



## Simav Havzası'nın gerilme alanı analizi Stress field analysis of the Simav Basin

Nihan HOSKAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye.  
nihan@iuc.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 26.04.2023  
Kabul Tarihi/Accepted: 14.05.2024

Düzeltilme Tarihi/Revision: 17.04.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.75505  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmada Simav Havzası'nın gerilme tensör analizi, çeşitli kaynaklardan derlenmiş 59 depremin odak mekanizması çözümlerinden elde edilmiş P- ve T- eksenlerinin azimut ve dalımları kullanılarak bulunmuştur. Çalışmada elde edilen tüm sonuçlar %95 güvenilirlik sınırları içerisinde hesaplanmıştır. Buna göre Simav Havzası için asal gerilme eksenleri derece olarak sırasıyla (56/74), (109/10), (17/12); R gerilme oranı ise 0.4 olarak bulunmuştur. Bölgesel analiz sonucunda en büyük gerilme ekseninin düşey olması, bölgenin genel gerilme alanının, KKD-GGB doğrultusunda açılma rejimi olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Simav Havzası için diğer araştırmacılar tarafından elde edilen gerilme tensor sonuçları karşılaştırılmış, bu çalışmada elde edilen sonuçların daha hassas hesaplandığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada havzanın güneybatı ve kuzeydoğu kesimi için de ayrı ayrı gerilme analizi yapılmıştır. Havzanın güneybatısının gerilme tensör analizi için 23 adet deprem kullanılmıştır. Asal gerilme eksenleri sırasıyla (350/80), (127/7), (38/7); R değeri ise 0.45 olarak hesaplanmıştır. Minimum asal gerilme eksenini K38D olarak elde edilmiştir. Havzanın kuzeydoğusu için 36 adet deprem verisi kullanılmış ve asal gerilme eksenleri sırasıyla (252/64), (109/21), (13/14) elde edilmiştir. R gerilme oranı, 0.35 olarak hesaplanmıştır. Havzanın güneybatısı ile kuzeydoğusu arasında minimum asal gerilme eksenini için 25 derecelik bir değişim olduğu görülmüştür. Bu durumun, havzanın GB ve KD kesimindeki fayların doğrultusu ile uyumlu olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Asal gerilme eksenleri, Gerilme tensör analizi, Simav havzası.

### Abstract

In this study, the stress tensor analysis of the Simav Basin was established by using the azimuth and plunge of the P- and T- axes which were obtained from the focal mechanism solutions of 59 earthquakes compiled from various sources. The results obtained in the study were calculated within the 95% confidence limit. Accordingly, for Simav Basin, principal stress axes are established (56/74), (109/10), (17/12) in degrees, respectively; R stress ratio was found to be 0.4. As a result of the regional analysis, the fact that the maximum stress axis is vertical indicates the general stress area in the region shows the NNE-SSW trending extension regime. The results obtained in this study were compared with the stress tensor results obtained by other researchers for the Simav Basin, and it was determined that the results obtained in this study were calculated more precisely. In addition, in this study stress analysis was also carried out for the southwest and northeast sections of the basin separately. 23 earthquakes were used for the stress tensor analysis of the southwest of the basin. Principal stress axes were attained (350/80), (127/7), (38/7), respectively; The R value was calculated as 0.45. The minimum principal axis was obtained as N38E. For the northeast of the basin, 36 earthquake data were used and principal stress axes were obtained (252/64), (109/21), (13/14) respectively. The stress ratio R was calculated as 0.35. It has been observed there is a 25-degree difference for the minimum principal stress axis between the southwest and northeast of the basin. It is thought this situation is compatible with the direction of the faults in the SW and NE part of the basin.

**Keywords:** Principal stress axes, Stress tensor analysis, Simav basin.

### 1 Giriş

Arabistan Levhasının Avrasya Levhasına göre göreceli olarak K-KKB yönüne doğru hareketi ve Afrika Levhasının da kuzeye doğru ilerlemesinden dolayı Anadolu Levhacığı, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonları boyunca saatin tersi yönünde batıya doğru kaçır [1]-[4] (Şekil 1). Anadolu Levhasının batıya doğru hareketi, Batı Anadolu'da kabuksal genişleme ve incelmeye neden olur [5]-[7]. Batı Anadolu, K-G yönünde yılda 30-40 mm genişlemektedir [8]. Bu kıtasal genişlemenin sonucunda kabuk, Miyosenden itibaren incelerek Ege Graben Sisteminin gelişmesine sebep olur [2]. Ege Graben Sistemi, Türkiye'nin önemli tektonik yapılarından biridir ve genel olarak KKD-GGB yönlü açılma rejiminin etkisi altında bulunmaktadır. Ege Graben Sistemi, genelde D-B doğrultulu normal faylar ile sınırlandırılmış, aralarında D-B uzamımlı çöküntü alanlarının da yer aldığı bloklardan meydana gelmiştir [9]. Ege Graben Sistemi içindeki çöküntü alanları, Edremit Körfezi, Gökova Körfezi ve Simav, Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes Havzaları olarak sıralanır [10]-[11], (Şekil 1).

