

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GPS ÖLÇÜMLERİ
VE FAY HAREKETLERİNDE DEPREM İLİŞKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan ASLAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki HASGÜR

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GPS ÖLÇÜMLERİ
VE FAY HAREKETLERİNDE DEPREM İLİŞKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gökhan ASLAN
(501101218)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki HASGÜR

Teslim Tarihi : 19 Aralık 2011

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101218 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gökhan ASLAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GPS ÖLÇÜMLERİ VE FAY HAREKETLERİNDE DEPREM İLİŞKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zeki HASGÜR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Zeki HASGÜR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zekai CELEP
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Melih GENİŞ
Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Teslim Tarihi : 19 Aralık 2011
Savunma Tarihi : 24 Ocak 2012

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anneme ve babama,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmalarım sırasında değerli fikirleri ile bana yol gösteren ve her türlü yardım ve destekte bulunan başta danışmanım Prof. Dr. Zeki HASGÜR'e ve Prof. Dr. Ömer AYDAN'a ve ayrıca çalışmada kullanılan GPS verilerinin elde edilmesinde yardımcı olan Prof. Dr. Ergin TARI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2011

Gökhan ASLAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE VE ÇEVRESİ LEVHA TEKTONİĞİ	5
2.1 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)	6
2.2 Doğu Anadolu Fayı (DAF)	6
2.3 Batı Anadolu Bölgesi (Ege Graben Sistemi EGS).....	6
2.4 Dağınık Deprem Episantrlarını Kapsayan Bölge	6
3. DEPREM DÖNGÜSÜ	7
4. REOLOJİ MODELLERİ.....	9
5. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ (GPS).....	11
6. GPS ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRME YAKLAŞIMI	13
7. TÜRKİYE’DEKİ GPS AĞLARI VE GPS İSTASYONLARI.....	17
8. DEPREM RİSKİ TAŞIYAN BÖLGELERİN SAPTANMASI.....	19
8.1.Birinci Çalışma Alanı.....	20
8.2.İkinci Çalışma Alanı.....	24
8.3 Üçüncü Çalışma Alanı	27
9. SONUÇ.....	29
KAYNAKLAR	31
EKLER.....	33
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

KKS (GPS)	: Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
SOPAC	: Scripps Orbit and Permanent Array Center
BDHT	: Birim Deformasyon Hız Tensörü
GHT	: Gerilme Hız Tensörü
AG	: Asal Gerilme
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
EGS	: Ege Graben Sistemi

SEMBOL LİSTESİ

$\dot{u}$	: Yerdeğiştirme hız vektörünün x yönündeki bileşeni
$\dot{v}$	: Yerdeğiştirme hız vektörünün y yönündeki bileşeni
$\dot{\epsilon}_{xx}$	: Birim deformasyon tensörünün x düzlemine etkiyen normal bileşeni
$\dot{\epsilon}_{yy}$	: Birim deformasyon tensörünün y düzlemine etkiyen normal bileşeni
$\dot{\gamma}_{xy}$	: Birim deformasyon tensörünün makaslama bileşeni
$\dot{\sigma}_{xx}$	: Gerilme hız tensörünün x düzlemine etkiyen normal bileşeni
$\dot{\sigma}_{yy}$	: Gerilme hız tensörünün y düzlemine etkiyen normal bileşeni
$\dot{\sigma}_{xy}$	: Gerilme hız tensörünün makaslama bileşeni
λ	: Lamé Sabiti
μ	: Kesme (Kayma, Maksalama) modülü
$\sigma_{1,3}$	: Makaslama ve minimum asal gerilme
θ	: Asal gerilmenin yatayla yaptığı açı
σ_m	: Ortalama gerilme
τ_m	: En büyük makaslama gerilmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 8.1 : Çalışmada kullanılan sürekli verileri olan GPS istasyonları. 20

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Mc. Kenzie tarafından tanımlanan Türkiye ve yakın çevresinin tektonik modeli – 1 (McClusky vd., 2000).	5
Şekil 3.1	: Gerilmenin tam anlamıyla oluşmadığı evrede gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.	8
Şekil 3.2	: Bölgede gerilmenin yükseldiği evrede gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.	8
Şekil 3.3	: Fayın kırılması ile gerilme boşalımı evresinin gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.	8
Şekil 4.1	: Yük altındaki malzemelerde zamana bağlı karakteristik eğriler.	10
Şekil 5.1	: Küresel Konumlama Sisteminin basitleştirilmiş gösterimi.	11
Şekil 5.2	: Bir GPS istasyonunda güvenilir ölçüm için gerekli uydu sayısı.	12
Şekil 5.3	: GPS İstasyonlarına bazı örnekler a) Türkiye’deki süreksiz GPS istasyonu, b) Kandilli Sürekli GPS istasyonu. (Aydan, 2000).	12
Şekil 6.1	: Koordinat sistemi ve tipik bir üçgen eleman için yerdeğiştirme hızlarının tanımı (Aydan, 2000).	14
Şekil 7.1	: MIT’nin önderliğinde kurulan GPS ağı ve Türkiye’nin belli başlı fayları.	17
Şekil 7.2	: HGK’nin liderliğinde kurulan TUTGA99 GPS ağı.....	18
Şekil 7.3	: Türkiye’nin Kurulmuş sürekli GPS istasyonları.....	18
Şekil 8.1	: GPS verilerinin işlenmesinde kullanılan akış diyagramı.	19
Şekil 8.2	: Türkiye ve yakın çevresini içine alan <i>kaba</i> sonlu eleman ağı.	21
Şekil 8.3	: Çalışma alanında yer alan GPS istasyonlarına ait zaman çizelgesi.	21
Şekil 8.4	: Kurulması istenen sonlu eleman ağı modeli. (Veri süreksizliğinden dolayı kurulamamıştır).	22
Şekil 8.5	: Türkiye ve çevresinde 07.05.1998 ~ 01.01.2006 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin dağılımı.	23
Şekil 8.6	: Türkiye ve çevresinde 07.05.1998 ~ 01.01.2006 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.	23
Şekil 8.7	: Türkiye ve yakın çevresi için oluşturulan GPS ağı.	25
Şekil 8.8	: Türkiye ve yakın çevresi için oluşturulan GPS ağının düğüm noktası ve eleman numaraları.	25
Şekil 8.9	: Yıllık yerdeğiştirme hızları.	26
Şekil 8.11	: Marmara Bölgesi ve çevresi asal gerilme yönleri.....	28
Şekil 8.12	: Marmara Bölgesi asal gerilme yönleri.	28
Şekil A.1	: ANKR istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).	35

Şekil A.2	: BAHİR istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).....	36
Şekil A.3	: NICO istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).....	36
Şekil A.4	: NSSP istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).....	37
Şekil A.5	: SOFI istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).	37
Şekil A.6	: TUBİ istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).....	38
Şekil A.7	: ZECK istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).....	38
Şekil B.1	: 1, 2, 3, 4 numaralı elemanlar için Birim Deformasyon Hız Tensörü Grafikleri.	39
Şekil B.2	: 5, 6, 7 numaralı elemanlar için Birim Deformasyon Hız Tensörü Grafikleri.	40
Şekil B.3	: 1, 2, 3, 4 numaralı elemanlar için Gerilme Hız Tensörü Grafikleri.	41
Şekil B.4	: 5, 6, 7 numaralı elemanlar için Gerilme Hız Tensörü Grafikleri.	42
Şekil B.5	: 1, 2, 3, 4 numaralı elemanlar için Asal Gerilme değerleri ve yönlerinin günlük değişim grafiği.....	43
Şekil B.6	: 5, 6, 7 numaralı elemanlar için Asal Gerilme değerleri ve yönlerinin günlük değişim grafiği.....	44
Şekil C.1	: 1 numaralı eleman için σ_1 asal gerilme değerleri zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.	45
Şekil C.2	: 1 numaralı eleman için σ_3 asal gerilme değerleri zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.	45
Şekil C.3	: 1 numaralı eleman için θ (asal gerilme yönü) zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.....	46
Şekil C.4	: 1 numaralı eleman için Birim Deformasyon Hız Tensörü ε_{xx} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.....	46
Şekil C.5	: 1 numaralı eleman için Birim Deformasyon Hız Tensörü ε_{yy} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.....	47
Şekil C.7	: 1 numaralı eleman için Gerilme Hız Tensörü σ_{xx} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.	48
Şekil C.8	: 1 numaralı eleman için Gerilme Hız Tensörü σ_{yy} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.	48
Şekil C.9	: 1 numaralı eleman için Gerilme Hız Tensörü σ_{xy} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.	49
Şekil C.10	:Asal gerilme değerleri ve yönleri (7 Mayıs 1998).	49
Şekil C.11	: Asal gerilme değerleri ve yönleri (7 Mayıs 1998~16 Ağustos 1999).....	50
Şekil D.1	: Türkiye'nin yıllık asal gerilme hızlarının dağılımı.	51
Şekil D.2	: Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası 1.	51
Şekil D.3	: Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-2.	52
Şekil D.4	: Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-3.....	52
Şekil D.5	: Asal gerilme değerlerinden σ_3 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.....	53

Şekil D.6 : Asal gerilme değerlerinden σ_3 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-2.....	53
Şekil D.7 : Asal gerilme değerlerinden σ_3 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-3.....	54
Şekil D.8 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-1.....	54
Şekil D.9 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-2.....	55
Şekil D.10 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-3.....	55
Şekil D.11 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.....	56
Şekil D.12 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-2.....	56
Şekil D.13 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-3.....	57
Şekil D.14 : Makaslama gerilmesi τ_m 'e karşılık gelen kontur haritası-1.	58
Şekil D.15 : Makaslama gerilmesi τ_m 'e karşılık gelen kontur haritası-2.	58
Şekil D.16 : Makaslama gerilmesi τ_m 'e karşılık gelen kontur haritası-3.	58
Şekil E.1 : Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.....	59
Şekil E.2 : Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-2.....	60
Şekil E.3 : Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-3.....	60
Şekil E.4 : Asal gerilme değerlerinden σ_3 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.....	61
Şekil E.5 : Asal gerilme değerlerinden σ_3 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-2.....	61
Şekil E.6 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-1.....	62
Şekil E.7 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-2.....	62
Şekil E.8 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-3.....	63
Şekil E.9 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.....	63
Şekil E.10 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-2.....	64
Şekil E.11 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-3.....	64
Şekil E.12 : Makaslama gerilmelerine karşılık gelen değerlerin kontur haritası.....	65

GPS ÖLÇÜMLERİ VE FAY HAREKETLERİNDE DEPREM İLİŞKİSİ

ÖZET

Kabuk deformasyonları belirleme çalışmaları jeoloji, jeofizik, jeodezi, inşaat ve maden mühendislikleri gibi farklı disiplinlerde çalışan bilim insanları tarafından yürütülmektedir. Günümüzde, levhalar üzerinde seçilen koordinatların deformasyon ölçümleri yapılabilmektedir. Bu tür ölçümler vasıtasıyla ilgili kabuk içerisinde birikmesi öngörülen gerilme değerleri ve belirlenen bu gerilme değerleri altında litosferin elastik özelliklerine bağlı olarak nasıl bir davranış sergileyeceğini tespit etmek mümkündür. Böylece plakaların hareketinden yola çıkarak plaka içerisinde birikmesi öngörülen basınç değerlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için, GPS ölçümlerinin yüksek hassasiyette yapılması gerekmektedir. Benzer araştırmalar tektonik hareketlerin zamana bağlı davranışlarını anlama ve depremlerin meydana gelme olasılığını kestirme açısından hayati önem taşımaktadır.

Ele alınan bölge için kabuk yapısında meydana gelen değişimlerin belirli bir zaman aralığında tespiti için kullanılması gereken ölçümlerin de sürekli olması gerekmektedir. Ancak bu şekilde deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası ölçümleri yardımıyla fay hareketlerinin tanımlanması mümkündür.

Bu çalışma kapsamında farklı bölgeler için hem sürekli GPS verileri hem de yıllık ortalama GPS verileri kullanılarak 3 farklı veri seti ile çalışılmıştır.

Birinci çalışma alanını oluşturan, Türkiye ve çevresini kapsayan bölge için 7 adet sürekli ölçümleri bulunan GPS istasyonu ile bir GPS ağı oluşturulmuştur. 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi'nin oluşturulan GPS ağı üzerindeki etkisini belirlemek için 7 Mayıs 1998 ile 27 Temmuz 2008 tarihleri arasında kalan yaklaşık 10 yıllık bir zaman dilimini kapsayan GPS ölçümleri analiz edilmiştir. İkinci çalışma alanı yine Türkiye ve yakın çevresi için 1988-1997 yılları arasında yapılan GPS ölçümlerinin yıllık ortalaması kullanılarak toplam 32 adet GPS istasyonunu içeren ve ilk çalışmaya göre daha geniş kapsamlı olan bir ağ oluşturulmuştur. Üçüncü çalışma alanı Marmara Denizi ve yakın çevresini kapsayan GPS ağı 28 adet istasyon kullanılarak oluşturulmuştur.

Elde edilen sonuçlar ile ilgili çalışma alanlarının asal gerilme haritaları konturlama yöntemi ile farklı temalar kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan hesaplama ve haritalama çalışmalarının hepsinde MATLAB programından faydalanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar Türkiye'nin genel plaka tektoniği ile karşılaştırılmış ve sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, günlük yaşamımızın bir parçası olan GPS sisteminin uzaktan algılama ve ölçme sistemlerinde son derece etkin ve gelişmeye açık bir sistem olduğu düşünülürse, yerkürenin dinamiğinin anlaşılması mümkündür. Bu çalışmada kurulan GPS ağının seyrekliği, kullanılan dataların kesikli ve kısa bir dönemi kapsamaması bir dezavantaj gibi görülmesine rağmen daha yoğun GPS ağları ve daha zengin ve sürekli istasyon verileri kullanarak çok daha doğru sonuçlara gidilebileceği anlaşılmıştır.

EARTHQUAKE RELATIONSHIP BETWEEN FAULT MOVEMENTS AND GPS MEASUREMENTS

SUMMARY

Turkey tectonically is part of the famous Alpine belt that extends from the Atlantic Ocean to the Himalaya Mountains. There are many large and small faults endowed with different mechanisms as a result of the collision of Arabian and African plate with Eurasian Plate. North Anatolian Fault Zone (NAFZ) is one of the most active region where very destructive earthquakes took place in the past, situated from Karlıova to Mudurnu. As a consequence of those tectonic movements East Anatolian Fault Zone (EAFZ) generate many important earthquakes as well, starting from Antakya - Amik Basin to Karlıova junction. In addition to this situation, Eagen Graben System is very known active area in terms of earthquake occurring in the East Mediterranean Sea. Regarding these three very important earthquake zone, it can be said that Turkey is at risk in the sense of destructive earthquakes occurring obviously In the last century, Turkey was land owner of several catastrophic earthquakes like 1939 Great Erzincan Earthquake (M=7.9), 1943 Tosya Ladik Earthquake (M=7.2), 1999 Marmara Earthquake (M=7.5) and the last example is 2011 Van Earthquake (7.2).

