geophys. Res.*, 102, 27379-27391.
- Igarashi, T., Matsuzawa, T., and Hasegawa, A. 2003. Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108.
- International Seismological Center (ISC) 2014. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/>. Erişim Tarihi: 06.01.2014.
- Jaume Â, S. C. and Sykes, L. R., 1992. Change in the state of stress on the southern San Andreas fault resulting from the California earthquake sequence of April to June 1992. *Science* 258, 1325±1328.
- Ji, C., 2007. "Rupture process of the 2007 April 1, Magnitude 8.1, Solomon Islands Earthquake" [http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2007/us2007aqbk/finite\\_fault.php](http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2007/us2007aqbk/finite_fault.php).
- Johnson, T, and P. Molnar, 1972. Focal mechanisms and plate tectonics of the southwest Pacific, *J. Geophys Res.*, 77, 5000-5032.
- Johnson, R. W., 1979. Geotectonics and volcanism in Papua New Guinea: review of the late Cainozoic, *BMR J. Aust. Geol. Geophys.*, 4, 181-207.

- Johnson, R. W., and A. Jaques, 1980. Continent-arc collision and reversal of arc polarity: New interpretations from a critical area, *Tectonophysics*, 63, 111-124.
- Jolivet, L., and Brun, J. P. 2010. Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean. *International Journal of Earth Sciences*, 99(1), 109-138.
- Kagan, Y. Y., and Jackson, D. D. 1999. Worldwide doublets of large shallow earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(5), 1147-1155.
- Karig, D. E., 1972. Remnant arcs, *Geol. Soc. Am. -Bull.*, 83, 1057-1068.
- Keskin, M. 2003. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30(24).
- Kikuchi, M. and Kanamori, H. 1991. Inversion of complex body wave-III, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 81, 2335-2350.
- Kikuchi, M., Y. Yamanaka, K. Abe., and Y. Morita, 1999. Source rupture process of the Papua New Guinea earthquake of July 17, 1998 inferred from teleseismic body waves, *Earth Planets Space*, 51, 1319–1324.
- King, G. C. P. 2007. Fault Interaction, Earthquake Stress Changes, and the Evolution of Seismicity-4.08.
- King, G. C. P., and M. Cocco, 2000. Fault interaction by elastic stress changes: New clues from earthquake sequences, *Adv. Geophys.*, 44, 1 – 38.
- King, G. C., R. S. Stein, and J. Lin 1994. Static stress changes and the triggering of earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 935-953.
- Kirchoff-Stein, K. S., 1992. Seismic reflection study of the New Britain and Trobriand subduction systems and their zone of initial contact in the western Solomon Sea, Ph.D. thesis, 248 pp., Univ. of Calif., Santa Cruz.
- Klotz, J., Angermann, D., Michel, G. W., Porth, R., Reigber, C., Reinking, J., ... and Barriga, R. 1999. GPS-derived deformation of the Central Andes including the 1995 Antofagasta M<sub>w</sub>= 8.0 earthquake. In *Seismogenic and Tsunamigenic Processes in Shallow Subduction Zones* (pp. 709-730). Birkhäuser Basel.
- Koç, A., van Hinsbergen, D. J., Kaymakci, N., and Langereis, C. G. 2016. Late Neogene oroclinal bending in the central Taurides: A record of terminal eastward subduction in southern Turkey?. *Earth and Planetary Science Letters*, 434, 75-90.
- Konca, A. O., Leprince, S., Avouac, J. P., & Helmberger, D. V., 2010. Rupture process of the 1999 Mw 7.1 Duzce earthquake from joint analysis of SPOT, GPS, InSAR, strong-motion, and teleseismic data: a supershear rupture with variable rupture velocity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(1), 267-288.

- Konstantinou, K. I. 2014. Moment magnitude–rupture area scaling and stress-drop variations for earthquakes in the Mediterranean region. *Bulletin of the Seismological Society of America*.
- Krause, D.C., 1973. Crustal plates of the Bismarck and Solomon Seas, in *Oceanography of the South Pacific 1972*, edited by R. Fraser, pp. 271- 280, New Zealand Natl. Comm., UNESCO, Wellington.