Bu çöküntü alanlarından Simav Havzası, Simav Fay Zonu üzerinde oluşan en geniş graben olup [12]-[16] Simav ile Şaphane segmentleri arasındaki bölgede gelişmiş açılmalı Pliyo-Kuvaterner havzadır [17]-[21]. Simav Havzası ve civarında M>5 olan depremlerin meydana gelme olasılığı büyüktür. 19 Mayıs 2011 (M/5.7) ve 3 Mayıs 2012 (M/5.4) depremleri bölgede meydana gelen yakın zaman depremlerindedir. Özellikle 19 Mayıs depremi sonrasında bölgede yüzey kırığının gözlemlenmemesi nedeniyle depremin Simav Fay Zonundan mı (SFZ) yoksa Naşa Fay Zonundan mı (NFZ) kaynaklandığı tartışma konusudur. Bu nedenle Kartal ve Kadıroğlu [22] bölgede meydana gelen depremleri, güneybatı ve kuzeydoğu kümesi olarak ayrı ayrı incelemişlerdir. Depremlerin odak mekanizması çözümlerinden elde ettikleri eğim açılarını ve odak derinliklerini irdeleyerek 19 Mayıs 2011 depreminin SFZ'ndan kaynaklandığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, Simav Havzası'nda meydana gelmiş depremlerin P- ve T- eksenlerinin azimut ve dalımlarını

\*Yazışılan yazar/Corresponding author



### 3 Veri ve yöntem

Gerilme tensörünü hesaplamak için Simav Havzası'nda 2009-2023 tarihleri arasında büyüklükleri  $5.7 \leq M \leq 3.5$  olan depremler kullanılmıştır. Veriler çeşitli kaynaklardan derlenmiştir. Derlenen depremlerin bir kısmı P dalgası ilk hareket yönüne göre hesaplanmıştır [22],[33]. Bir kısmı ise

zaman ortamı moment tensor ters çözüm yöntemi ile elde edilmiştir [34].

Bu çalışmada, Gephart Yöntemi [35] kullanılarak hesaplanan gerilme tensör analizinde, derlenen faylanma mekanizması çözümlerinden elde edilen P-T eksenlerinin azimut ve dalımları kullanılmıştır (Tablo 2, Şekil 3). Yöntemde sürtünme katsayısı kullanılmamaktadır.

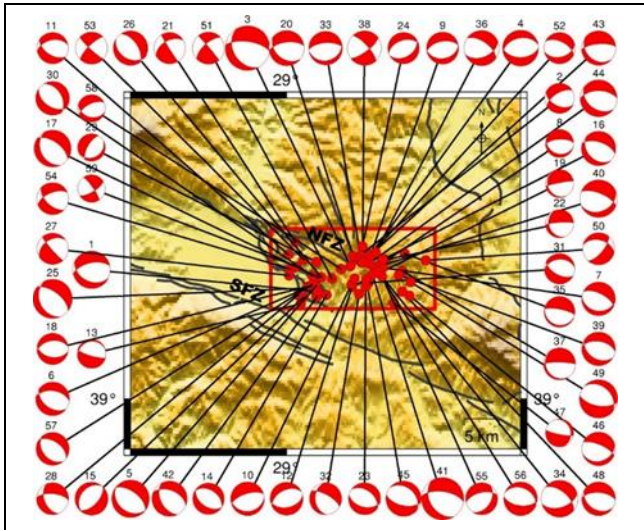
Tablo 2. Çalışmada kullanılan depremlerin parametreleri (\*: GB kümesi depremleri, h: Derinlik, M: Büyüklük, D: Doğrultu, E: Eğim, K: Kayma, A: Azimut, P: Dalım, Kyn: Kaynaklar (BÇ: Bu çalışma)).

Table 2. Parameters of earthquakes used in the study (\*: Earthquakes of the SW cluster, h: Depth, M: Magnitude, D: Strike, E: Dip, K: Slip, A: Azimuth, P: Plunge, Kyn: Sources (BÇ: This Paper)).