Earthquakes which come with loss of life and property affect negatively to the countries in terms of materiality and spirituality. Due to that reason, prediction of some parameters like the time of the occurring, magnitude and location of earthquakes are investigated by many scientists from different disciplines. In the earthquake prediction researches there is not only deterministic approaches but also there are many stochastic approximations. For that purpose, great numbers of parameters are investigated just like, alteration of magnetic field and electrical field, flactuations of radon gas, changes of water level and temperature for water wells and anomaly behaviour of animals.

Earthquake source parameters, fault slip length, hypocentral depth, spreading of the stress fields and reaction with other faults provides improved estimations of earthquake risk analyses. Reliably presenting of earthquake threat is enabled by constucting monitoring local, regional, national networks. Before, after and at the time of the earthquake, description of the physical and chemical changes that occurred as a result of crustal deformation contribute to definition of active faults, reaction of the faults with eachothers, earthquake prediction research.

With the new scientific approaches, scientists tried to protect from natural disasters by determining them more accurately. It is a major step that human beings enabled monitoring the planet from space by means of satellite technology. Technological improvements not only provide making more precise analysis about understanding of planet but also come with new approximation methods that should be interdisciplinary. In this manner, studies of earthquakes, fault mechanism, earthquake parameter determination and earthquake effects on surface and underground are

led by geology, geophysics, geodesy, civil and mining engineers. Firstly, GPS is used by USA-Ministry of Defence for military aims like finding directions, military attacks and rockets firings. After its permission for civil usage, it has got several application fields such as geodesy, geophysics, archeology and mining.

The Global Positioning System has been the most applicable to understand crustal movements, fault behaviours, periodicity of the earthquakes. GPS consists of satellites spin around orbit continuously and receiver-controller system situated definite position on plates. The satellites propagate radio signals to receivers and GPS receivers enable positionings of stations. GPS technology is widely used by geodesy and photogrammetry for positioning borders, structures and map theme. By taking data from a GPS device repeatedly, movement along the faults and subduction zones between plates can be determined.

Earthquakes can be described as a complex elastic wave propagation due to relaxation of accumulated energy (flexible deformation) in the faults. After the earthquakes, two types of deformation emerge, static and dynamic deformation. Static deformation is a permanent (plastic) deformation depending on offset quantity and mechanism of the fault. Dynamic deformation propagates by elastic waves during and after fracturing of the fault and it causes pressure, rotation and distortion.

Reid, source of inspiration in this monitoring technology, is the first person led to study about earthquake mechanism solution and crust deformation by geodetic measurements on San Francisco Earthquake back in 1906. Elastic rebound theory is an clarification for how energy is spread during earthquakes. According to Reid's theory, the geodetic network and triangulation station is being deformed when it is subject to any seismic forces, and faults behaviours can be modelled with the help of this theory.

Determination studies of crustal deformation are conducted by many scientists work in different disciplines. Nowadays, deformation measurements of specific coordinates which take place on the plates is available. By the help of these measurements, expected stress values that accumulated in crustal and under these stress values ascertainment of lithosphere's behaviour that depends on its elastic properties is available. In order to do these calculations correctly GPS measurements have to have high precision. These researches have vital importance from the view point of understanding time dependent tectonic movements and prediction of occurrence probability. The biggest disadvantage of GPS technology is being dependant to USA decision as seen 2003 Iraq War. Due to these manipulations, GPS stations don't have continuous data. These kind of shortages removed by linearization.

Regarding the area to be considered, the measurements which are to determine the changes in structure of crustal that occurred in specific time should be continual. Only when this applied, the fault behaviours can be defined by means of the measurements that are taken before the earthquake, at the time of earthquake and after the earthquake.

Three different data sets are worked by using the continuous and year average of GPS data sets for different regions in the extent of this study. Referring to the results of the study areas, the principal stress maps are obtained by making use of contouring methods with using different themes. All of this application is executed in MATLAB.

Analyzing, visualization and mapping application for all of the study areas are composed of some hierarchy coding in MATLAB. Firstly, latitude and longitude values of stations are executed for the interested study area. After that, lateral displacement component of the stations are executed to the MATLAB Workspace as inputs. And then coordinate values of coastal lines for the interested study area are entered to the MATLAB. After that input execution, decisive parameters like unit deformation velocity tensor, stress velocity tensor, principal velocity values and rotations of this values are obtained by doing some linear assumption.

Seven GPS stations which have continuous measurements and a GPS network are created for the region of the first study area and its surroundings. To determine the effect of 17 August 1999 Gölcük Earthquake on GPS network, GPS measurements that cover approximately 10 years time period between 7 May 1998 and 27 July 2008 are analyzed. To determine whether there is any relationship between changes in GPS data and earthquakes or not, 1356 earthquake record is defined that covered the study area between 7 May 1998 and 1 January 2006. Earthquake data sets are obtained from Kandilli Observatory and Earthquake Research Institution. Taking into consideration of finite element network for the first study area, for the most affected element by 17 August 1999 Gölcük Earthquake, displacement and stress alterations are compared with definite earthquake records. According to the comparisons, after the 17 August Gölcük Earthquake, there is a strict harmony between seismicity of the area and strain velocity and unit deformation velocity. In so far as roughness of the GPS network and because of linear behaviour assumption of the crust, creep behaviour that should be observed in especially Ismetpaşa segment of the North Anatolian Fault can't be obtained.

When principal stress maps are investigated for the first study area, stress values are compatible with tectonics of the areas. Most affected element of the network takes place in Aegean region, hence this region is one of the most famous area in terms of earthquake activity. Principal stress maps refer that there is not only a decreasing of the stress values but also shows that there is a counter clockwise rotation of the stress values.

For second study area which take place on Turkey and surrounding, by considering yearly average GPS measurements between 1988 and 1997 which involve 32 GPS station and 51 element, more detailed than first study network is designed. The measurements cover all area from Caucasus Mountains to Adriatic Sea and from north of the African plate to south margin of the European plate.

After analyzing of the second study area, when distribution of the principal stress values are investigated, regions that contain the highest stress values like Erzincan and surrounding area, Egean coastlines and Saros Gulf are at the same time most active regions in terms of seismic activity. Also, there is a obvious lineament between the distribution of the shearing stress values and North Anatolian Fault. This Lineaments proves right lateral strike behaviour for the NAFZ.

As it is well known, after Marmara and Düzce Earthquake, Marmara region is a center of attention for many scientists who are from different disciplines. Especially, there are many studies for the Marmara region about determination of the faults mechanism and periodicity for taking some precaution to be protected from destructive effects of earthquakes. In the third study area, the most appropriate GPS network is constructed and using the finite element method proposed by Aydan (2000), the variation of the quantity and the direction for the principal stress

distribution is executed in Marmara Sea and the vicinity of it. The last study area GPS network that cover Marmara Sea and nearby is created with using 28 GPS station and 43 element. According to maps show distribution the principal stress values, the most notable areas in terms of high shearing stress are compatible with clustering of epicentres. The results obtained are compared with Turkey's plate tectonic and they are consistent with each other.

In conclusion, as a part of our daily life GPS which is a system of remote sensing and measurement is very effective and open-to-improvement instrument for defining earth dynamics. With the widespread usage of GPS scientific researchers would be able to understand nature easily. Although in this study, analyzed data and density of the networks for all case studies were rough, by using more dense network and more continuous GPS time series, better result could be obtained.

1.GİRİŞ

Bilindiği gibi Türkiye, Alp kıvrım sistemi üzerinde yer alan bir deprem ülkesidir. Arap ve Afrika plakalarının Avrupa plakası ile çarpışması sonucu Doğu Akdenizde ve Anadolu Platosu içerisinde irili ufaklı, farklı mekanizmalara sahip faylanmalar oluşmuştur. Bu faylar içerisinde geçmişte son derece yıkıcı depremlerin meydana geldiği Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) dünyanın en aktif ve önemli fay zonu olup doğuda Karlıova ile batıda Mudurnu arasında doğu batı doğrultusunda bir yay gibi uzanır. Anadolu Platosu'nun maruz kaldığı bu tektonik durum neticesinde Antalya – Amik Ovasından başlayıp Karlıova civarında Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile birleşen Doğu Anadolu Fayı (DAF) da bölgede geçmişte son derece yıkıcı depremler üretmiştir. Bunun yanında Ege Graben Sistemi'ni (EGS) de düşündüğümüzde ülkemizin aktif bir deprem kuşağında yer aldığını söyleyebiliriz.

Depremlerin neden olduğu can ve mal kayıpları ülkeleri hem maddi hemde manevi yönden son derece olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden depremin oluşum zamanı, büyüklüğü ve konumunun tahmini gibi parametreler farklı disiplinlerdeki birçok bilim insanları tarafından araştırılmaktadır. Deprem tahmini için hem stokastik hemde deterministik yöntemler kullanılmaktadır. Bu amaçla yer kabuğunun manyetik ve elektrik alan değişimi, radon gazı çıkışındaki değişimler, su kuyularındaki su seviyesinin ve sıcaklıklarının değişimi, canlıların anormal davranışları gibi farklı veriler incelenmektedir.

Bilim tarihini incelediğimizde, bilimsel anlamda ortaya konulan yaklaşımlar ile birlikte bilim insanları doğa olaylarını daha hassas bir şekilde tespit ederek bunlardan korunmaya çalışmışlardır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte dünyamızı uzaydan izleme imkanı yaratan insanoğlu bu yolda büyük bir adım kaydetmiştir.

Teknolojideki gelişimler bu tür analizlerin daha hassas bir şekilde yapılmasını sağlamakla kalmayıp disiplinler arası çalışmaları gerekli kılan bir takım yeni yöntemlerin gelişmesini sağlamıştır. Başta jeoloji, jeofizik, jeodezi, inşaat ve maden mühendisliği gibi depremler, fay mekanizmaları, deprem parametrelerinin

belirlenmesi, depremin yeryüzeyinde ve yeraltında meydana getirdiği etkiler gibi konular üzerine çalışan bilim insanları bu gelişmelerin öncülüğünü yapmışlardır.

İlk olarak ABD Savunma Bakanlığı tarafından yön bulma, askeri çıkartmalar ve roket atışları gibi askeri amaçlı kullanılan KKS (Küresel Konumlandırma Sistemi) sistemlerinin sivil kullanıma açılması ile jeodezi, jeofizik, arkeoloji, maden gibi birçok farklı disiplinde çok çeşitli uygulama alanı bulmuştur.

GPS sistemi yörüngede sürekli olarak dönen uydulardan ve yeryüzünde bulunan alıcı-kontrol sisteminden oluşur. Bu uydular radyo sinyalleri yayarak yeryüzündeki GPS alıcısına gönderirler ve GPS alıcısı bu sinyalleri alarak konum belirlemeyi mümkün kılar. Bu sistem haritacılar tarafından sınırların, yapıların, harita işaretlerinin konum tespiti gibi çalışmalar için kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinin önemli uygulamalarından biri olan GPS (Global Positioning System) verileri kullanılarak çalışma alanları üzerinde oluşturulan GPS ağı yardımı ile ve bir takım kabuller yapılarak yerküre üzerinde oluşması öngörülen gerilme değerleri tespit edilmiştir.

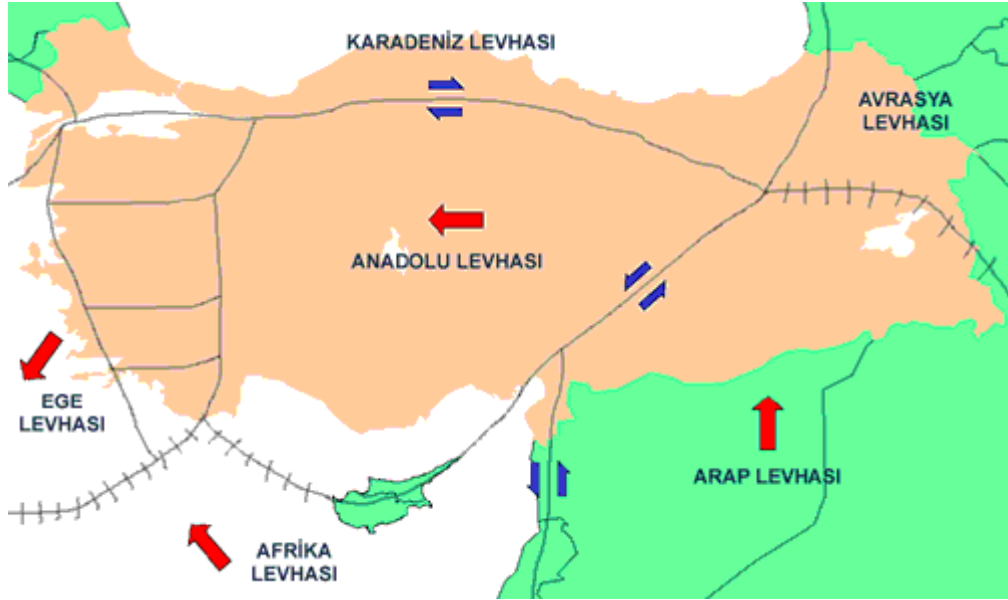
Birinci çalışma alanını oluşturan Türkiye ve yakın çevresini kapsayan bölge için oluşturulan GPS ağı yaklaşık on yıllık sürekli ölçümleri bulunan yedi adet GPS istasyonundan oluşturulmuştur. Türkiye ve yakın çevresini kapsayan böylesine büyük bir arazi örtüsünü sadece yedi adet GPS istasyonundan oluşan bir ağ ile analiz etmek kaba bir yaklaşım olarak düşünülebilir. Ancak, Japonya ve ABD ile karşılaştırıldığında kurulu GPS istasyonu sayısı bakımından emekleme aşamasında olan ülkemizin, tektonik hareketler ve faylay dikkate alınarak kurulacak yeni istasyonlar ile birlikte daha hassas ve yoğun GPS ağları ile daha doğru sonuçlara ulaşmak mümkündür. Her ne kadar sürekli veriler ile çalışılsa da, GPS istasyonlarına ait bir takım teknik arıza ve bakım işleri için bazı günler veri kaydının yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu tür veri süreksizliği lineerleştirme yöntemi ile giderilmiştir. Sistemin en büyük zaaf noktası ABD'nin iradesine bağlı olmasıdır. 2003 Irak Şavaşı'nda bölgeden elde edilen GPS ölçümlerinde bir takım manipülasyonların ve eksikliklerin olduğu görülmektedir. Birinci çalışma alanında temel amaç 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nin oluşturulan GPS ağı üzerindeki etkisini belirlemektir. Bunun için 7 Mayıs 1988 ile 27 Temmuz 2008 tarihleri arasında kalan, yaklaşık 10 yıllık bir zaman dilimini kapsayan GPS ölçümleri analiz edilmiştir.

İkinci çalışma alanı, yine Türkiye ve yakın çevresi için 1988~1997 yılları arasında yapılan GPS ölçümlerinin yıllık ortalaması kullanılarak toplam 32 adet GPS istasyonunu içeren ve ilk çalışmaya göre daha geniş kapsamlı ve daha hassas olan bir ağ oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda tespit edilen genişleme ve sıkışma bölgeleri bölge üzerinde konturlanarak çeşitli tematik stress haritaları üretilmiştir.

Üçüncü çalışma alanı ise Marmara Denizi içerisinde yer alan Kuzey Anadolu Faz Zonu'nun batı kısmına odaklanmıştır.