- Langston, C.A. And Helmberger, D.V., 1975. A Procedure for Modeling Dislocation Sources, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 42, 117-130.
- Lasocki, S., Karakostas, V.G. And Papadimitriou, E.E., 2009. Assessing the role of stress transfer on aftershock locations, *J. Geophys. Res.*, Vol. 114, B11304, doi:10.1029/2008JB006022, 2009.
- Lay, T. And Kanamori, H., 1980. Earthquake doublets in the Solomon Islands. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 21: 283-304.
- Lay, T. And Wallace, T.C., 1995. *Modern Global Seismology*, Academic Press, San Diego, California, ISBN-13: 978-0-12-732870-6, 1995.
- Lay, T., Yue, H., Brodsky, E. E., and An, C. 2014. The 1 April 2014 Iquique, Chile, Mw 8.1 earthquake rupture sequence. *Geophysical Research Letters*, 41(11), 3818-3825.
- Leonard, M. 2010. Earthquake fault scaling: Self-consistent relating of rupture length, width, average displacement, and moment release. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(5A), 1971-1988.
- Lin, J., and Stein, R. S. 2004. Stress triggering in thrust and subduction earthquakes and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults, *J. Geophys. Res.*, 109, B02303, doi:10.1029/2003JB002607.
- Liu, J. Y., Chen, Y. I., Chen, C. H., Liu, C. Y., Chen, C. Y., Nishihashi, M., ... and Lin, C. H. 2009. Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 Mw=7. 9 Wenchuan earthquake. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 114(A4).
- Liu-Zeng, J., Klinger, Y., Sieh, K., Rubin, C., and Seitz, G. 2006. Serial ruptures of the San Andreas fault, Carrizo Plain, California, revealed by three-dimensional excavations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111.
- Llanes, P., Silver, E., Day, S., and Hoffman, G. 2009. Interactions between a transform fault and arc volcanism in the Bismarck Sea, Papua New Guinea. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(6).
- Lock, J., H. L. Davies, D. L. Tiffin, F. Murakami, and K. Kisimoto, 1987. The Trobriand subduction system in the western Solomon Sea, *Geo. Mar. Lett.*, 7, 129-134.
- Lundgren, P., Hetland, E. A., Liu, Z., and Fielding, E. J. 2009. Southern San Andreas-San Jacinto fault system slip rates estimated from earthquake cycle models constrained by GPS and interferometric synthetic aperture radar observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114.

- Martinez, F., and B. Taylor, 1993. Manus Basin, Bismarck Sea: An epitome of microplate deformation, *Eos Trans. AGU*, 73 (43), Fall Meet. Suppl., 605.
- McAdoo, B.G., Moore, A. and Baumwoll, J. 2009. Indigenous knowledge and the near field population response during the 2007 Solomon Islands tsunami. *Nat. Haz.* 48 (1):73-82, doi: 10.1007/s11069-008-9249-z.
- McCaffrey, R., 1996. Slip partitioning at convergent plate boundaries of SE Asia, in *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, edited by R. Hall, and D. Blundell, *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 106, 3-18.
- McCloskey, J., and Nalbant, S. S. 2009. Near-real-time aftershock hazard maps. *Nature Geoscience*, 2(3), 154-155.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., ... and Kastens, K. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719.
- McClusky, S., Mobbs, K., Stolz, A., Barsby, D., Loratung, W., Lambeck, K., and Morgan, P., 1994. The Papua New Guinea satellite crustal motion surveys, *The Australian Surveyor*, 39, 194-214.
- McGallagher, R., Reasenber, P., and Poland, C. 1999. Earthquake aftershocks entering damaged buildings. Funded by the U.S. Geological Survey as part of the ATC-35 Research Utilization Project. Redwood City, CA: Applied Technology Council.
- Mendoza, C. And Hartzell, S.H., 1988. Inversion For Slip Distribution Using Teleseismic P Waveforms: North Palm Springs, Borah Peak, And Michoacan Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 78, No. 3, Pp. 1092-1111.