No	Tarih Gün.Ay.Yıl	Zaman S:Dk:Sn	Koordinatlar(°)		h(km)	M	I.Düzlem			II.Düzlem			P Eksen		T Eksen		Kyn.
			Enl (N)	Boyl (D)			D(°)	E(°)	K(°)	D(°)	E(°)	K(°)	A	P	A	P	
*1	17.02.2009	05:28:18	39.107	29.040	9.00	4.8	116	37	-58	257	62	-112	124	68	3	12	[34]
2	03.02.2010	00:59:41	39.139	29.087	9.00	3.8	116	47	-43	259	49	-116	96	57	355	7	[34]
3	19.05.2011	20:15:22	39.133	29.082	24.46	5.7	278	66	-117	149	35	-45	323	77	132	1	[22]
4	19.05.2011	20:25:32	39.144	29.108	7.00	4.6	89	47	-83	259	44	-98	178	71	47	13	[22]
*5	19.05.2011	21:12:50	39.113	29.038	7.74	4.8	129	32	-88	306	58	-91	95	82	1	1	[22]
*6	19.05.2011	21:21:29	39.113	29.032	6.99	4.3	127	44	-68	278	50	-110	96	29	-159	25	[22]
7	19.05.2011	21:33:10	39.131	29.124	20.83	4.3	98	28	-106	296	63	-82	183	70	48	14	[22]
8	19.05.2011	19:59:46	39.134	29.120	10.00	3.6	107	26	-72	267	66	-99	160	68	4	20	[34]
9	20.05.2011	00:13:07	39.141	29.107	16.92	4.1	81	35	-89	259	55	-91	135	68	42	1	[22]
10	20.05.2011	00:58:33	39.115	29.084	17.38	4.3	84	26	-80	252	64	-95	88	17	180	6	[33]
*11	20.05.2011	04:00:35	39.144	29.002	6.97	4.0	123	53	-59	258	47	-124	213	77	38	13	[22]
12	20.05.2011	05:00:36	39.120	29.087	7.09	4.2	79	46	-79	243	45	-101	123	75	22	3	[33]
*13	20.05.2011	08:03:41	39.095	29.018	8.00	3.7	106	78	-82	252	14	-123	26	56	-171	33	[34]
*14	21.05.2011	21:43:08	39.104	29.051	7.00	4.0	124	47	-89	302	43	-92	94	65	-168	3	[22]
*15	24.05.2011	02:55:28	39.101	29.022	16.8	4.2	44	58	-87	219	32	-94	53	88	-147	2	[22]
16	27.05.2011	07:43:37	39.139	29.124	19.42	4.4	136	34	-66	287	59	-106	276	75	46	10	[22]
*17	28.05.2011	05:47:16	39.122	29.041	23.02	4.7	305	59	-106	155	34	-65	84	38	-162	28	[22]
*18	28.05.2011	18:06:47	39.112	29.028	16.62	4.0	99	45	-78	262	46	-101	136	52	33	10	[22]
19	28.05.2011	07:35:29	39.112	29.084	5.00	3.6	153	16	-17	259	85	-105	153	47	3	39	[34]
20	29.05.2011	01:31:39	39.143	29.085	5.04	4.5	129	37	-50	263	63	-116	91	15	187	20	[22]
*21	30.05.2011	22:03:35	39.157	29.011	15.29	4.0	148	87	-40	241	50	-176	102	49	10	2	[32]
22	03.06.2011	16:38:15	39.139	29.127	5.00	3.6	160	25	-18	267	82	-114	151	47	16	33	[34]
23	04.06.2011	13:51:06	39.112	29.102	15.63	4.1	104	47	-106	307	45	-73	170	79	41	7	[22]
24	05.06.2011	21:29:12	39.143	29.095	6.98	4.0	60	42	-99	252	49	-82	323	77	226	1	[22]
*25	27.06.2011	21:13:58	39.111	29.026	18.27	5.0	156	33	-65	307	60	-105	299	78	-155	1	[22]
*26	27.06.2011	21:28:50	39.122	29.044	12.15	4.4	326	56	-76	123	36	-109	167	80	350	10	[22]
*27	29.06.2011	11:40:47	39.123	29.003	9.28	4.0	139	84	-50	236	40	-170	153	70	347	19	[22]
*28	03.07.2011	14:16:28	39.104	29.015	10.78	4.1	275	64	-131	159	47	-36	171	56	50	19	[33]
*29	06.07.2011	06:22:22	39.137	29.038	6.00	3.5	61	27	-62	211	67	-103	96	66	310	20	[34]
*30	13.07.2011	01:31:48	39.123	29.033	14.7	4.3	329	45	-72	124	47	-107	162	71	29	13	[22]
31	17.07.2011	19:51:48	39.116	29.105	8.00	3.9	118	57	-71	265	37	-117	73	71	-166	10	[34]
32	19.07.2011	21:16:52	39.105	29.093	17.66	4.1	299	69	-119	176	36	-39	275	24	6	1	[22]
33	25.08.2011	04:19:23	39.139	29.096	22.54	4.3	77	26	-98	266	64	-86	224	71	20	18	[22]
34	16.04.2012	10:10:47	39.123	29.122	6.99	4.7	73	51	-134	310	56	-49	264	51	157	13	[22]
35	16.04.2012	12:19:02	39.145	29.151	6.50	3.9	108	14	-83	281	76	-92	188	59	12	31	[34]
36	17.04.2012	20:45:16	39.147	29.114	6.90	4.5	68	47	-136	305	59	-52	148	71	15	13	[22]
37	19.04.2012	19:52:41	39.128	29.149	4.00	4.1	146	15	-36	271	81	-102	167	52	12	35	[34]
38	20.04.2012	16:39:16	39.153	29.098	20.59	4.4	53	73	-163	318	74	-17	184	70	353	19	[33]
39	23.04.2012	16:14:37	39.124	29.144	6.31	4.3	279	53	-104	121	39	-73	146	60	10	22	[22]

Tablo 2. (Devamı.)  
Table 2. (Continued.)