2. TÜRKİYE VE ÇEVRESİ LEVHA TEKTONİĞİ

Türkiye genel olarak, Alp kıvrım sistemi üzerinde yer almaktadır. Topografik olarak iki dağ silsilesi, batıdan doğuya doğru ülkemizi katetmektedir. Bunlardan bir tanesi Kuzey Karadeniz boyunca, bir diğeri Güney Akdeniz boyunca görülmektedir. Bu iki dağ silsilesi arasında, yüksekliği ortalama 1000 m. olan Anadolu platosu yer almaktadır.



Şekil 2.1 : Mc. Kenzie tarafından tanımlanan Türkiye ve yakın çevresinin tektonik modeli – 1 (McClusky vd., 2000).

Türkiye, tektonik yapısına göre dört ana deprem bölgesine ayrılmıştır.

2.1 Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)

Türkiye, Alp- Himalayan sismik kuşağı üzerinde yer aldığından; Kuzey anadolu Fay Hattı, bu tektonik kuşak üzerinde çok etkin bir bölge olarak uzanmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu dünyanın en aktif ve önemli fay zonu olup doğuda Karlıova ile batıda Mudurnu arasında doğu-batı doğrultusunda bir yay gibi uzanır. Uzunluğu yaklaşık 1200 km, genişliği ise 100 m. ile 10 km. arasında değişmektedir.

2.2 Doğu Anadolu Fayı (DAF)

Doğu Anadolu Fayı, Antakya – Amık Ovasından başlar Karlıova civarında Kuzey Anadolu Fayı ile birleşmektedir.

2.3 Batı Anadolu Bölgesi (Ege Graben Sistemi EGS)

Güney Marmara Bölümü ile Kıyı Ege Bölümü'nü içine alan bu kuşakta irili ufaklı birçok fay vardır. Başlıca çöküntü bölgeleri; Büyük Menderes, Küçük Menderes, Alaşehir, Simav, Bergama ve Edremit havzalarıdır.

2.4 Dağınık Deprem Episantrlarını Kapsayan Bölge

Bu tür bölgelerde meydana gelen depremler, yukarıda sıraladığımız Türkiye'nin önde gelen üç deprem bölgesinin dışında meydana gelen Ecemiş, Bartın, Tuzgölü gibi belirli bir bölgede meydana gelen ve KAFZ gibi büyük bir sisteme ait olmayan depremlerdir.

3. DEPREM DÖNGÜSÜ

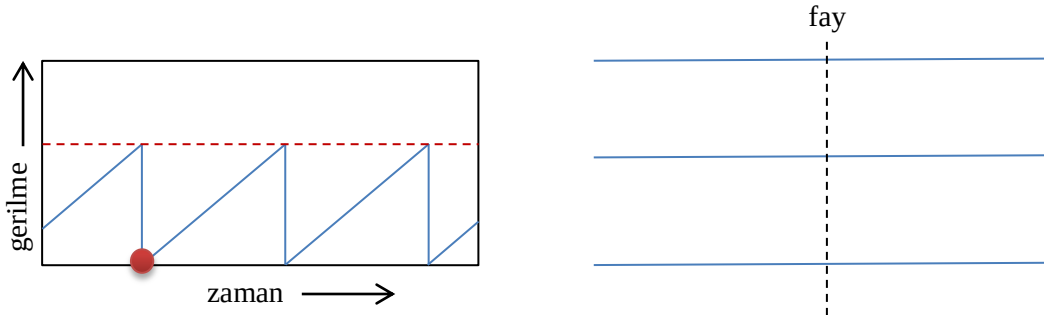
Deprem, yer kabuğunda fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken elastik yamulmanın aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinin neden olduğu karmaşık elastik dalga hareketine neden olur. Deprem sonrasında statik ve dinamik olmak üzere iki tür deformasyon meydana gelmektedir. Statik deformasyon deprem sonrasında fayda ve civarında meydana gelen kalıcı deformasyondur ve fayın atım miktarı ve mekanizmasına bağlı oluşur. Dinamik deformasyon ise fayın kırılması sırasında meydana gelen elastik dalgalar ile yayılan ve deprem dalgasının ortamdan geçtiği sırada sıkışma, yamulma, dönem hareketleri sonucu zamana bağlı oluşur. Dinamik deformasyon genelde kalıcı olmayan bir deformasyon şeklidir. (Çakmak, 2010)

Depremlerin meydana gelmesi, jeodezik bakış açısı ile genel olarak elastik serbestlenme kuramı (*elastic rebound theory*) ile açıklanmaktadır. Elastik serbestlenme kuramı, 1906 San Francisco depreminden sonra Reid tarafından tanımlanmıştır. Jeodezik yöntemlerle depremleri incelemeye yönelik ilk önemli çalışma olan 1906 San Francisco depremi sonrasında, bölgedeki nirengi ağlarında açı ve doğrultu okumaları tekrarlanmış ve deprem öncesindeki okumalarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonrasında deprem sonrası meydana gelen en büyük yerdeğiştirmenin azaldığı gözlemlenmiştir. 1906 San Francisco depreminde gerçekleştirilen yersel ölçmeler Reid'in "elastik serbestlenme kuramı"nın temellerini oluşturmuştur (Reid, 1910).

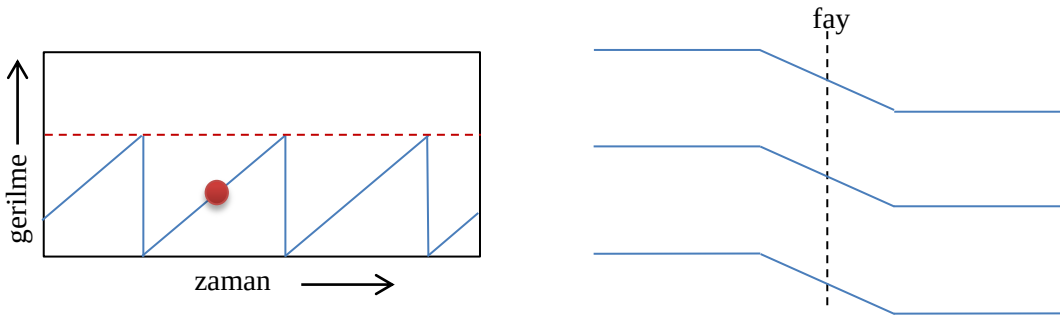
Reid teorisi ile depremi, fay boyunca elastik yamulmanın ani rahatlaması olarak tanımlamıştır. Depreme neden olan yamulmanın ise fayın her iki tarafında bölgenin durağan hızının zamana bağlı olarak birikiminin sonucu olduğunu belirtmiştir (Reid, 1910). Reid tarafından öne sürülen elastik serbestlenme kuramına göre, deprem döngüsü üç ana adımda tanımlanmaktadır:

- 1-Ortamın sakin olduğu, gerilme birikiminin olmadığı evre (Şekil 3.1),
- 2-Levha tektoniğine bağlı olarak bölgede gerilmenin biriktiği evre (Şekil 3.2),

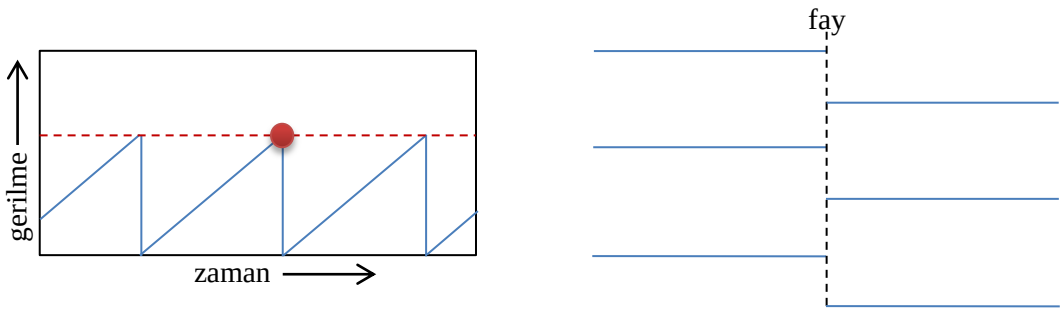
3-Fayın kırılması ile bölgedeki gerilme boşalımı evresi (Şekil 3.3).



Şekil 3.1 : Gerilmenin tam anlamıyla oluşmadığı evrede gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.



Şekil 3.2 : Bölgede gerilmenin yükseldiği evrede gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.



Şekil 3.3 : Fayın kırılması ile gerilme boşalımı evresinin gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.

Depremlerin oluşumunda son derece önemli bir husus olan gerilme-zaman ilişkisi, Reid'in yukarıda da anlatılmaya çalışılan elastik serbestlenme kuramı ile açıklanmıştır. Bu kurama göre depremlerin tekrarlanma aralığının belirlenmesi mümkündür. Fakat bilindiği gibi depremlerin oluşturduğu etkinin, yüksek doğrulukla basit lineer davranışlarla açıklanması mümkün değildir.

4. REOLOJİ MODELLERİ

Reoloji, cisimlerin yük, şekil değiştirme ve zaman faktörleri altındaki davranışlarını inceleyen özel bir bilim dalıdır. Cisimlerin doğadaki mekanik davranışlarının elastik, plastik ve viskoz bileşenler içerdiği deney ve gözlemler vasıtasıyla saptanabildiğinden, bunların matematiksel modellerinin yapılabilmesi için, ilgili sistemlerin ardışık yada paralel bağlanmaları ile oluşturulan yapılan kullanılabilir. Oluşturulan bu matematiksel modellerde temel girdi zamanın fonksiyonu olarak ölçülen jeodezik değişimlerdir.

Jeodezik veriler ışığında ortamın uzun dönem levha hareketlerine veya anlık depremler sonucu oluşan yüklere bağlı, zamanın fonksiyonu olarak tepki vermesi, şekil değiştirmeye zorlanması reolojik olarak ele alınabilir.

Gerilme altındaki cisimlerin davranışlarından hareketle gerilmeye verilen tepkiye göre farklı reolojik modeller ve bu modelleri açıklayan ideal modeller aşağıda anlatılmıştır.

a) Elastik davranış bir yay veya lastik silgi ile örneklendirilebilir. Yay veya silgiye gerilme uygulanarak ortamda elastik yamulmanın birikimi sağlanır. Yay veya silgi üzerindeki gerilme kuvveti ortadan kaldırılırsa, zaman içinde hiçbir gecikme olmadan her iki madde eski haline geri döner.

b) Pore elastik davranışlar sünger örneği ile açıklanabilir. suya doymuş bir süngeri sıkıp, sonra bırakırsak, sünger gözeneklerinde bulunan sıvı sebebi ile tam anlamı ile eski haline dönemez. Süngeri sıkarak uyguladığımız gerilmenin elastik olan kısmı değişikliğe neden olan gerilmenin kaldırılması ile ordan kalkar. Fakat plastik olan kısım süngerin sıvı doygunluğu nedeni ile etkiyen kuvvetin ortadan kalkması ile birden eski haline dönemez. Özellikle faz zonları boyunca bulunan boşluk suyunun, deprem anındaki sıkışma sonucu gözeneği terk etmesi ve zaman içinde geri dönmesi ile bu davranış doğada örneklenebilir (Feigl ve Thatcher)

c) Viskoelastik davranışlar ise bal ve içindeki kaşık ile örneklenebilir. Bal içindeki kaşığın hareketi sürekli, geri dönüşümü olmayan ve ortama uygulanan etkiye

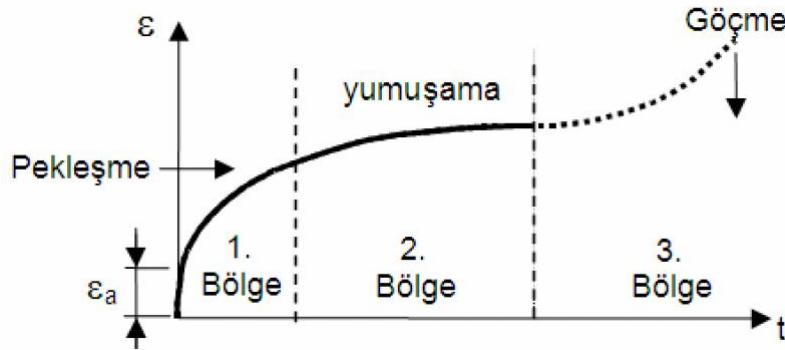
gecikmeli tepki veren bir yer değiştirmeye sebep olur. Bu tür yer değiştirmeler sünek alt kabuk ve/veya akıcı üst manto ile ilişkilendirilir (Feigl ve Thatcher, 2006).

4.1 Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

Sünme, sabit sıcaklıkta, uzun süreli sabit çekme veya basma yükleri altında meydana gelen plastik deformasyondur. Bu kavrama İngilizce karşılığı olan creep kalimesinin birebir çevirisinden kaynaklanan bir tutumla *sürünme* de denmektedir. Sünme, bir malzemenin akma gerilmesinin altında, gerilme etkisiyle sürekli ve yavaşça akması olayını tanımlayan bir mühendislik terimidir.

Cisimlerde araştırılan dayanım durumları kısa süreli deneyler ile saptanan parametreler ile belirlenmektedir. Sünme olayının etkisini anlayabilmek için çok sayıda uzun süreli deneyler yapılmış olup, bu uzun süreli zorlama altında cisimlerin çok değişik mekanik özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır.

Deney örneği belirli bir σ_1 gerilmesi altında tutulup, birim şekil değişimleri kaydedilirse yükün mertebesine ve zamana bağlı karakteristik eğriler elde edilir.



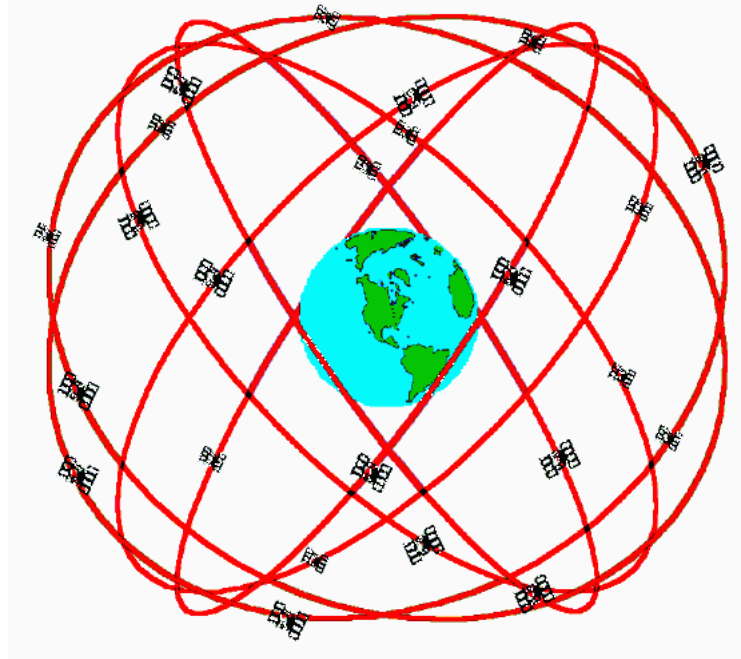
Şekil 4.1 : Yük altındaki malzemelerde zamana bağlı karakteristik eğriler.

Malzemeye yükleme yapıldığında ani bir ε_a şekil değişimi meydana gelir.