- Mendoza, C., 1993. Coseismic Slip Of Two Large Mexican Earthquakes From Teleseismic Body Waveforms: Implications For Asperity Interaction In The Michoacan Plate Boundary Segment, *J. Geophys. Res.*, 98, 8197-8210.
- Mendoza, C., Hartzell, S. And Monfret, T., 1994. Wide-band analysis of the 3 March 1985 central Chile earthquake: Overall source process and rupture history, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 84, No. 2, pp. 269-283.
- Mendoza, C. 1996. Rapid derivation of rupture history for large earthquakes. *Seismological Research Letters*, 67(6), 19-26.
- Meunier, P., Hovius, N., and Haines, A. J. 2007. Regional patterns of earthquake-triggered landslides and their relation to ground motion. *Geophysical Research Letters*, 34(20).
- Mikumo, T., Yagi, Y., Singh, S. K., and Santoyo, M. A. 2002. Coseismic and postseismic stress changes in a subducting plate: Possible stress interactions between large interplate thrust and intraplate normal-faulting earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107.



- Mobbs, K., 1997. Tectonic interpretation of the Papua New Guinea region from repeat satellite measurements, Unisurv Report S-48, University of New South Wales.
- Mori, J., 1989. The New Ireland earthquake of July 3, 1985, and associated seismicity near the Pacific-Solomon Sea-Bismarck Sea triple junction, *Phys. Earth Planet. Int.*, 55, 144-153.
- Nagai, R., Kikuchi, M. and Yamanaka, Y. 2001. Comparative study on the source process of recurrent large earthquakes in Sanriku-oki region: the 1968 Tokachi-oki earthquake and the 1994 Sanriku-oki earthquake, (in Japanese with English abstract), *J. Seismol. Soc. Jpn.*, 54, 267–280, 2001.
- Nalbant, S.S., Hubert, A. and King, G. C. P. 1998. Stress coupling between earthquakes in northwest Turkey and the north Aegean Sea, *J. geophys. Res.*, 103, 24 469–24 486.
- Nalbant, S, Steacy, S, Sieh, K, Natawidjaja, D and McCloskey, J. 2005. Earthquake risk on the Sunda trench. *NATURE*, 435 (7043). pp. 756-757.
- Nalbant, S.S., Steacy, S. And McCloskey, J., 2006. Stress transfer relations among the earthquakes that occurred in Kerman province, southern Iran since 1981, *Geophys. J. Int.*, 167, 309–318, doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.03119.x.
- Nalbant, S. 05.03.2014. Kişisel Görüşme.
- Okada, Y., 1985. Surface Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 75, No. 4, pp. 1135-1154.
- Okada, Y., 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 82, No. 2, pp. 1018–1040.
- Park, R. G. 2013. Geological structures and moving plates. Springer Science and Business Media.
- Park, S. C., and Mori J. 2007a. Triggering of earthquakes during the 2000 Papua New Guinea earthquake sequence, *J. Geophys. Res.* , 112, B03302, doi: 10.1029/2006JB004480.
- Park, S. C., and Mori, J. 2007b. Are asperity patterns persistent? Implication from large earthquakes in Papua New Guinea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B3).
- Parsons, T., and Segou, M. 2014. Stress, distance, magnitude, and clustering influences on the success or failure of an aftershock forecast: The 2013 M 6.6 Lushan earthquake and other examples. *Seismological Research Letters*, 85(1), 44-51.
- Pegler, G., S. Das, and J. H. Woodhouse, 1995. A seismological study of the eastern New Guinea and the western Solomon Sea regions and its tectonic implications, *Geophys. J. Int.*, 122, 961-981.
- Rajput, S., Gahalaut, V. K., and Sahu, V. K. 2005. Coulomb stress changes and aftershocks of recent Indian earthquakes. *Current Science*, 88(6), 576-588.

- Reasenber, P. A. and Simpson, R. W., 1992. Response of regional seismicity to the static stress change produced by the Loma Prieta earthquake. *Science* 255, 1687±1690.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Özener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., Arrajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filykov, Sv., Gomez, F., Al-Ghazali, R. And Karam, G. 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.*, Vol. 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Ripper, I.D., 1982. Seismicity of the Indo-Australian/Solomon Sea plate boundary in the southeast Papua region, *Tectonophysics*, 87, 355-369.