No	Tarih Gün. Ay. Yıl	Zaman S:Dk: Sn	Koordinatlar(°)		h(km)	M	I.Düzlem			II.Düzlem			P Eksen		T Eksen		Kyn.
			Enl (N)	Boyl (D)			D(°)	E(°)	K(°)	D(°)	E(°)	K(°)	A	P	A	P	
40	26.04.2012	22:05:33	39.131	29.113	25.54	4.8	292	66	-68	68	32	-129	334	72	204	12	[22]
41	03.05.2012	15:20:25	39.125	29.110	10.59	5.4	278	62	-119	147	39	-48	149	60	28	17	[22]
*42	03.05.2012	16:16:04	39.102	29.039	25.41	4.5	153	48	-60	292	50	-119	237	62	6	18	[22]
43	03.05.2012	17:10:09	39.136	29.097	23.70	4.4	265	70	-110	131	28	-48	332	69	-157	13	[22]
44	03.05.2012	21:45:17	39.135	29.106	14.22	4.7	127	40	-60	270	57	-113	130	63	11	14	[22]
45	04.05.2012	02:00:36	39.120	29.102	23.94	4.5	311	35	-66	103	58	-106	141	77	19	7	[22]
46	09.05.2012	17:49:31	39.103	29.157	8.98	4.3	293	69	-73	72	27	-127	278	57	12	3	[33]
47	11.06.2012	03:49:03	39.096	29.138	3.40	3.6	101	81	-108	344	20	28	351	51	-154	34	[34]
48	13.06.2012	06:40:31	39.107	29.148	21.58	4.3	122	34	-66	274	59	-105	217	83	336	3	[22]
49	19.06.2012	01:46:13	39.117	29.159	25.91	4.9	100	60	-108	313	35	-62	268	57	9	7	[22]
50	30.10.2012	00:12:35	39.139	29.179	21.35	4.1	40	67	-129	284	44	-33	65	85	174	2	[33]
*51	12.03.2013	20:47:01	39.120	29.058	12.81	4.1	228	65	176	320	86	25	260	68	8	7	[33]
52	29.05.2013	14:43:31	39.136	29.098	7.00	4.0	76	42	-122	296	55	-65	68	82	161	0	[33]
*53	09.06.2013	14:18:56	39.139	29.022	15.61	4.1	225	74	-172	133	82	-16	229	62	10	22	[33]
*54	15.07.2014	12:25:52	39.130	29.004	9.92	4.1	134	56	-38	248	59	-139	336	77	194	11	[33]
55	03.09.2015	08:23:19	39.123	29.123	10.24	4.1	33	41	-126	257	57	-63	217	65	328	9	[33]
56	22.09.2015	06:25:04	39.127	29.118	9.33	4.3	294	35	-76	97	56	-100	142	61	29	12	[33]
*57	13.10.2015	23:18:10	39.114	29.033	10.21	4.2	140	39	-77	304	53	-100	129	69	16	9	[33]
*58	19.03.2016	20:50:29	39.130	29.070	12.00	3.5	244	62	-112	105	35	-55	114	66	-10	14	[BÇ]
*59	15.09.2016	18:33:55	39.132	29.013	12.00	3.5	325	80	-20	59	70	-169	280	21	13	7	[BÇ]



Şekil 3. Tablo 2'de verilen depremlerin faylanma mekanizmaları (kırmızı dikdörtgen çalışma alanını göstermektedir. SFZ Simav Fay Zonu, NFZ Naşa Fay Zonu).

Figure 3. Faulting mechanisms of earthquakes given in Table 2 (the red rectangle indicates the study area. SMF Simav Fault Zone, NFZ Naşa Fault Zone).

Gerilme analizinin yapılması için Gephart [35] tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır.

Yöntemin temel varsayımları; (a): Gerilme alanının, bölgesel ve incelenen zaman aralığı boyunca uniform olduğu; (b): Yer değiştirmenin önceden var olan zayıflık düzleminde olduğu; (c): Fay düzleminde ilgili kayma yönünün makaslama yönü olduğudur [35]-[37].

Yöntemin dört bağımsız model parametresi vardır. Bunlar, üç ana gerilme eksenleri  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  (sırasıyla maksimum, orta ve minimum asal gerilme eksenleri,  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ) ve R gerilme oranıdır. Yöntem; bu dört model parametresinin belirlenmesi esasına dayanır. R gerilme oranı; araştırma bölgesindeki baskın gerilme rejiminin göstergesidir.

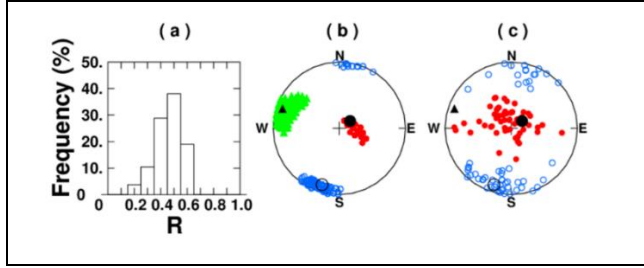
$$R = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{(\sigma_3 - \sigma_1)} \quad (1)$$

olarak tanımlanır ve  $0 < R < 1$  arasında değerler alır.  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  hemen hemen eşdeğer olduğunda ( $\sigma_1 > \sigma_2 \approx \sigma_3$ ), R değeri 1'e yaklaşıyor (eksenel sıkışma).  $\sigma_2$  ve  $\sigma_1$  hemen hemen eşdeğer olduğunda ( $\sigma_1 \approx \sigma_2 > \sigma_3$ ) ise, R değeri 0'a yaklaşıyor (eksenel açılma).  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  gerilme eksenlerinin yatay veya düşey olması faylanma tipini belirler.

Yöntem, her bir odak mekanizması için her iki olası düğüm düzlemi için gerilme tensörlerinden hesaplanan kayma vektörü ve gözlemlenen kayma vektörü arasındaki farkı en aza indirme esasına dayanır. Hesaplanan ve gözlemlenen kayma vektörü arasındaki fark, keyfi bir eksen etrafındaki açısal dönüş olan uyumsuzluk (F) ile değerlendirilir [35]. Uyumsuzluk, iki düğüm düzleminde birinin kayma vektörünü, hesaplanan kesme gerilmesi yönüne uygun olacak şekilde döndüren minimum açıdır. Bu uyumsuzluk, asal gerilme eksenlerinin ve R parametresinin oryantasyonunu sistematik olarak değiştiren grid araması yoluyla hesaplanır. Minimum ortalama dönüş açısına karşılık gelen gerilme tensörü, belirlenen odak mekanizmaları için en doğru gerilme tensörü olarak elde edilir. Minimum ortalama uyumsuzluk F, gerilme alanının %90 veya %95 güvenilirlik sınırları içerisinde elde edilmesine olanak verir [36],[38].