- ε_a şekil değişiminden sonra sünme değerleri oldukça hızlı artar (1. bölge).
- Sonra şekil değişim artım hızlarının azaldığı ikinci bölge vardır. Şekil değişim hızının belirli bir değere varması.
- Eğer yükler yeterince büyük ise şekil değiştirmelerin arttığı 3. bölge oluşur ve bu durum kırılmaya kadar gider.

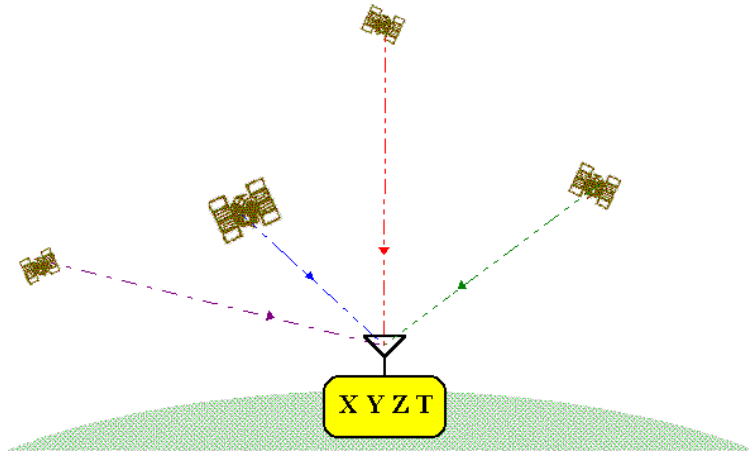
5. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ (GPS)

Küresel Konumlama Sistemi (KKS) veya GPS (Global Positioning System) olarak adlandırılan sistem, dünya çevresinde belirli bir yörüngede ve yükseklikte dönen uydulardan oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bu uydulardan gönderilen sinyalleri algılayan ve kayıt eden istasyonların uzaysal konumlarını ölçümlerden geometrik olarak hesaplamak mümkün olmaktadır (Aydan, 2003).



Şekil 5.1 : Küresel Konumlama Sisteminin basitleştirilmiş gösterimi (Aydan, 2000).

Farklı uygulamalarda GPS ölçüm sonuçları farklı bir biçimde kullanılmaktaysa da plakaların deformasyon analizinde GPS kullanımı için yerküreye sabitlenmiş istasyonların uzaysal konumlarındaki farklı zaman aralıklarında ölçülen değişim miktarından faydalanılmaktadır. Böylesine yüksek hassasiyet ve doğruluk gerektiren mm mertebesinde ölçüm yapılabilmesi için ilgili GPS istasyonuna o anda en az 4 uydudan sinyallerin ulaşabilmesi gerekmektedir (Şekil 2.2). Farklı zamanlarda elde edilen ölçümler arasında bir değişimin saptanması, ilgili GPS istasyonunun bu zaman aralığındaki uzaysal konumundaki değişimi olarak yorumlanmaktadır.



Şekil 5.2 : Bir GPS istasyonunda güvenilir ölçüm için gerekli uydu sayısı (Aydan, 2000).

Uyduların salınımı, GPS istasyonu çevresindeki iklim ve atmosferik koşullar, istasyon etkileri gibi etkiler ölçüm sonuçlarının hassasiyetini belirli oranlarda etkilemektedir. Elde edilen ham veriden bu tür etkilerin elemine edilmesi gerekmektedir. GPS istasyonlarının uzaysal konumlarında meydana gelebilecek değişimler yatay yönde $\pm 5\text{mm}$, düşey yönde $\pm 20\text{mm}$ hata payı olup bazı yeni ek teknikler yardımıyla bu hata payı $\pm 1\text{mm}$ 'e azaltılmaya çalışılmaktadır.



(a) .



(b)

Şekil 5.3 : GPS İstasyonlarına bazı örnekler a) Türkiye'deki süreksiz GPS istasyonu, b) Kandilli Sürekli GPS istasyonu. (Aydan, 2000).

6.GPS ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRME YAKLAŞIMI

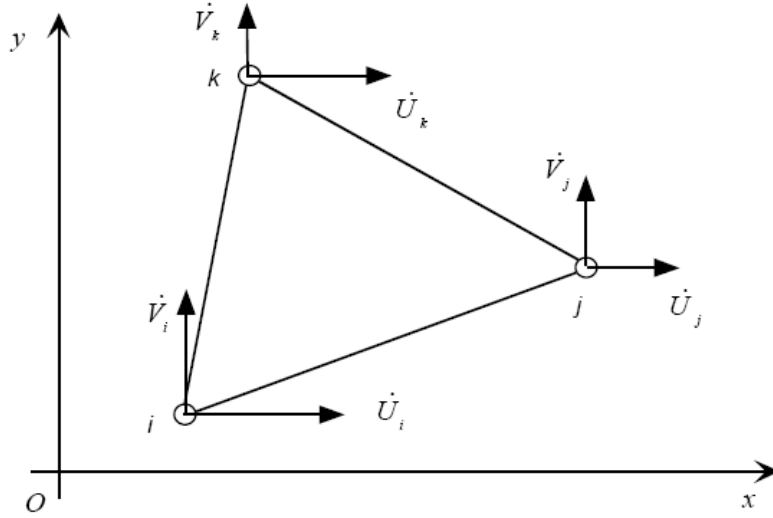
Bu çalışma kapsamında GPS sonuçlarının deprem riski ve deprem tahmini için nasıl kullanılacağına dair (Aydan, 2000)'ın önermiş olduğu yöntem kullanılmıştır. Deprem yerkabuğunun kırılması veya varolan bir fay boyunca kayması sonucu meydana gelir dolayısıyla yerkabuğunu oluşturan kaya malzemesi ve kaya süreksizliği üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları bu gözlemlerin büyük ölçüde doğada da kendini tekrar edeceğini göstermiştir. Bu olguların somut olarak gözlenebilmesi için kabuktaki birim deformasyon ve gerilmenin belirlenmesi gerekmektedir.

6.1 Birim Deformasyon ve Gerilme Hızlarını Hesaplama Yöntemi

Yeryüzeyinde kurulmuş istasyonların uzaysal konumlarındaki değişim yerküresinin yüzeyine teğetsel düzlemdeki izdüşümünden yararlanılarak o düzlem içerisinde zamana bağlı olarak birim deformasyon hızlarının geometrik olarak hesaplanması mümkündür. Böyle bir hesaplama için sonlu elemanlar yönteminden yararlanılabilir (Aydan 2000b). Bu çalışmada, sonlu elemanlar yönteminden yararlanılarak yapılan hesaplama yöntemi uygulanmıştır. Herhangi bir düzlem içinde oluşan birim deformasyon hızı tensörünün bileşenleri ile yerdeğiştirme hızları arasında geometrik olarak aşağıda verilen ilişkiler kullanılabilir.

$$\epsilon_{xx}^{\dot{}} = \frac{\partial \dot{u}}{\partial x}; \quad \epsilon_{yy}^{\dot{}} = \frac{\partial \dot{v}}{\partial y}; \quad \gamma_{xy}^{\dot{}} = \frac{\partial \dot{v}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{u}}{\partial y}; \quad (3.1)$$

Burada $\dot{u}$ ve $\dot{v}$, x ve y yönündeki yerdeğiştirme hız vektörlerinin bileşenleridir. Diğer yandan, $\epsilon_{xx}^{\dot{}}$ ile $\epsilon_{yy}^{\dot{}}$ ise birim deformasyon tensörünün x ve y düzlemlerine etkiyen normal bileşenleri ve $\gamma_{xy}^{\dot{}}$ makaslama bileşenidir. Yeryüzeyindeki GPS ölçüm istasyonlarının üçgen elemanlar oluşturacak şekilde düzenlendiği düşünülerek aşağıdaki şekilde gösterilen tipik bir üçgen içinde herhangi bir noktadaki yerdeğiştirme hız bileşenlerinin aşağıda verildiği gibi interpolate edildiği varsayılmıştır (Aydan, 2000).



Şekil 6.1 : Koordinat sistemi ve tipik bir üçgen eleman için yerdeğiştirme hızlarının tanımı (Aydan, 2000).

$$\begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x & 0 & y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & x & 0 & y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \\ b_2 \\ c_1 \\ c_2 \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

Üçgenin i,j,k düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme hız bileşenleri ile uzaysal konumları arasında yukarıdaki ilişkilerin geçerli olması gerektiği düşünülürse, birkaç matematiksel işlemden sonra aşağıdaki ilişkiler kolaylıkla elde edilebilir.

$$\begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 & N_j & 0 & N_k & 0 \\ 0 & N_i & 0 & N_j & 0 & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_i \\ \dot{V}_i \\ \dot{U}_j \\ \dot{V}_j \\ \dot{U}_k \\ \dot{V}_k \end{Bmatrix} \quad (3.3)$$

Burada;

$$N_i = E_{11} + E_{21}x + E_{31}y, \quad N_j = E_{12} + E_{22}x + E_{32}y, \quad N_k = E_{13} + E_{23}x + E_{33}y,$$

$$E_{11} = \frac{1}{\Delta}(x_j y_k - x_k y_j), \quad E_{12} = \frac{1}{\Delta}(x_k y_i - x_i y_k), \quad E_{13} = \frac{1}{\Delta}(x_i y_j - x_j y_i),$$

$$E_{21} = \frac{1}{\Delta}(y_j - y_k), \quad E_{22} = \frac{1}{\Delta}(y_k - y_i), \quad E_{23} = \frac{1}{\Delta}(y_i - y_j),$$

$$E_{31} = \frac{1}{\Delta}(x_k - x_j), \quad E_{32} = \frac{1}{\Delta}(x_i - x_k), \quad E_{33} = \frac{1}{\Delta}(x_j - x_i),$$

$$\Delta = (x_j y_k - x_k y_j) + (x_k y_i - x_i y_k) + (x_i y_j - x_j y_i)$$

Bu eşitlikler yardımıyla üçgen eleman içinde oluşan birim deformasyon hız tensörü i,j,k düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme hız bileşenleri ve uzaysal konumları cinsinden aşağıda verildiği gibi elde edilir.

$$\begin{Bmatrix} \dot{\varepsilon}_{xx} \\ \dot{\varepsilon}_{yy} \\ \dot{\gamma}_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{21} & 0 & E_{22} & 0 & E_{23} & 0 \\ 0 & E_{31} & 0 & E_{32} & 0 & E_{33} \\ E_{31} & E_{21} & E_{32} & E_{22} & E_{33} & E_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_i \\ \dot{V}_i \\ \dot{U}_j \\ \dot{V}_j \\ \dot{U}_k \\ \dot{V}_k \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Birim deformasyon hız tensöründen gerilme hızı tensörünü elde edebilmek için yerkabuğunu oluşturan malzemenin fiziksel özelliklerine dayanan bir ilişki gerekli olup, malzemenin davranışına bağlı olarak değişik ilişkiler kullanılabilir. Bu ilişkilerin içinde en basit ilişki elastisite kuramına dayanan Hooke'un ilişkisidir. Yeryüzüne çok yakın derinlikler gözönünde tutulmaz ve yerkabuğunun düzlemsel birim deformasyon durumunda olduğu varsayılırsa, gerilme hızı tensörü ile birim deformasyon hız tensörü arasında Hooke ilişkisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} \dot{\sigma}_{xx} \\ \dot{\sigma}_{yy} \\ \dot{\sigma}_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu & \lambda & 0 \\ \lambda & \lambda + 2\mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\varepsilon}_{xx} \\ \dot{\varepsilon}_{yy} \\ \dot{\gamma}_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.5)$$

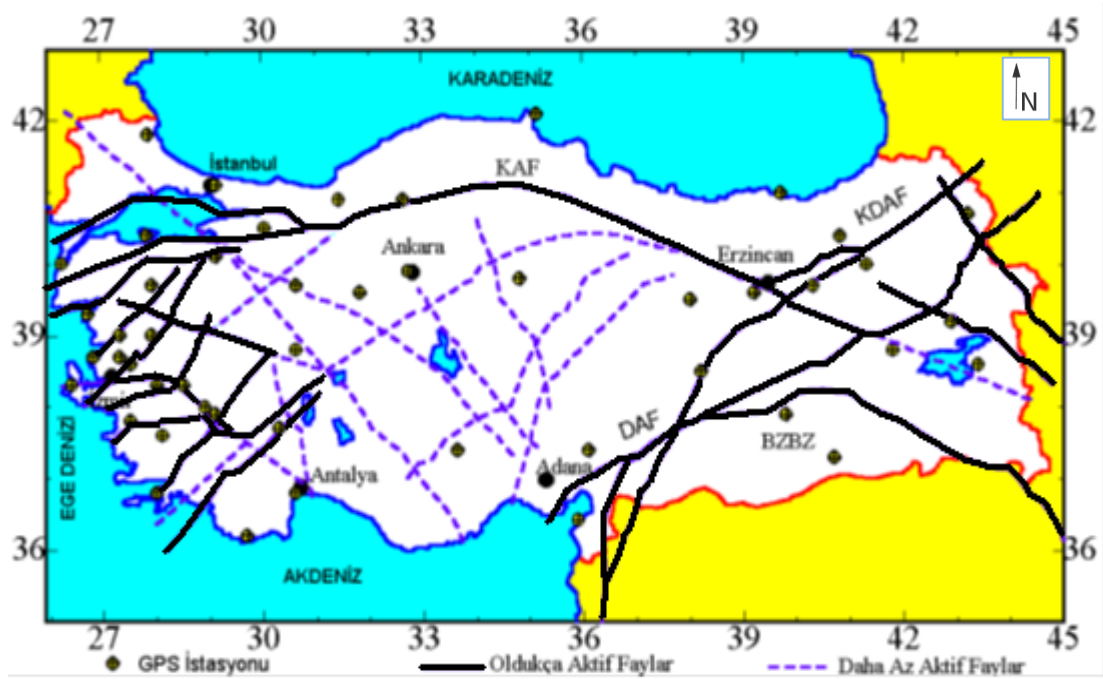
Burada λ ve μ Lamé sabitleri olarak bilinir. Yerkabuğunun elastik dalga hızlarından yararlanılarak yerkabuğunun her iki lamé sabitlerinin değeri yaklaşık olarak 30 Gpa. Olarak alınmaktadır (Fowler 1990). Asal gerilmeler ve yönleri gerilme tensörünün bileşenlerinden aşağıdaki ilişkilerden elde edilebilir.

$$\sigma_{1,3} = \frac{\dot{\sigma}_{xx} + \dot{\sigma}_{yy}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\dot{\sigma}_{xx} - \dot{\sigma}_{yy}}{2}\right)^2 + \dot{\sigma}_{xy}^2} \quad (3.6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2\dot{\sigma}_{xy}}{\dot{\sigma}_{xx} - \dot{\sigma}_{yy}} \right) \quad (3.7)$$