- Ruff, L., and Kanamori, H. 1980. Seismicity and the subduction process. *Physics of the Earth and Planetary interiors*, 23(3), 240-252.
- Sandvol, E., Turkelli, N., and Barazangi, M. 2003. The Eastern Turkey Seismic Experiment: The study of a young continent-continent collision. *Geophysical Research Letters*, 30(24).
- Sari J.K., 1991. The Ramu-Markham Fault: a significant structure, in *Petroleum Exploration and Development in Papua New Guinea: Proceedings of the Second PNG Petroleum Convention, Port Moresby, 31 May-2 June 1993*, eds Carman G.J. Carman Z.
- Schwartz, D. P., and Coppersmith, K. J. 1984. Fault behavior and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89(B7), 5681-5698.
- Schwartz, S. Y., Orange, D. L., and Anderson, R. S. 1989. Complex fault interactions in a restraining bend on the San Andreas Fault, southern Santa Cruz Mountains, California. The Loma Prieta, California, earthquake of October, 17, F49-F54.
- Schwartz, S. Y. 1999. Noncharacteristic behavior and complex recurrence of large subduction zone earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B10), 23111-23125.
- Sieh, K. 1996. The repetition of large-earthquake ruptures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(9), 3764-3771.
- Simpson, R. W., and Reasenber, P. A. 1994. Earthquake-induced static stress changes on central California faults. *US Geol. Surv. Prof. Pap*, 55, 89.
- Smith, I.E., 1976. Peralkaline rhyolites from the D'Entrecasteaux Islands, Papua New Guinea, in *Volcanism in Australasia*, edited by R. W. Johnson, pp. 275-285, Elsevier, New York.
- Smith, B. R., and Sandwell, D. T. 2006. A model of the earthquake cycle along the San Andreas Fault System for the past 1000 years. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111.

- Stampfli, G. M., and Borel, G. D. 2004. The TRANSMED transects in space and time: constraints on the paleotectonic evolution of the Mediterranean domain. In *The TRANSMED Atlas. The Mediterranean region from crust to mantle* (pp. 53-80). Springer Berlin Heidelberg.
- Stanaway, R. 2008. PNG on the move—GPS monitoring of plate tectonics and earthquakes. In 42nd Association of Surveyors PNG Congress.
- Steady, S., Marsan, D., Nalbant, S.S. And Mccloskey, J., 2004. Sensitivity of static stress calculations to the earthquake slip distribution, *J. Geophys. Res.*, Vol. 109, B04303, doi:10.1029/2002JB002365.
- Steady, S., Gomberg, J. And Cocco, M., 2005a. Introduction to special section: Stress transfer, earthquake triggering, and time-dependent seismic hazard, *J. Geophys. Res.*, Vol. 110, B05S01, doi:10.1029/2005JB003692.
- Steady, S., Marsan, D., Nalbant, S.S., Mccloskey, J., Nostro, C., Scotti, O. And Baumont, D., 2005b. Onto what planes should Coulomb stress perturbations be resolved?, *J. Geophys. Res.*, Vol. 110, B05S15, doi:10.1029/2004JB003356.
- Stein, R.S. and Lisowski, M. 1983. The 1979 Homestead Valley earthquake sequence, California: Control of aftershocks and postseismic deformation. *Journal of Geophysical Research* 88: doi: 10.1029/JB088iB08p06477. issn: 0148-0227.
- Stein, R. S., King, G. C. P. and Lin, J., 1992. Change in failure stress on the southern San Andreas fault system caused by the 1992 magnitude = 7.4 Landers earthquake. *Science* 258, 1328-1332.
- Stein, R.S., Dieterich, J.H. And Barka, A.A., 1996. Role Of Stress Triggering In Earthquake Migration On The North Anatolian Fault, *Phys. Chem. Earth*, Vol. 21, No. 4, Pp. 225-230.
- Stein, R. S., Barka, A. A. and Dieterich, J. H. 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, *Geophys. J. Int.* 128, 594-604.