#### 4 Bulgular

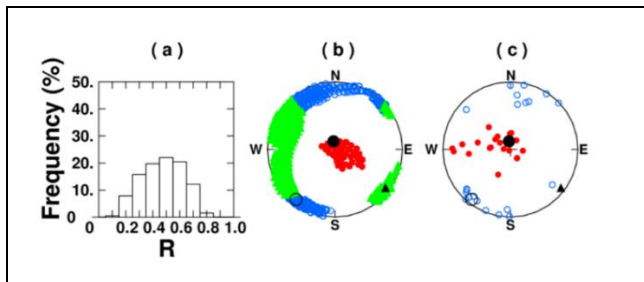
Bu çalışmada ilk olarak Simav Havzası ve civarının gerilme analizini elde etmek için Tablo 2’de verilen tüm depremlerin odak mekanizması çözümlerinden elde edilen P- ve T- eksenlerinin azimut ve dalımları kullanılmıştır. Gephart yöntemi [35] kullanılarak elde edilen  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  sırasıyla ( $56^\circ/74^\circ$ ), ( $109^\circ/10^\circ$ ), ( $17^\circ/12^\circ$ ) olarak bulunmuştur. R değeri ise 0.4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Tüm çözümler %95 güvenilirlik sınırları içinde hesaplanmıştır. Simav Havzası çözümü için uyumsuzluk 1.1’dir.



Şekil 4. Simav Havzası için bölgesel gerilme tensör analizinin sonuçları. (a): R değerlerinin histogramı. (b): Hesaplanan asal gerilme eksenleri dağılımı (kırmızı noktalar  $\sigma_1$ , yeşil üçgenler  $\sigma_2$ , mavi noktalar  $\sigma_3$ ). (c): Gözlenen P ve T eksenleri dağılımı (mavi noktalar P-, kırmızı noktalar T- eksenleri).

Figure 4. Results of regional stress tensor analysis for Simav Basin. (a): Histogram of R values. (b): Distribution of calculated principal stress axes (red dots  $\sigma_1$ , green triangles  $\sigma_2$ , blue dots  $\sigma_3$ ). (c): Observed P and T axes distribution (blue dots P-, red dots T-axes).

Simav Havzası depremlerini, Kartal ve Kadirioğlu [22] güneybatı ve kuzeydoğu kümeleri olarak değerlendirdiği göz önüne alınarak bu çalışmada bu iki küme arasında gerilme analizi açısından bir değişim olup olmadığı incelenmiştir. GB kümesinin gerilme analizi, Tablo 2’de yıldızlı olarak numaralandırılmış 23 adet deprem kullanılarak elde edilmiştir. GB kümesi için  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  sırasıyla ( $350^\circ/80^\circ$ ), ( $127^\circ/7^\circ$ ), ( $38^\circ/7^\circ$ ), R değeri ise 0.45 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5).  $\sigma_3$ , K38°D olarak elde edilmiştir. Uyumsuzluk değeri ise 1.3’tür.



Şekil 5. Simav Havzası’nın GB kümesi için elde edilen bölgesel gerilme tensör analizinin sonuçları.

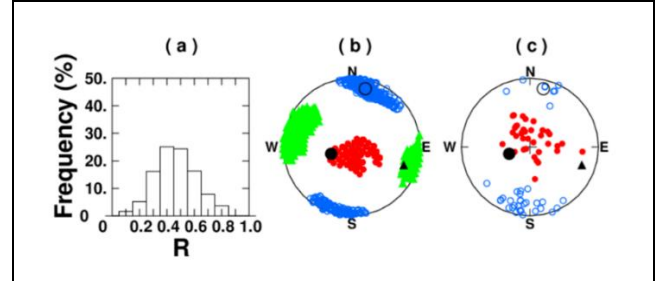
Figure 5. The results of the regional stress tensor analysis obtained for the SW cluster of the Simav Basin

Tablo 3. Simav Havzası için elde edilen gerilme analizi sonuçlarının karşılaştırılması.

Table 3. Comparison of stress analysis results obtained for Simav Basin.

$\sigma_1$ (°) (az/pl)	$\sigma_2$ (°) (az/pl)	$\sigma_3$ (°) (az/pl)	R	Veri Sayısı	Kullanılan Yöntem	Kaynak
(56/ 74)	(109/10)	(17/12)	0.400	59	[35]	Bu Çalışma
(205/79)	(100/3)	(10/11)	0.560	54	[40-41]	[39]
(193/84)	(102/0)	(12/6)	0.809	23	[42-43]	[34]

KD kümesi için Tablo 2’de yıldızsız olarak numaralandırılmış 36 depremin odak mekanizması çözümlerinden elde edilmiş P- ve T- eksenlerinin azimut ve dalımları kullanılmış ve  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  sırasıyla ( $252^\circ/64^\circ$ ), ( $109^\circ/21^\circ$ ), ( $13^\circ/14^\circ$ ) elde edilmiştir (Şekil 6). R gerilme oranı, 0.35 olarak hesaplanmıştır. Uyumsuzluk değeri ise 1.2’dir.



Şekil 6. Simav Havzası’nın KD kümesi için bölgesel gerilme tensör analizinin sonuçları.

Figure 6. The results of the regional stress tensor analysis obtained for the NE cluster of the Simav Basin.