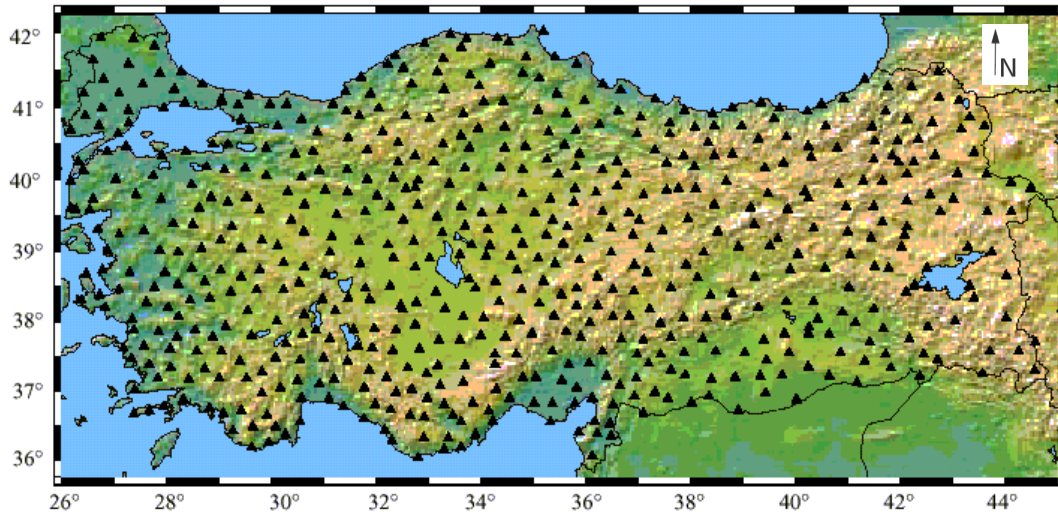
7. TÜRKİYE'DEKİ GPS AĞLARI VE GPS İSTASYONLARI

Türkiye’de GPS kullanılarak yapılan ölçümler 1988 yılında başlatılmış ve ABD’deki Massachusetts Institute of Technology (MIT) ile Harita Genel Komutanlığı’nın (HGK) ve İTÜ işbirliği ile yürütülmektedir (Oral vd., 1995; REilinger vd., 1997). Bunun yanısıra, Almanya’nın Federal Jeodezi Enstitüsü ile İsviçre Zürih Teknik Üniversitesi (ETHZ) tarafından, Marmara ve Ege bölgeleri ağırlıklı olmak üzere, GPS ölçümleri yapılmaktadır (Straub ve Kahle, 1995; Altın ve Seeger, 1993). Şekil 4.1 Reilinger vd. (1997) tarafından kurulan GPS ağını ve Türkiye’nin belli başlı faylarını göstermektedir.

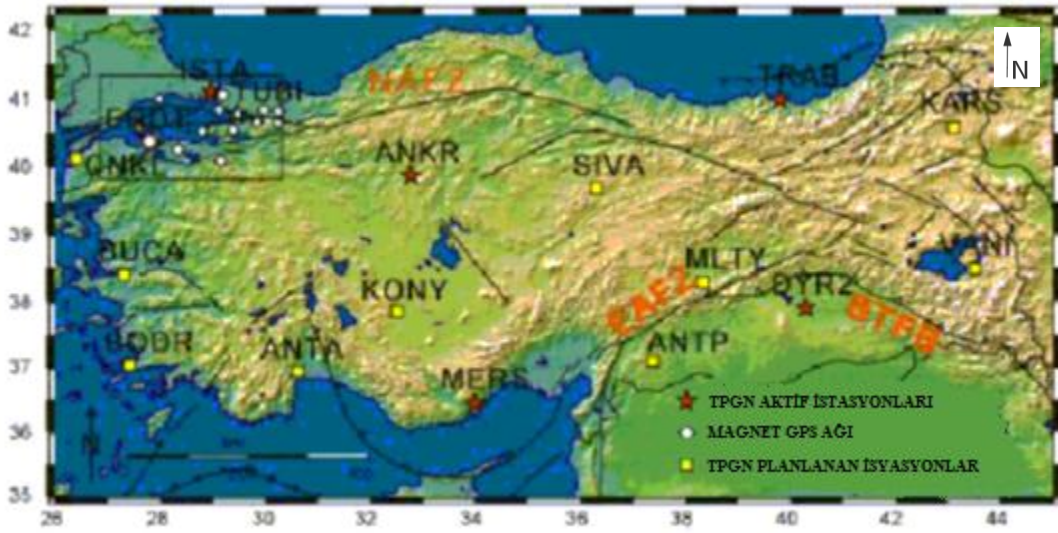


Şekil 7.1 : MIT’nin önderliğinde kurulan GPS ağı ve Türkiye’nin belli başlı fayları.

Harita Genel Komutanlığı tarafından 1999’da daha geniş kapsamlı bir GPS ağı oluşturulmuş ve faaliyete geçirilmiştir (Ayhan vd. 2002). Türkiye’de sürekli ölçüm alan Uluslararası GPS sistemine bağlı ilk iki GPS istasyonu Ankara ve Diyarbakır’da kurulmuştur. Bu istasyonlara Kandilli, Gebze, Mersin ve Trabzon istasyonları son yıllarda eklenmiştir (Lenk vd. 2003).



Şekil 7.2 : HGK'nin liderliğinde kurulan TUTGA99 GPS ağı (AYHAN vd. 2002).

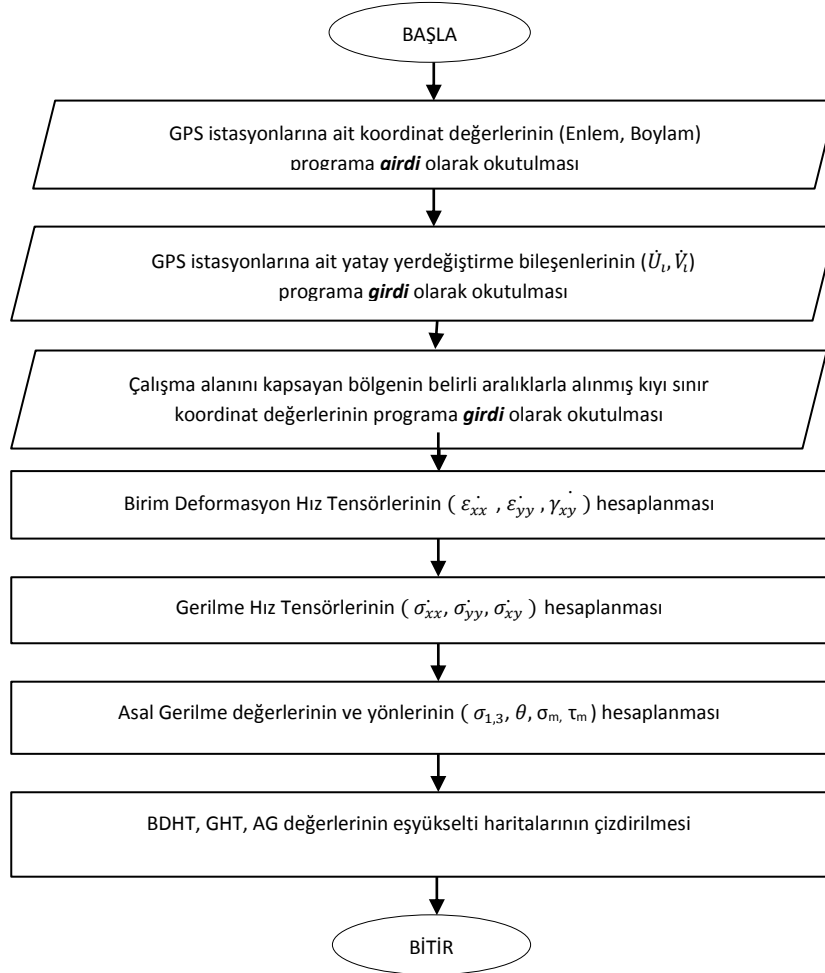


Şekil 7.3 : Türkiye'nin Kurulmuş sürekli GPS istasyonları (Lenk vd. 2003).

1997-1999 yıllarında Harita Genel komutanlığı tarafından hazırlanan GPS ağı Türkiye Ulusal GPS Temel Ağı 1999 (TUTGA-99) adını almıştır. Özellikle jeodinamik ölçümler gözönüne alındığında ve ayrıca ülkemiz ve yakın çevresindeki tektonik modele bağlı olarak belirlenen istasyon koordinatları Şekil 7.2'de yer almaktadır. Şekil 7.3'te yer alan GPS istasyonları adında da anlaşılabileceği üzere sürekli ölçüm yapan GPS istasyonlarıdır ve bu çalışma kapsamında bu istasyonlardaki uzun dönem verileri kullanılmıştır. Ancak bir takım teknik sorun ve arızalanmalar sebebiyle bazı istasyonlardaki veri eksikliğinden dolayı bu istasyonlar analiz dışı bırakılmıştır.

8. DEPREM RİSKİ TAŞIYAN BÖLGELERİN SAPTANMASI

Tez kapsamında incelenen farklı çalışma alanları için deprem riskini belirlenmesinde GPS verilerinin analizinde Aydan'ın önermiş olduğu yöntem kullanılmıştır. Matlab ortamında yapılan hesaplamalar ve görselleştirme – haritalama işleri Şekil 5.1'de görülen akış diyagramı izlenerek oluşturulmuştur.



Şekil 8.1 : GPS verilerinin işlenmesinde kullanılan akış diyagramı.

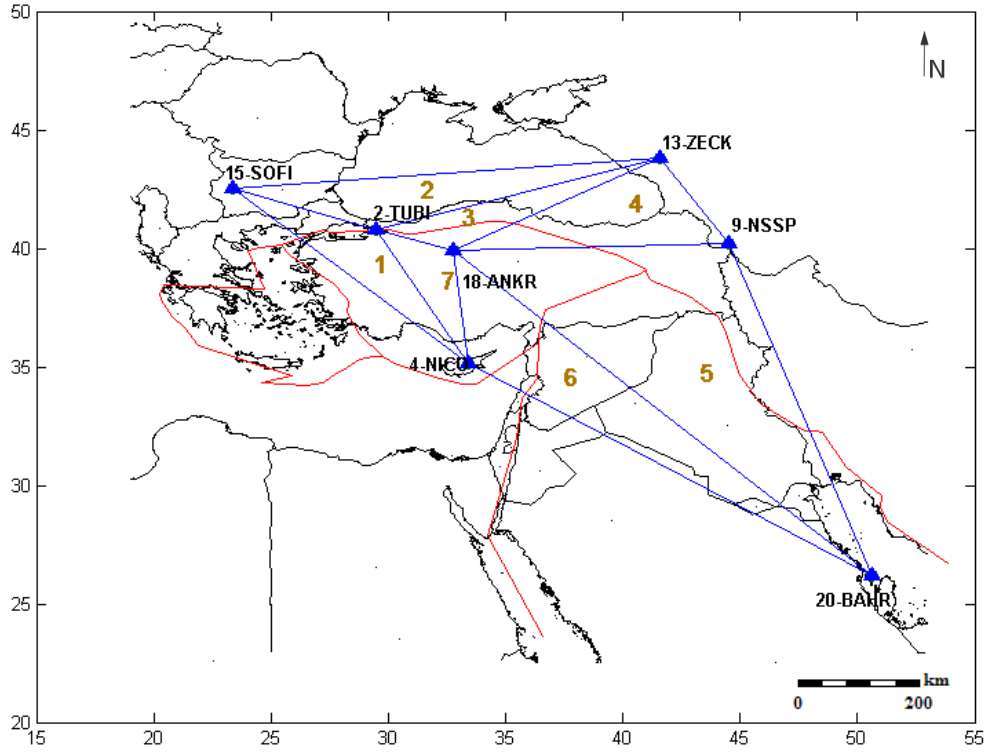
8.1.Birinci Çalışma Alanı

Bu çalışmada GPS verileri SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) arşivinden elde edilmiştir. Türkiye ve yakın çevresinde sürekli verisi olan toplam 20 adet GPS istasyonu tespit edilmiştir. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nin, oluşturulan sonlu eleman ağındaki etkisini tespit etmek için ölçüm başlama tarihleri 17 Ağustos 1999 öncesinden itibaren başlayan ve veri seti günümüze kadar uzanan istasyonlar dikkate alınmıştır. Bu zaman kısıtları ve aşağıda yer alan istasyonlara ait zaman çizelgesinden yararlanarak en uygun durum için toplam 7 adet istasyon seçilmiştir (SOFI, TUBI, ANKR, ZECK, NSSP, NICO, BAHR).

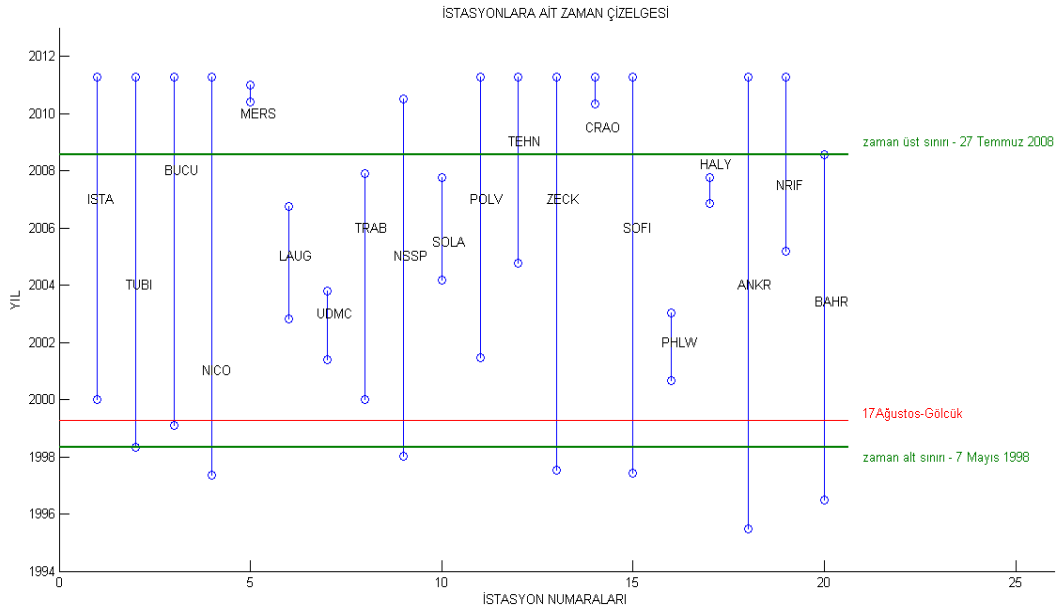
Çizelge 8.1 : Çalışmada kullanılan sürekli verileri olan GPS istasyonları.