- Stein, R. S. 1999. The role of stress transfer in earthquake occurrence. *Nature*, 402(6762), 605-609.
- Stein, R.S., 2003. Earthquake Conversations, *Scientific American*, Vol. 288, 72-79, January Issue.
- Stevens, C., R. McCaffrey, E. A. Silver, Z. Sombo, P. English, and J. van der Kevie 1998. Mid-crustal detachment and ramp faulting in the Markham Valley, Papua New Guinea, *Geology*, 26, 847–850.
- Storchak, D.A., D. Di Giacomo, I. Bondár, E. R. Engdahl, J. Harris, W.H.K. Lee, A. Villaseñor and P. Bormann, 2013. Public Release of the ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900-2009). *Seism. Res. Lett.*, 84, 5, 810-815.
- Şengör, A. M. C. 1999. Continental interiors and cratons: any relation?. *Tectonophysics*, 305(1), 1-42.

- Şengör, A. M. C., Özeren, S., Genç, T., and Zor, E. 2003. East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letters*, 30(24).
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., ... and Rangin, C. 2005. The North Anatolian fault: A new look. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 37-112.
- Takeo, M. 1992. The rupture process of the 1989 offshore Ito earthquakes preceding a submarine volcanic eruption. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B5), 6613-6627.
- Tan, O. 2004. Kafkasya, Doğu Anadolu ve Kuzeybatı İran Depremlerinin Kaynak Mekanizması Özellikleri ve Yırtılma Süreçleri. İstanbul üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Tan, O., and Taymaz, T. 2006. Active tectonics of the Caucasus: Earthquake source mechanisms and rupture histories obtained from inversion of teleseismic body waveforms. *Geological Society of America Special Papers*, 409, 531-578.
- Taylor, B., 1979. The Bismarck Sea: Evolution of a back-arc basin, *Geology*, 7, 171-174.
- Taylor, B. and N. F. Exon, 1987. An investigation of ridge subduction in the Woodlark-Solomons region: Introduction and overview, in *Marine Geology, Geophysics and Geochemistry of the Woodlark Basin-Solomon Islands*, edited by B. Taylor and N. F. Exon, Circum-Pac. Counc. Energy Miner. Resour. Earth Sci. Ser., 7, Houston, Tex., 1-24.
- Taylor, B., 1987. A geophysical survey of the Woodlark-Solomons region, in *Marine Geology, Geophysics and Geochemistry of the Woodlark Basin- Solomon Islands*, edited by B. Taylor and N. F. Exon, Circum-Pac. Counc. Energy Miner. Resour. Earth Sci. Ser., 7, 25-48.
- Taylor, B., K. A. W., Crook, J. M. Sinton, L. Petersen, R. Mallonee, J. N. Kellogg, and F. Martinez, 1991. Manus Basin, Papua New Guinea, SeaMARC II sidescan sonar imagery, bathymetry, magnetic anomalies and free air gravity anomalies, *Pacific Seafloor Atlas, Sheet 7, scale 1: 1,000,000*, Hawaii Inst. Geophys., Honolulu..
- Taylor, B. 1975. The tectonics of the Bismarck Sea region, B.Sc thesis, Univ. of Sydney, Sydney, N.S.W., Australia.
- Toda, S., Stein, R. S., Reasenberg, P. A., Dieterich, J. H., and Yoshida, A. 1998. Stress transferred by the 1995 Mw= 6.9 Kobe, Japan, shock: Effect on aftershocks and future earthquake probabilities. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 24543-24565.
- Toda, S., Stein, R. 2003. Toggling of seismicity by the 1997 Kagoshima earthquake couplet: A demonstration of time-dependent stress transfer, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. B12, 2567, doi:10.1029/2003JB002527.

- Toda, S., R. S. Stein, K. Richards-Dinger, and S. B. Bozkurt 2005. Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer, *J. Geophys. Res.*, 110, B05S16, doi:10.1029/2004JB003415.