#### 5 Tartışma

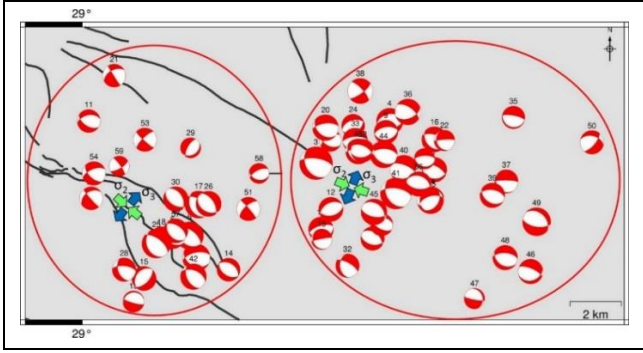
Simav Havzası için yapılan gerilme tensör analizinde, gerilme eksenleri yönleri elde edilmiştir.  $\sigma_1$ ’in düşey ve R gerilme oranının 0.4 olarak elde edilmesi, bölgede açılma gerilme rejiminin olduğunu göstermektedir.  $\sigma_3$  minimum gerilme eksenine K17°D olarak elde edilmiştir. Bölgedeki genel gerilme alanı, KKD-GGB doğrultusunda açılma (K17°D) rejimi göstermektedir.

Simav Havzası’nın gerilme alanı Mutlu [39] ve Demirci ve diğ. [34] tarafından da çalışılmıştır (Tablo 3). Tüm çalışmalarda bölgenin açılma rejimine uygun sonuçlar elde edilmiştir.

R gerilme oranı ve asal gerilme eksenlerindeki farklılıkların; kullanılan yöntem, veri sayısı, depremlerin faylanma parametrelerindeki farklılıklar ve hata oranındaki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Demirci ve diğ. [34] havzanın gerilme alanını 23 depremin faylanma mekanizmasını kullanarak elde etmiştir. Mutlu [39], ortalama fay normal ve kayma yönü hatalarını  $\pm 6^\circ$  olarak hesaplamıştır. Bu çalışmada ise bölgede meydana gelen 59 depremin faylanma mekanizmasından yararlanılmış, Simav Havzası’nın gerilme eksenleri yönleri, %95 güvenilirlik sınırları içerisinde, 1.1 uyumsuzluk ile elde edilmiştir.

Kartal ve Kadirioğlu [22] Simav depremleri ile ilgili yaptıkları çalışmada, bölgede meydana gelen depremleri güneybatı ve kuzeydoğu kümeleri olarak iki bölgede incelemişlerdir. GB kümesini oluşturan depremlerin birinci düzlem eğim açılarının ortalamasını  $43.3^\circ$ , KD kümesini oluşturan depremlerin birinci düzlem eğim açılarının ortalamasını  $39.8^\circ$  olarak hesaplamışlardır.

Bu çalışmada GB kümesinin gerilme analizi sonucunda minimum gerilme yönü olan  $\sigma_3$  için K38°D, KD kümesi için ise  $\sigma_3$ , K13°D olarak elde edilmiştir (Şekil 7). İki küme arasında  $\sigma_3$  için  $25^\circ$ ’lik bir değişim olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Simav Havzası GB ve KD kümelerinde meydana gelen depremlerin odak mekanizması çözümleri ve bu kümeler için elde edilen  $\sigma_2$  (yeşil oklar) ve  $\sigma_3$  (mavi oklar) asal gerilme eksenlerinin yönleri.

Figure 7. The focal mechanism solutions of earthquakes occurred in the SW and NE clusters of the Simav Basin and the directions of the principal stress axes  $\sigma_2$  (green arrows) and  $\sigma_3$  (blue arrows) obtained for these clusters.

Çalışma alanında (Şekil 3, kırmızı dikdörtgen içerisindeki alan) 15 Eylül 2016 tarihinden günümüze kadar  $M \geq 3.5$  olan deprem meydana gelmemiştir. Ayrıca bölgede meydana gelen M5.7 depreminden sonra deprem fırtınası gözlenmemiştir.

Şekil 7'de (Şekil 3, kırmızı dikdörtgen içerisindeki alan)  $\sigma_2$  (yeşil ok) ve  $\sigma_3$  (mavi ok)'ün yönlerinin havzanın GB ve KD kesimindeki fayların doğrultusu ile uyumlu olduğu düşünülmektedir.

## 6 Sonuçlar

Bu çalışmada Ege Havza Sistemi elemanlarından biri olan Simav Havzası'nın gerilme tensör analizi, Gephart [35] tarafından geliştirilen yöntemle hesaplanmıştır. İlk olarak tüm havza için gerilme analizi yapılmış, sonra da havzanın güneybatı ve kuzeydoğu bölgeleri için ayrı ayrı asal gerilme eksenleri ve R gerilme oranı hesaplanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar %95 güvenilirlik sınırları içerisinde ve ortalama 1.2 uyumsuzluk ile hesaplanmıştır.

Tüm havza için 2009-2023 tarihleri arasında meydana gelen  $M \geq 3.5$  olan 59 adet deprem verisi kullanılmıştır. Tüm havza için sonuçlar, 1.1 uyumsuzluk ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre maksimum gerilme eksenini  $\sigma_1$ 'in düşey olması ve R gerilme oranının 0.4 olarak elde edilmesi, bölgede KKD-GGB doğrultusunda açılma ( $K17^\circ D$ ) rejiminin varlığını göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile diğer araştırmacıların bölge için yaptığı gerilme analizi çalışmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri sayısı diğer çalışmaların kullandığı veri sayısından fazladır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçlar %95 güvenilirlik sınırı içerisinde 1.1 uyumsuzluk ile bulunmuştur. Bu nedenle bu çalışmada elde edilen sonuçların hassasiyetinin daha fazla olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca havzanın güneybatı ve kuzeydoğu bölgelerinde meydana gelen depremler kullanılarak bu iki bölge için ayrı ayrı gerilme analizi yapılmıştır. Havzanın güneybatısında meydana gelen 23 depremin faylanma mekanizmalarından elde edilen P- ve T- eksenlerinin azimut ve dalım değerleri kullanılarak  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ; 1.3 uyumsuzlukla ( $350^\circ/80^\circ$ ), ( $127^\circ/7^\circ$ ), ( $38^\circ/7^\circ$ ) olarak bulunmuştur.