İSTASYON	ÜLKE	ŞEHİR	ENLEM	BOYLAM
SOFI	Bulgaristan	Sofya	42.55	23.39
TUBI	Türkiye	Gebze	40.78	29.45
ANKR	Türkiye	Ankara	39.88	32.75
ZECK	Rusya	Zelenchukskaya	43.78	41.56
NSSP	Ermenistan	Erivan	40.22	44.50
NICO	Kıbrıs	Nicosia	35.14	33.39
BAHR	Bahreyn	Manama	26.20	50.60

Bu çalışma alanı için kullanılan en uygun 7 istasyona ait konum bilgisi yukarıdaki Çizelge 8.1 de yer almaktadır. İstasyonlara ait 10 yıllık veriler incelendiğinde bir takım teknik sorunlar yada bakım nedeniyle bazı dönemlerin verilerinin olmadığı anlaşılmış ve bu veri boşluğu doğrusal veri kabulü ile doldurulmuştur. Marmara Bölgesine çok yakın olan TUBİ ve ISTA istasyonları veri sürekliliği açısından iyi konumdayken bu iki istasyonun birbirine çok yakın alması dolayısı ile birinci çalışma alanında TUBI istasyonunun seçilmesinin sebebi daha sürekli bir GPS kaydına sahip olmasıdır. Şekil 8.2'de yer alan İstasyonlara ait veri kaydı zaman çizelgesi incelendiğinde bölgenin tektonik yapısını daha iyi açıklayabilmek adına 20 adet istasyondan faydalanılması düşünülmüş ancak, 17 ağustos Gölçük Depremi'ni etkisini daha iyi bir şekilde gözlemleyebilmek adına deprem öncesi, deprem esnası ve deprem sonrasına ait dönemlere ait veriler ile çalışılması gerektiğinden çalışılan istasyon sayısı 7 ile sınırlandırılmıştır.

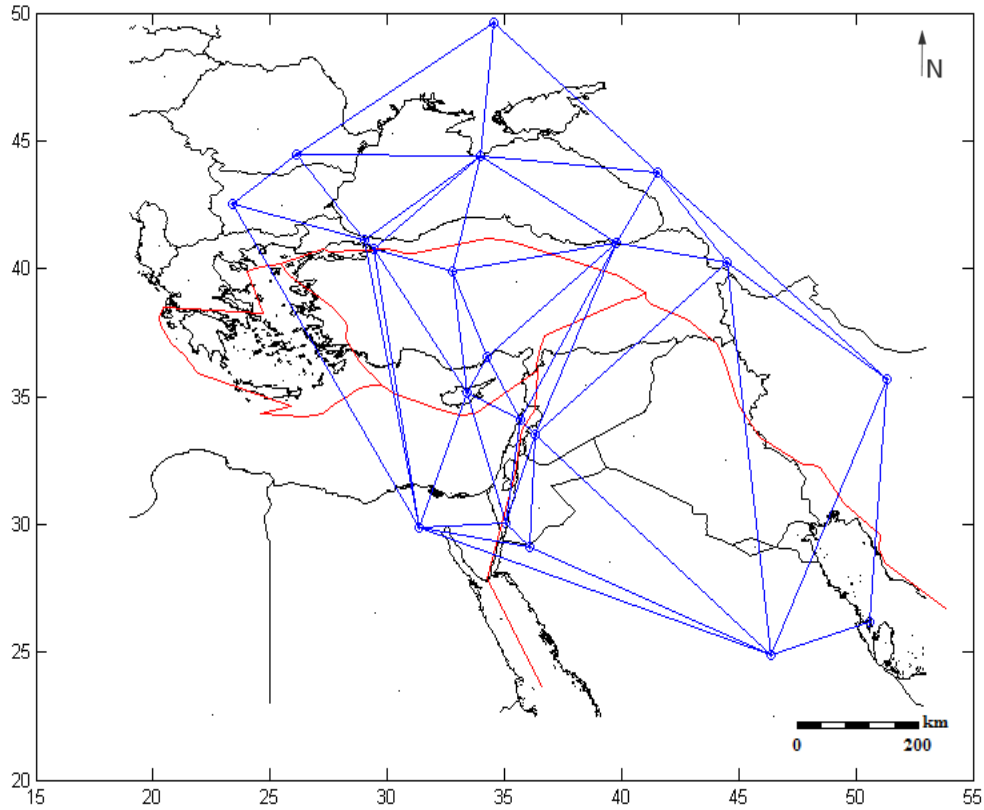


Şekil 8.2 : Türkiye ve yakın çevresini içine alan *kaba* sonlu eleman ağı.



Şekil 8.3 : Çalışma alanında yer alan GPS istasyonlarına ait zaman çizelgesi.

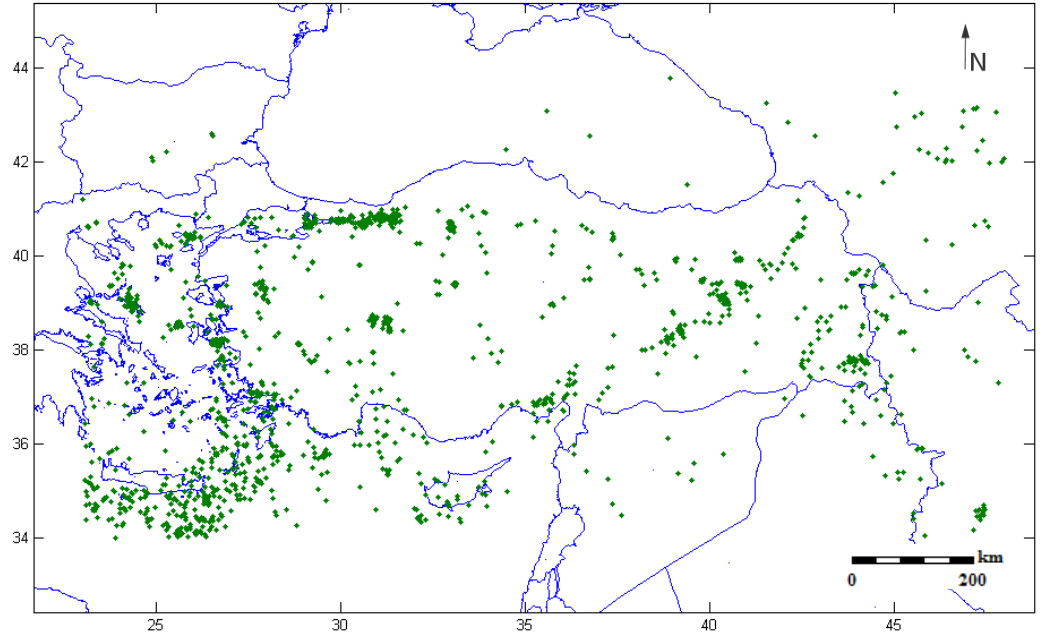
Aşağıdaki Şekil 8.2'de söz konusu 20 adet istasyonun dağılımı ve verilerin süreksiz olması nedeni ile değerlendirilemeyen sonlu eleman ağı görülmektedir. GPS ağı kurulurken üçgen elemanlardan faydalanılmıştır. MATLAB programının desteği ile oluşturulan ağlarda mümkün mertebe homojen bir GPS ağı kurulmaya çalışılmış ancak verisi mevcut olan istasyon sayısının yetersizliğinden ötürü biçimsiz sonlu elemanlar da hesaba katılmıştır.



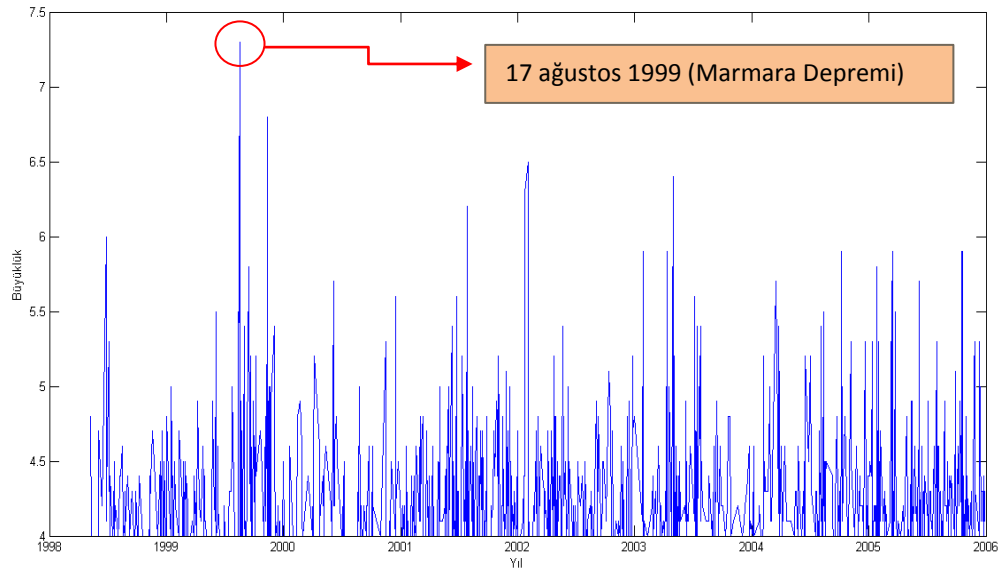
Şekil 8.4 : Kurulması istenen sonlu eleman ağı modeli. (Veri süreksizliğinden dolayı kurulamamıştır).

GPS verilerinde meydana gelen değişimler ile depremler arasında bir ilişki olup olmadığını anlamak için 33-44°K ve 22-48 °D koordinatları ile sınırlanan bölgede 07.05.1998 ~ 01.01.2006 tarihleri arasında meydana gelen toplam 1356 adet deprem kaydı ($M > 4$) olduğu belirlenmiştir. Veriler Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün Ulusal Deprem İzleme Merkezi'nin internet sitesinde elde edilmiş olup Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu'ndan faydalanılmıştır.

Şekil 8.5'te yer alan 1998 ~2006 yılları arasında Türkiye ve çevresinde meydana gelen büyüklüğü 4'ten büyük olan depremlerin dağılımı incelendiğinde belirgin kümelenmelerin özellikle Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde bir yay çizdiği ve Marmara Denizi' nin doğusunda yer alan segmentte yoğunlaştı ve ayrıca benzer bir kümelenmenin Karlıovadan amik ovasına uzanan Doğu Anadolu Faz Hattı üzerinde ve Ege Denizin İçerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu anlamda analiz sonrasında elde edilen gerilme dağılımlarının bu bölgeler ile karşılaştırılması, hesaplama yapılarak çıkarılacak sonucun kısmen de olsa doğruluğunu teyit edebilecek mahiyettedir.



Şekil 8.5 : Türkiye ve çevresinde 07.05.1998 ~ 01.01.2006 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin dağılımı.



Şekil 8.6 : Türkiye ve çevresinde 07.05.1998 ~ 01.01.2006 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.

Oluşturulan sonlu eleman ağı gözönüne alındığında 17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen Marmara Depremi'nin oluşturacağı şekil değişimlerinin en çok 1 numaralı elemanda gözlenebileceği düşünülerek, sadece 1 numaralı eleman için meydana gelen birim şekil değiştirme ve gerilme değişimlerinin, çalışma alanının tümünde meydana gelen depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı arasında bir ilişki aranmıştır.

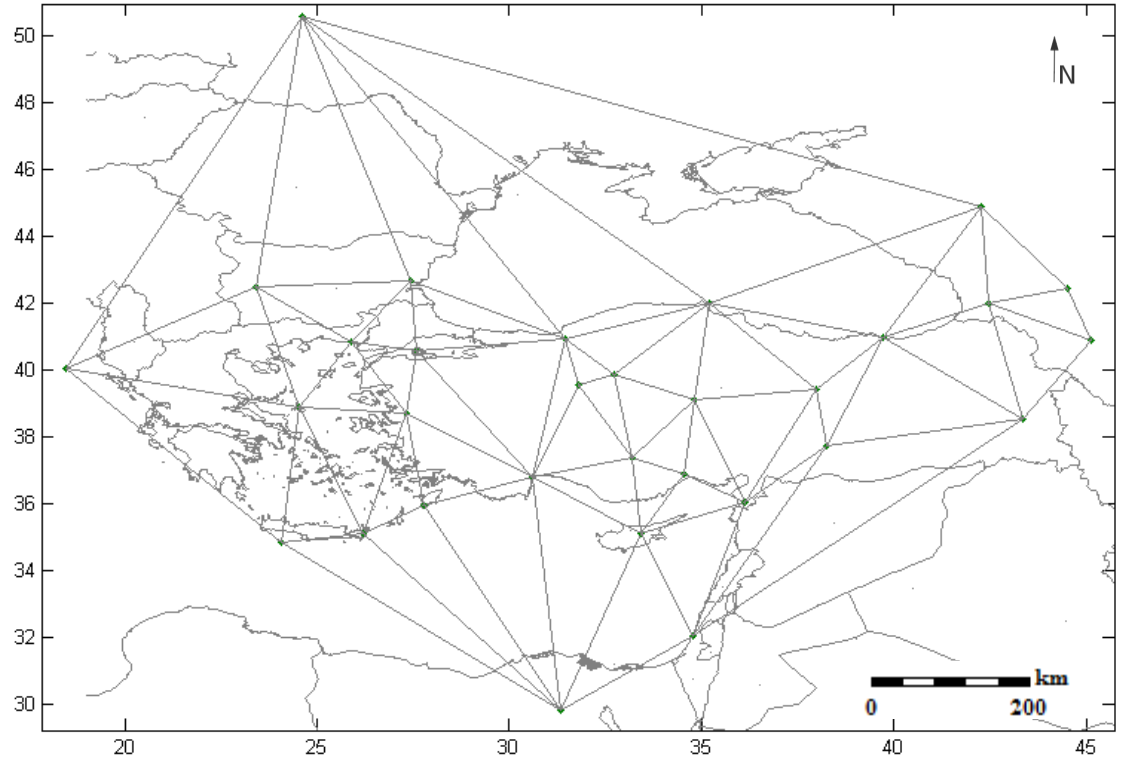
Buna göre, 17 Ağustos Marmara Depremi sonrasında deprem bölgesine yakın olan sonlu elemanlarda Birim Deformasyon Hız Tensörü (BDHT) ve Gerilme Hız Tensörü'nün (GHT) zamana göre değişimi ile 17 Ağustos sonrası bölgenin sismisitesi ile karşılaştırıldığında paralellik gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca 1, 2 ve 4 numaralı sonlu elemanlarda sünme gözlenmiştir. Ancak, oluşturulan sonlu elemanların büyüklüğü düşünüldüğünde, Türkiye ve çevresini kapsayan bu denli büyük kara parçasının son derece basit lineer kabuller yaparak incelendiğinden 3 numaralı sonlu eleman üzerinde yer alan Kuzey Anadolu Fay Hat'ının İsmetpaşa segmentinde daha önceki jeodezik ölçümlerle ispatlanmış (Kutoğlu vd., 2009) olan sünme davranışı bu çalışmada görülememiştir.