- Toda, S. 2008. Coulomb stresses imparted by the 25 March 2007 M<sub>w</sub>= 6.6 Noto-Hanto, Japan, earthquake explain its ‘butterfly’ distribution of aftershocks and suggest a heightened seismic hazard. *Earth, planets and space*, 60(10), 1041-1046.
- Toda, Shinji, Stein, R.S., Sevilgen, Volkan, and Lin, Jian 2011. Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1060, 63 p., available at <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1060/>.
- Toda, S., Stein, R. S., Beroza, G. C., and Marsan, D. 2012. Aftershocks halted by static stress shadows. *Nature Geoscience*, 5(6), 410-413.
- Tregoning, P., K. Lambeck, A. Stolz, P. Morgan, S. C. McClusky, P. van der Beek, H. McQueen, R. J. Jackson, R. P. Little, A. Laing, and B. Murphy, 1998. Estimation of current plate motions in Papua New Guinea from Global Positioning System observations, *J. Geophys. Res.*, 103, 12,181–12,203.
- Tregoning, P., Jackson, R., McQueen, H., Lambeck, K., Stevens, C., Little, R., Curley, R. And Rosa, R., 1999. Motion of the South Bismarck Plate, Papua New Guinea, *Geophysical Research Letters*, 26, 3517–3520, 1999.
- Tregoning, P., McQueen, H., Lambeck, K., Jackson, R., Little, R., Saunders, S. And Rosa, R., 2000. Present-day crustal motion in Papua New Guinea, *Earth Planets Space*, 52, 727-730.
- Tregoning, P. 2002. Plate kinematics in the western Pacific derived from geodetic observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B1).
- Tregoning, P. , M. Sambridge, H. McQueen, S. Toulmin, and T. Nicholson, 2005. Tectonic interpretation of aftershock relocations in eastern Papua New Guinea using teleseismic data and the arrival pattern method, *Geophys. J. Int.*, 160, 1103 – 1111.
- Trifunac, M. D., and Udawadia, F. E. 1974. Parkfield, California, earthquake of June 27, 1966: a three-dimensional moving dislocation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64(3-1), 511-533.
- Turcotte, D. L. and Schubert, G. 2002. *Geodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge. 456 p.
- Udias, A. And Buforn, E. 1996. Source mechanism of earthquakes from Seismic waves, Third Workshop on 3D modelling of Seismic waves generation propagation and their inversion, Trieste, Italy.
- Udias, A., 1999. *Principles of Seismology*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 0-521 62434-7.

- United States Geological Survey National (USGS) 2007. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000f83m#finite-fault>. Erişim Tarihi: 21.11.2016.
- United States Geological Survey National (USGS) 2015. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20002bnf#finite-fault> Erişim Tarihi: 22.11.2016.
- United States Geological Survey National Earthquake Information Center (USGS-NEIC) 2014. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>. Erişim Tarihi:15.01.2014.
- Uslu, B., Y. Wei, H.M. Fritz, V. Titov, C. Chamberlin 2008. Solomon Islands 2007 Tsunami Near-Field Modeling and Source Earthquake Deformation, *Eos Trans. AGU*, 89(53), Fall Meet. Suppl., Abstract OS43D.
- Utkucu, M., 2002. Anadolu depremlerinde kırılma sürecinin sonlu fay modelleri ile incelenmesi, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Utkucu, M., Kanbur, Z., Alptekin, Ö., and Sünbül, F. (2009). Seismic behaviour of the North Anatolian Fault beneath the Sea of Marmara (NW Turkey): implications for earthquake recurrence times and future seismic hazard. *Natural hazards*, 50(1), 45-71.
- Utkucu, M., Durmus, H., Yalçın, H., Budakoğlu, E. ve Işık, E. 2013. Coulomb static stress changes before and after the 23 October 2011 Van, eastern Turkey, earthquake (Mw=7.1): implications for the earthquake hazard mitigation, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1-14, doi: 10.5194/nhess-13-1-2013.
- Wald, D. J. 1992. Strong motion and broadband teleseismic analysis of the 1991 Sierra Madre, California, earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B7), 11033-11046.
- Wald D.J. and Heaton, T.H., 1994. Spatial And Temporal Distribution Of Slip For The 1992 Landers, California, Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 84, No. 3, Pp. 668-691.