Havzanın kuzeydoğusu için 36 adet deprem verisi kullanılmış ve 1.2 uyumsuzluk ile  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  sırasıyla ( $252^\circ/64^\circ$ ), ( $109^\circ/21^\circ$ ), ( $13^\circ/14^\circ$ ) elde edilmiştir. R değeri 0.35 olarak hesaplanmıştır.

Havzanın güneybatısı ile kuzeydoğusu arasında  $\sigma_3$  için  $25^\circ$ 'lik bir değişim olduğu görülmüştür. Gerilme analizi sonucunun, havzanın GB ve KD kesimindeki fayların doğrultusu ile uyumlu olduğu düşünülmektedir.

## 7 Conclusions

In this study, the stress tensor analysis of the Simav Basin, one of the elements of the Aegean Basin System, was obtained with the method developed by Gephart [35]. Firstly, stress tensor analyses were performed for the whole basin and then principal stress axes and R stress ratio were calculated for the southwest and northeast regions of the basin separately. All results obtained in the study were calculated within 95% confidence limits, with average misfits of 1.2.

59 earthquake data were used for the whole basin. The results for the whole basin are calculated with a misfit of 1.1. According to the results obtained, the fact that the maximum stress axis  $\sigma_1$  is vertical and the R stress ratio is obtained as 0.4 indicates the existence of the NNE-SSW direction extensional ( $N17^\circ E$ ) regime in the region.

The results obtained in this study are compared with the results obtained from the stress analyses conducted by other researchers for the region. The number of data used in this study is more than other studies. In addition, the results obtained in this study were found with a misfit of 1.1 within the 95% confidence limit. Therefore, the results obtained in this study are considered to be more sensitive.

In addition, using the earthquakes occurring in the southwest and northeast regions of the basin, stress tensor analyses were performed separately for these two regions.

Using the azimuth and plunge of the P- and T- axes obtained from the faulting mechanisms of 23 earthquakes occurred in the southwest of the basin,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  were found ( $350^\circ/80^\circ$ ), ( $127^\circ/7^\circ$ ), ( $38^\circ/7^\circ$ ) with a misfit of 1.3. R value was calculated as 0.45.

For the northeast of the basin, 36 earthquake data were used and  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  were obtained ( $252^\circ/64^\circ$ ), ( $109^\circ/21^\circ$ ), ( $13^\circ/14^\circ$ ) with a misfit of 1.2. R value was obtained as 0.45.

It has been observed that there is a  $25^\circ$  variation for  $\sigma_3$  between the southwest and northeast of the basin. It is thought that this situation is compatible with the direction of the faults in the SW and NE part of the basin.

## 8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Nihan HOŞKAN, fikrin oluşturulması, tasarının yapılması, literatür taraması, veri toplama, analizlerin gerçekleştirilmesi, yazım ve eleştirel inceleme, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve sonuçların incelenmesi aşamalarında katkı sunmuştur.

## 9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır"

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".