Çalışma alanı için oluşturulan asal gerilme haritaları incelendiğinde, elemanlar üzerinde uzama (çekme – kırmızı ile gösterilmiştir.) ve kısalma (basınç – mavi) miktarlarını görece olarak ifade eden çizgilerin bölgenin tektoniği ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

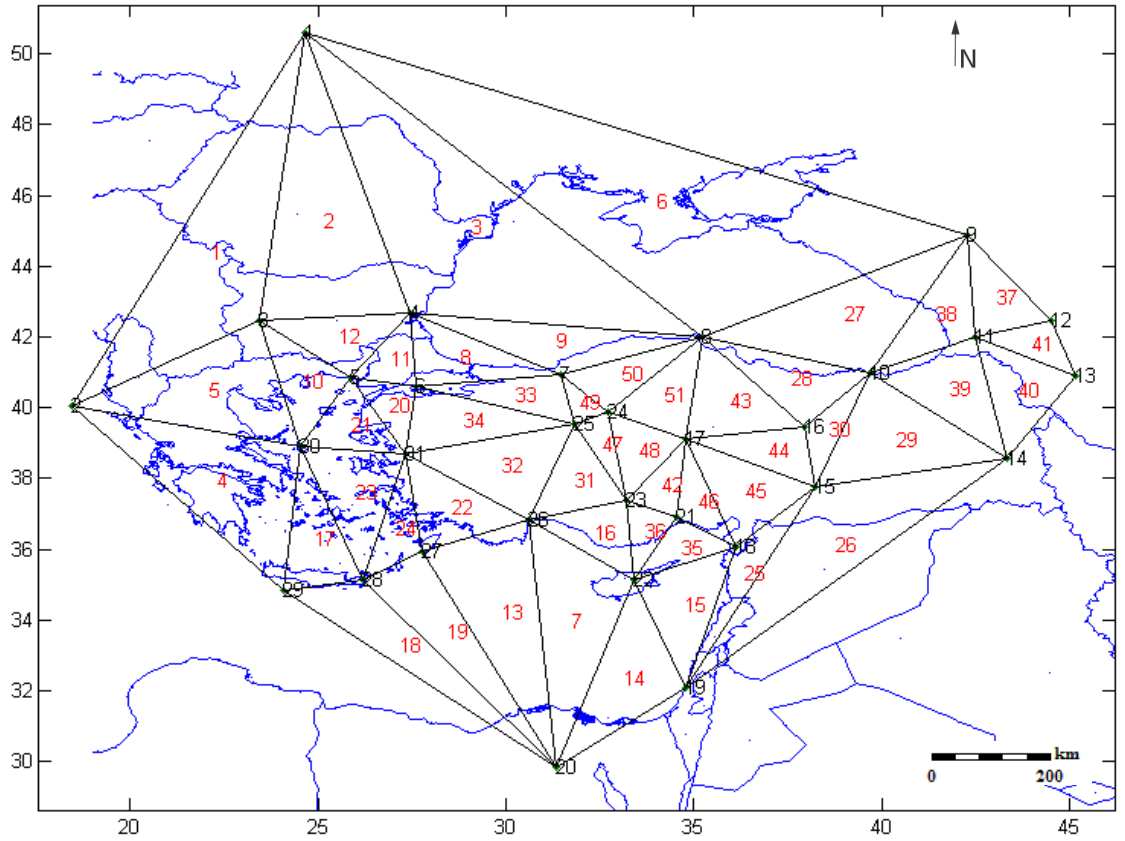
Oluşturulan GPS ağı üzerinde 10 yıllık veriler incelendiğinde, 7 adet eleman içerisinde en fazla göze çarpan asal gerilme değişimleri Ege bölgesi üzerinde yer alan 1 numaralı elemanda meydana gelmiştir. Bilhassa bu elemanın asal gerilme yönlerinde 17 Ağustos Depremi'ne kadar saat ibresinin ters yönünde bir rotasyon gözlenmiş ve 17 Ağustos günü depremin meydana gelmesi ile yine aynı yönde büyük ve ani bir dönme gözlenmiştir. EK-C'de yer alan Şeki C.12'de bahsi geçen asal gerilmelerin dönmesine ek olarak deprem sonrasında bu gerilmelerdeki düşüş dikkate değerdir.

8.2.İkinci Çalışma Alanı

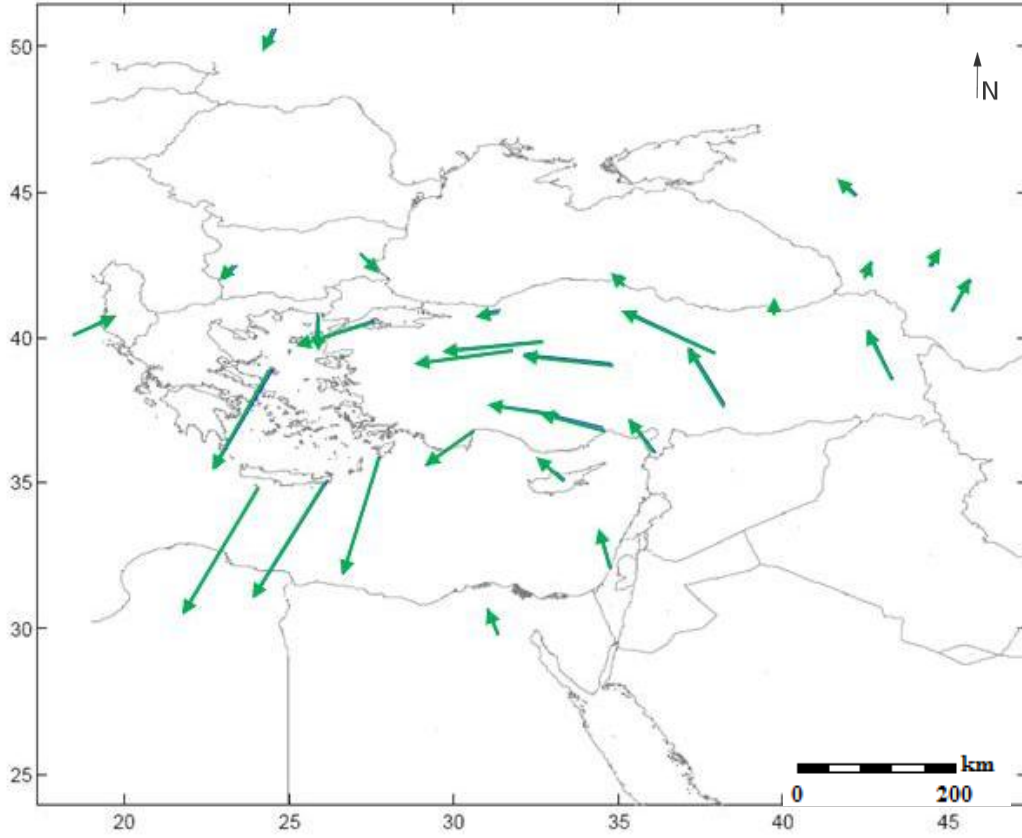
Bu çalışmada Türkiye ve yakın çevresini kapsayan süreksiz GPS ölçümleri kullanılmıştır. Kullanılan veriler 1. çalışmadaki gibi sürekli olmayıp sadece belirli bir dönem ortalamasını ifade etmektedir. 1988-1997 yılları arasında yapılan bu ölçümler Kafkas dağlarından Adriyatik Denizi'ne ve Afrika plakasının kuzeyinden Avrupa plakasının güney sınırına kadar olan bölgeyi kapsamaktadır. Bu kapsamda ülkemiz ve çevresi için en optimum şekilde oluşturulan GPS ağı aşağıdaki şekilde yer almaktadır. Bu ağda toplam 32 adet GPS istasyonu yer almakta ve bu doğrultuda toplam 51 adet eleman içeren bir ağ oluşturulmuştur.



Şekil 8.7 : Türkiye ve yakın çevresi için oluşturulan GPS ağı.



Şekil 8.8 : Türkiye ve yakın çevresi için oluşturulan GPS ağınaın düğüm noktası ve eleman numaraları.



Şekil 8.9 : Yıllık yerdeğiştirme hızları.

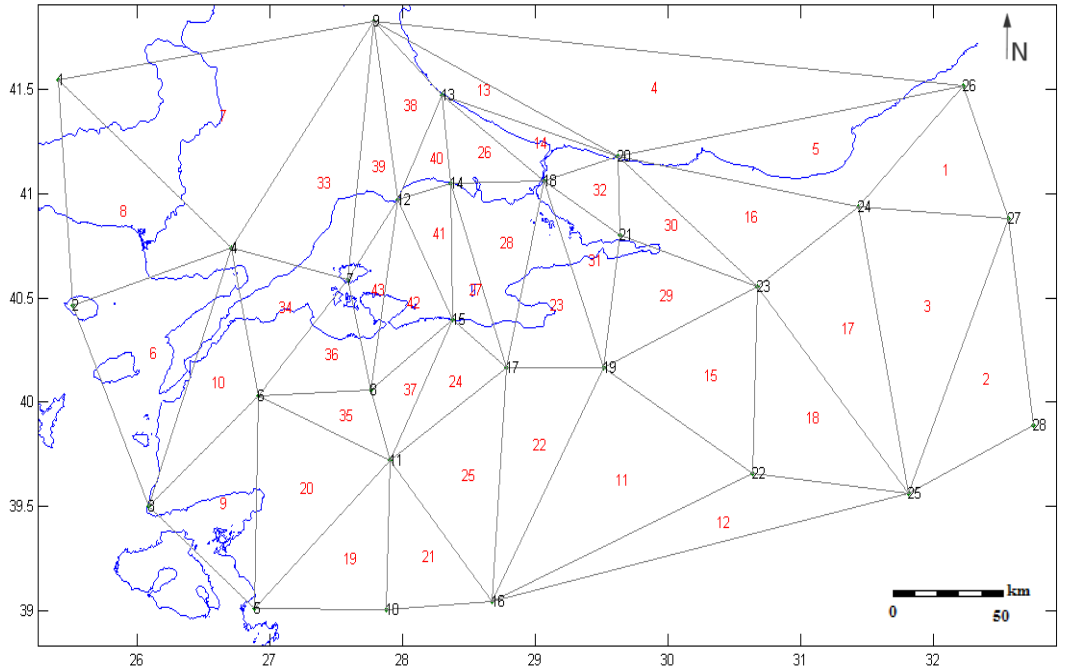
Şekil 2.1'den de anlaşılacağı üzere, Arap ve Afrika plakalarının Anadolu plakasını kuzeye doğru sıkıştırması sonucu Anadolu plakası batıya doğru hareket etmektedir. Bu anlamda Şekil 8.7 de yer alan yıllık yerdeğiştirme hızları en yüksek değerleri doğu akdeniz ve Rodos çevresinde yakalamıştır.

Analiz sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin dağılımını gösteren Ek-D'de yer alan Şekil.D3 ve Şekil.D4 incelendiğinde gerilme değerlerinin en yüksek olduğu bölgeler sismik açıdan da aktif bölgeler ile uyduğu görülmektedir. Bu anlamda bilhassa Erzincan ve çevresi ve Ege kıyıları ile Saroz Körfezinde yüksek gerilme değerleri tespit edilmiştir.

Ek-D'de yer alan Şekil .D15'te makaslama gerilmesinin eşdeğer haritasında bu gerilmenin kısmen de olsa Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde olduğu belirlenmiştir. Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın sağ atımlı son derece aktif bir fay olduğunu düşünersek, ilgili gerilme dağılımın beklendiği şekilde olduğu anlaşılabilir.

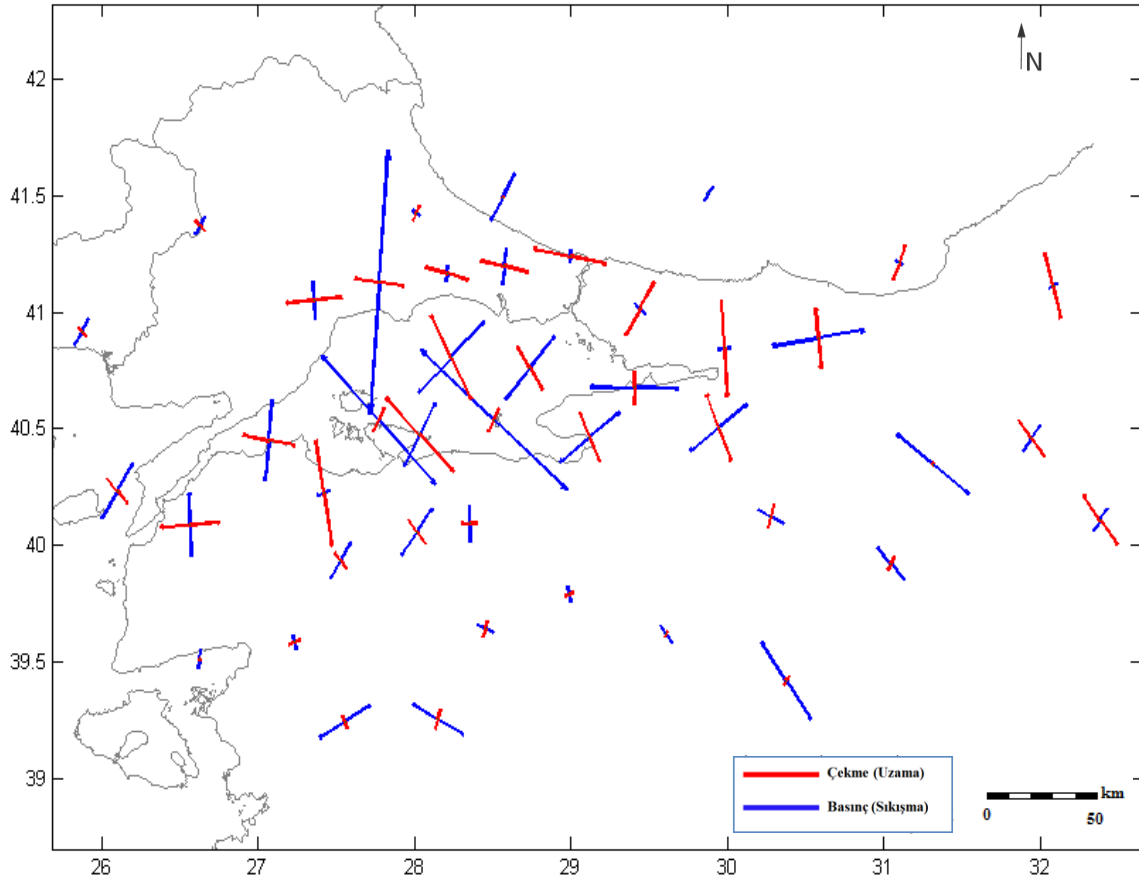
8.3 Üçüncü Çalışma Alanı

Çalışma alanı 39-42°K, 25-33°D koordinatları arasında yer alan Marmara Denizi ve çevresini kapsamaktadır. Bilindiği gibi Marmara Bölgesi 1999 yılında meydana gelen Marmara ve Düzce depremlerinden sonra birçok bilim insanının ilgi odağı haline gelmiştir. Özellikle GPS ölçümleri yardımıyla bölgedeki fay hareketlerinin mekanizması belirlemek adına yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada Marmara denizi ve yakın çevresi için yapılan GPS ölçümleri kullanılarak bölge için en uygun GPS ağı kurulmuş ve sonlu elemanlar yaklaşımı ile bölgedeki gerilmelerin ne ölçüde ve ne yönde değiştiği saptanmıştır. Çalışma alanı için en uygun ağın kurulmasında seçilen 28 adet GPS istasyonu ile 43 adet elemanı kapsayan bir ağ teşkil edilmiştir.