- Wald, D. J. 1996. Slip history of the 1995 Kobe, Japan, earthquake determined from strong motion, teleseismic, and geodetic data. *Journal of Physics of the Earth*, 44(5), 489-503.
- Wallace, L. M., C. Stevens, E. Silver, R. McCaffrey, W. Loratung, S. Hasiata, R. Stanaway, R. Curley, R. Rosa, and J. Taugaloidi 2004. GPS and seismological constraints on active tectonics and arc-continent collision in Papua New Guinea: Implications for mechanics of microplate rotations in a plate boundary zone, *J. Geophys. Res.*, 109, B05404, doi:10.1029/2003JB002481.
- Wallace, L. M., Ellis, S., and Mann, P., 2008. Tectonic block rotation, arc curvature, and back-arc rifting: Insights into these processes in the Mediterranean and the western Pacific. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 2, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.



- Weldon, R., Scharer, K., Fumal, T., and Biasi, G. 2004. Wrightwood and the earthquake cycle: What a long recurrence record tells us about how faults work. *GSA today*, 14(9), 4-10.
- Wells, D. L., and Coppersmith, K. J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.
- Weissel, J. K., B. Taylor, and G. D. Karner, 1982. The opening of the Woodlark Basin, subduction of the Woodlark spreading system and the evolution of northern Melanesia since mid-Pliocene times, *Tectonophysics*, 87, 253-277.
- Wilson, J. T., 1966. Did the Atlantic close and then re-open?. *Nature*.
- Wright, T.J., Parsons, B.E., Jackson, J.A., Haynes, M., Fielding, E.J., England, P.C., Clarke, P.J., 1999. Source Parameters Of The 1 October 1999 Dinar (Turkey) Earthquake From Sar Interferometry And Seismic Bodywave Modelling, *Earth And Planetary Science Letters*, 172, 23-37.
- Xu, Z., and Schwartz, S. Y. 1993. Large earthquake doublets and fault plane heterogeneity in the northern Solomon Islands subduction zone. *pure and applied geophysics*, 140, 365-365.
- Yamanaka, Y., and Kikuchi, M. 2004. Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109Wells and.
- Yagi, Y., and Kikuchi, M. 2000. Source rupture process of the Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999, obtained by joint inversion of near-field data and teleseismic data. *Geophysical Research Letters*, 27(13), 1969-1972.
- Yagi, Y., Mikumo, T., Pacheco, J., and Reyes, G. 2004. Source rupture process of the Tecoman, Colima, Mexico earthquake of 22 January 2003, determined by joint inversion of teleseismic body-wave and near-source data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(5), 1795-1807.
- Yagi, Y., Nishimura, N., and Kasahara, A. 2012. Source process of the 12 May 2008 Wenchuan, China, earthquake determined by waveform inversion of teleseismic body waves with a data covariance matrix. *Earth, Planets and Space*, 64(7), e13-e16.
- Yoshida, S., Kokhetsu, K., Shibasaki, B., Sagiya, T., Kato, T. And Yoshida, Y. 1996. Joint Inversion Of Near- And Far-Field Waveforms And Geodetic Data For Rupture Process Of The 1995 Kobe Earthquake, *J. Phys. Earth*, 44, 437-454.
- Yoshida, S. 1992, Waveform inversion for rupture process using a non-flat seafloor model: application to 1986 Andean Islands and 1985 Chile earthquake, *Tectonophysics*, 211, 45-59.
- Zhou, S.Y. And Chen, X.F., 2003. Inversion of near-field waveform data for earthquake source rupture process (I): Method and numerical test, *Science in China Series D- Earth Sciences*, 46 (11), 1089-1102.

## ÖZGEÇMİŞ

Emrah BUDAKOĞLU, 21.11.1984'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta eğitimini Sakarya'da ve lise eğitimini Sakarya ve Bursa'da tamamladı. 2000 yılında Ali Dilmen Lisesi'nden mezun oldu. 2002 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nü 2007 yılında bitirdi. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı akabinde yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde devam etti. Halen Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.