## 10 Kaynaklar

- [1] Şengör AMC. "The North Anatolian transform fault: Its age, offset and tectonic significance". *Journal of the Geological Society*, 136(3), 269-282, 1979.
- [2] Yılmaz Y, Genç S, Gürer ÖF, Bozcu M, Yılmaz K, Karacık Z, Altunkaynak S, Elmas A. "When did Western Anatolian Grabens begin to develop?". *Geological Society of London, Special Publication*, 173 (131), 353-384, 2000.
- [3] Reilinger R, McClusky SC, Oral MB, King W, Toksöz MN. "Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia Plate collision zone". *Journal of Geophysical Research*, 102, 9983-9999, 1997.
- [4] Allen M, Jackson J, Walker R. "Late cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates". *Tectonics*, 23(2), 1-16, 2004.
- [5] McKenzie DP. "Active tectonics of the Mediterranean region". *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185, 1972.
- [6] McKenzie DP. "Active tectonics of the alpine-himalayan belt: the aegean sea and surrounding regions". *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 55, 217-54, 1978.
- [7] Şengör AMC, Görür N, Şaroğlu F. "Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, strike-slip deformation, basin formation and sedimentation". *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 37, 227-64, 1985.
- [8] Oral MB, Reilinger RE, Toksöz MN, King RW, Barka AA, Kinik I, Lenk O. "Global positioning system offers evidence of plate motions in Eastern Mediterranean". *EOS Transactions American Geophysical Union*, 76, 9-11, 1995.
- [9] Kadrioğlu FT, Kartal RF, Kılıç T, Kalafat D, Duman TY, Özalp S, Emre Ö. "An improved earthquake catalogue (M ≥ 4.0) for Turkey and near surrounding (1900-2012)". *2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, İstanbul, Türkiye, 25-29 August 2014.
- [10] Demirtaş R, Erkmek C. *Deprem ve Jeoloji*. Ankara, Türkiye, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 52, 2000.
- [11] Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F. "Active fault map of Turkey". General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Türkiye, 2013.
- [12] Zescheke G. "Simav grabeni ve taşları". *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 5(1-2), 179-189, 1954.
- [13] Erer S. "Simav Depresyonu ve çevresinin jeomorfolojisi". İstanbul, Türkiye, İstanbul, Türkiye, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları, No: 86, 1977.
- [14] Akdeniz N, Konak N. "Simav-Emet Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi". Ankara, Türkiye, MTA Raporu, 6547, 1979.
- [15] Konak N. "Simav dolayının jeolojisi ve metamorf kayaçlarının evrimi". *İstanbul Yerbilimleri*, 3, 313- 337, 1982.
- [16] Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A. "Active faults and seismicity in Turkey". Ankara, Türkiye, MTA Report No: 8174, 1987.
- [17] Emre T. "Geology and tectonics of the Gediz Graben". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 171-185, 1996.
- [18] Emre Ö, Duman TY. "19 Mayıs 2011 Simav (Kütahya) Depremi Ön Değerlendirmesi Raporu". MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Yer Dinamikler Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü Aktif Tektonik Araştırmaları Birimi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [19] Bekler T, Demirci A, Özden S, Kalafat D. "Simav ve Emet fay zonlarındaki depremlerin optimum kaynak parametrelerinin analizi". *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim 2011.
- [20] Zülfişkar C, Kamer Y, Vuran E. "19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav Depremi". Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi Raporu, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [21] Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Doğan A. "Simav Fayı ve 19 Mayıs 2011 Simav Depremi (Mw=5.8)". *65. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 2-6 Nisan 2012.
- [22] Kartal RF, Kadrioğlu FT. "2011-2012 Simav depremleri (Ml=5.7, Ml=5.0, Ml=5.4) ve bölgenin tektonik yapısı ile ilişkisi". *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri*, 35(3), 185-198, 2014.
- [23] Seyitoğlu G. "The Simav graben: An example of young E-W trending structures in the Late Cenozoic extensional system of western Turkey". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 135-141, 1997.
- [24] Şaroğlu F, Emre Ö, Kuşçu İ. "Türkiye Diri Fay Haritası" Ölçek: 1/1000000. MTA Genel Müdürlüğü. Ankara, Türkiye, 1992.
- [25] Doğan A, Emre Ö. "Ege graben sistemi'nin kuzey sınırı: Sındırgı-Sincanlı fay zonu". *59. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 20-24 Mart 2006.
- [26] Gündoğdu E, Özden S, Karaca Ö. "Comparative structural analysis of field data from Simav fault and surrounding area with alos-palsar and landsat images". *Journal of the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Erciyes University*, 32(1), 60-71, 2016.
- [27] Özden S, Tutkun SZ, Bekler T, Karaca Ö, Komut T, Kalafat D, Ateş Ö, Demirci A, Gündoğdu E, Çınar S. "Simav Fayı ile Kütahya Fayı (Emet-Orta Batı Anadolu) Arasında Kalan Bölgenin Neotektonik ve Sismotektonik Özellikleri". Çanakkale, Türkiye, 109Y103, 2012.
- [28] Karakuş H, Özkul C, Ergüler ZA, Kibici Y, Yanık G. "Monte Carlo benzetimi ile Simav sahasının jeotermal kaynak potansiyelinin tahmini". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 323-329, 2017.
- [29] Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü "19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav Depremi Raporu". İstanbul, Türkiye, 2011.
- [30] T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. "Tarihsel Deprem Kataloğu". <https://deprem.afad.gov.tr/event-historical> (15.01.2023).
- [31] Ambraseys, NN, Finkel, CF. "The Saros-Marmara earthquake of 9 August 1912". *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 15(2), 189-211, 1987.
- [32] Ayhan, EE, Alsan, N, Sancaklı, SB, Üçer, B. *Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu (1881-1990)*. Boğaziçi İstanbul, Türkiye, Üniversitesi Yayınları, 1981.
- [33] T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. "Deprem Kataloğu", <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog> (15.01.2023).

- [34] Demirci A, Özden S, Bekler T, Kalafat D, Pınar A. "An active extensional deformation example: 19 May 2011 Simav earthquake (Mw=5.8), Western Anatolia". *Journal of Geophysics and Engineering*, 12(4), 552-565, 2015.
- [35] Gephart J. "Stress and the direction of slip on fault planes". *Tectonics*, 9, 845-858, 1990.
- [36] Gephart JW, Forsyth DW. "An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando earthquake sequence". *Journal of Geophysical Research*, 89, 9305-9320, 1984.
- [37] Benetatos C, Kiratzi A, Papazachos C, Karakaisis G. "Focal mechanisms of shallow and intermediate depth earthquakes along the Hellenic Arc". *Journal of Geodynamics*, 37(2), 253-296, 2004.
- [38] Parker R, McNutt M. "Statistics for the one-norm misfit measure". *Journal of Geophysical Research*, 85, 4429-4430, 1980.
- [39] Mutlu Kömeç A. "Seismicity, focal mechanism, and stress tensor analysis of the Simav region, Western Turkey". *Open Geosciences*, 12(1), 479-490, 2020.
- [40] Michael, AJ. "Use of focal mechanisms to determine stress: a control study". *Journal of Geophysical Research*, 92, 357-368, 1987.
- [41] Vavryčuk V. "Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms". *Geophysical Journal International*, 199, 69-77, 2014.
- [42] Carey E. "Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles". *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 21(1), 57-66, 1979.
- [43] Carey-Gailhardis E, Mercier JL. "A numerical method for determining the state of stress using focal mechanisms of earthquake populations: Application to tibetan teleseisms and microseismicity of Southern Peru". *Earth and Planetary Science Letters*, 82 (1-2), 165-79, 1987.