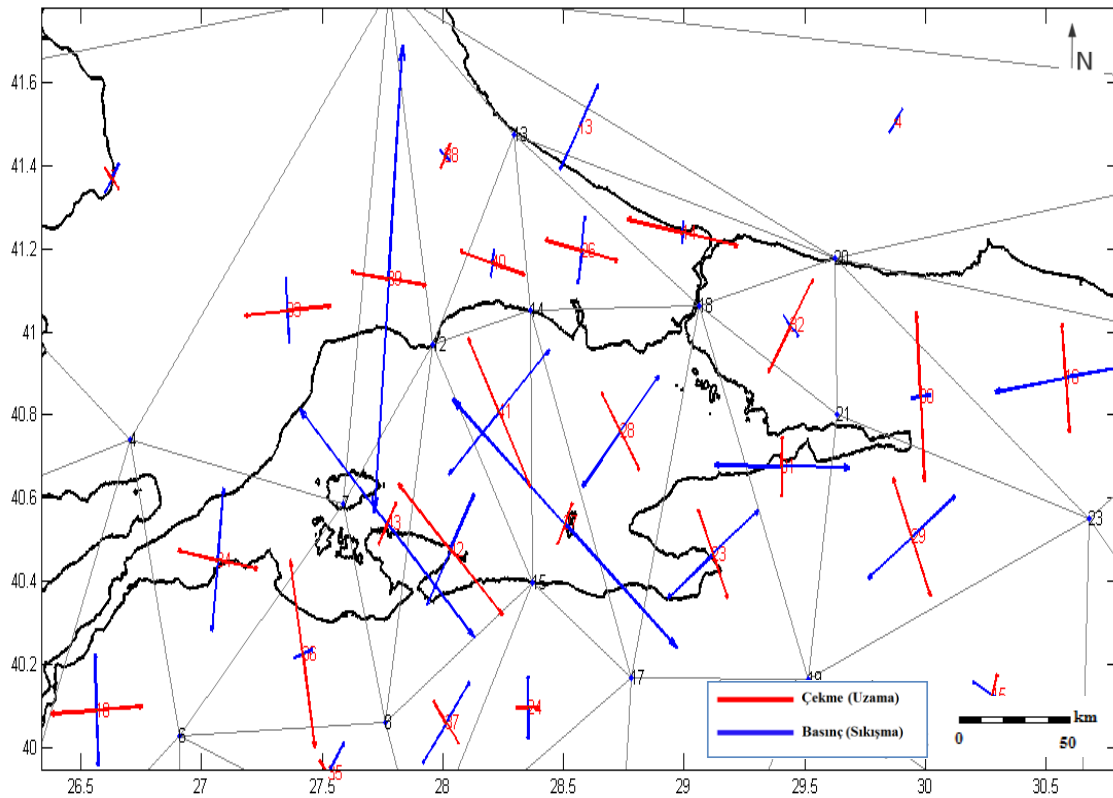


Şekil 8.10 : Marmara Bölgesi GPS ağı.

Marmara Denizi içerisindeki faylanma mekanizmaları son derece karmaşık ve analiz edilmesi zor bir tektonik yapı teşkil etmektedir. İstanbul ve yakın çevresini etkileyeceği düşünülerek bilim insanlarının bu bölgeye odaklanmasıyla bu bölge için literatürde birçok tektonik model önerilmiştir. Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın batısında yeralan bu bölge Marmara Denizi altında Marmara fayı yada fayları olarak isimlendirilmektedir. Günümüzde Marmara Denizinde tsunami tehlikesine bağlı olarak deniz dibinde bir tsunami uyarı sistemi kurulmuştur.



Şekil 8.11 : Marmara Bölgesi ve çevresi asal gerilme yönleri.



Şekil 8.12 : Marmara Bölgesi asal gerilme yönleri.

9.SONUÇ

Bilim tarihini incelediğimizde, bilimsel anlamda ortaya konulan yaklaşımlar ile birlikte bilim insanları doğa olaylarını daha hassas bir şekilde tespit ederek bunlardan korunmaya çalışmışlardır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte dünyamızı uzaydan izleme imkanı yaratan insanoğlu bu yolda büyük bir adım kaydetmiştir. Bu tezin de konusu olan GPS teknolojisi, deprem gibi çeşitli doğa olaylarının izlenmesi ve yorumlanması konusunda son derece hayati bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada GPS yardımı ile yerküreye sabitlenmiş istasyonların zamana bağlı konumsal değişiklikleri yüksek hassasiyetle ölçülerek belli bölgeler için tanımlanmış olan tektonik davranışlara ne ölçüde uyum gösterdiği incelenmiştir. Türkiye ve yakın çevresi ile Marmara Bölgesi'ni farklı hassasiyet ve dönemlerde bölgenin depremselliğini GPS yardımıyla açıklanmasını ele alan bu çalışma göstermiştir ki; oluşturulan GPS ağına ve veri sürekliliğine bağlı olarak gerilme artış ve azalışlarının nerede, ne yönde ve ne ölçüde değiştiğini belirlemek mümkündür.

İkinci ve Üçüncü çalışma alanlarına ait Gerilme Hız Tensörlerini gösteren haritalar incelendiğinde değişik gerilme hızı yoğunlaşmasının olduğu bölgeler ile oluşan depremlerin dışmerkezlerinin yoğunlaştığı bölgelerin çakışması ileride bu konuda yapılacak çalışmalara umut vermektedir.

KAYNAKLAR

- Altner, Y. and Seeger, H.,** (1993): Is the motion of the Eastern Mediterranean region faster than expected. *Geological Journal*, **28**, 319-325.
- Aydan, Ö.,** (1997), Seismic Characteristics of Turkish Earthquakes. Turkish Earthquake Foundation. TDV/TR **97-007**, 41 p.
- Aydan, Ö.,** (2000), GPS Ölçümlerine Dayanılarak Türkiye'nin Yıllık Birim Deformasyon Ve Gerilme Hızı Dağılımının Değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama Ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, **22** (2000), (Sf. 21-31)
- Aydan, Ö.,** (2000a): An stress inference method based on structural geological features for the full-stress components in the earth' crust, *Yerbilimleri*, **22**, 223-236.
- Aydan, Ö.,** (2000b): GPS ölçümlerine dayanılarak Türkiye'nin yıllık birim deformasyon ve gerilme hızı dağılımı üzerine bir çalışma. *Yerbilimleri*. **22**: 21-32.
- Aydan, Ö.,** (2003), Türkiye'de Deprem Tahmini İle Deprem Riski Ve Bu Amaç İçin Küresel Konumlama Sistemi (KKS)'nin Uygulanabilirliği. Türkiye Deprem Vakfı (TDV) Yayınları
- Aydan, Ö.** (2004), Implication of GPS-Derived Displacement, Strain and Stress Rates On The 2003 Miyagi-Hokubu Earthquakes Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama Ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, **30** (2004), (Sf. 91-102)
- Ayhan, M.E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Açıkgoz, et.al.** (2002): Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı(TUTGA-99A). Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi.
- Çakmak, R., Tarı, E., Ergintav, S.,** (2009), Jeodezik Çalışmalarda Marmara Bölgesinde Deprem Döngüsünün Belirlenmesi Ve Modellerle Açıklanması. *İtÜdergisi/d*
- Feigl, K. L.,** 2002. Estimating Earthquake Source Parameters from Geodetic Measurements, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, **81A**, Chapter 37.
- Feigl, K.L., and Thatcher W.,** 2006. Geodetic observations of post-seismic transients in the context of the earthquake deformation cycle, *Comptes Rendus – Geoscience*, **338**, 1012 – 1028.
- Fowler, C.M.R.,** 1990, The solid earth - An introduction to Global Geophysics. Cambridge University press. Cambridge.

- Kurt, A. İ., Kılışoğlu, A., Erkan, Y., ve Ceylan, B.** (2005), Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) Veri Değerlendirme Stratejileri. *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*
- Kutoglu, Ş. H., Akçın, H., Görmüş, S. K., Kemalidere, H.,** (2009), Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa Segmentinde Gerçekleştirilen Jeodezik Çalışmalar. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası., 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Lenk, O., Türkezer, A., Ergüntav, S., Kurt, A.İ. ve Belgen, A.** (2002): Monitoring the Kinematics of Anatolia Using Permanent GPS Network Stations. Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), Vol. **12**, 2003, pp. 55-65.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S. Georgiev, et.al..** (2000). Global Positioning System Constraints On Plate Kinematics And Dynamics In The Eastern Mediterranean And Caucasus. Journal Of Geophysical Research, (Cilt. **105**, No. B3, Sf. 5695 – 5719)
- Reid H.F.,** 1910. The Mechanics of The Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission. Vol.2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Reilinger, R.E, McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W., Toksöz, M.N., Barka, et.al..** (1997). Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Euroasia plate collision zone, *J. Geophysical Research*, **102**, B5, 9983-9999.
- Straub, S.C. and Kahle, H.G.** (1995). Active crustal deformation in the Marmara Sea Region, N.W. Anatolia, inferred from GPS measurements. *Geophysical Research Letters*, **22**, 2533-2536.
- Trauth, M.H.,** 2006. MATLAB Recipes for Earth Sciences, Springer, Hollanda
- Yavaşoğlu, H., Tarı, E., Tüysüz, O., Çakır, Z., Ergintav, S.,** (2010). Determination and Modeling Tectonic Movements Along The Central Part of The North Anatolian Fault (Turkey) Using Geodetic Measurements. *Journal of Geodynamics (GEOD – 1014*, Sf. 5)
- Url-1** <<http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbDataBySite.cgi>> , alındığı tarih 20.05.2011
- Url-2** <<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/>> , alındığı tarih 4.07.2011

EKLER

EK A : Birinci Çalışma Alanına Ait Zaman Serileri

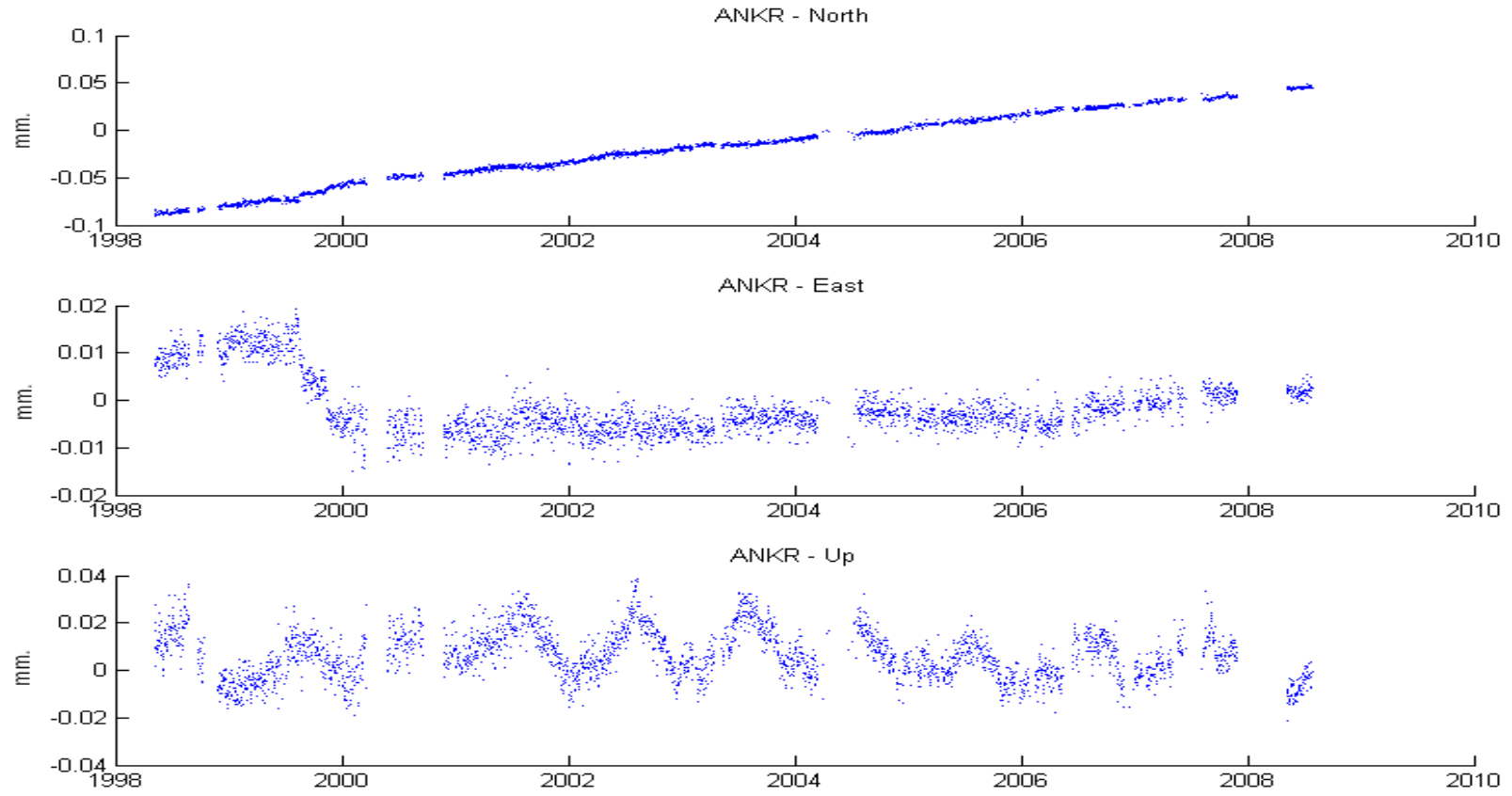
EK B : Birinci Çalışma Alanına Ait Gerilme ve Birim Deformasyon Zaman Serileri

EK C : Deprem Sonrası Sismik Azalmanın Gerilme Düşmesi İle Uyumunu Yansıtan
Grafikler

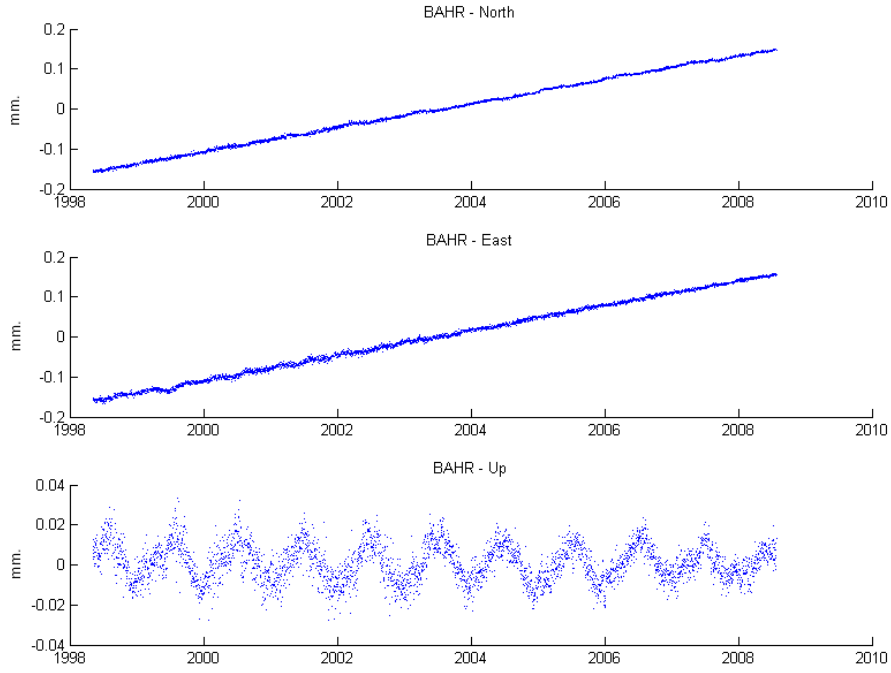
EK D : İkinci Çalışma Alanına Ait Gerilme Dağılımları

EK E : Üçüncü Çalışma Alanına ait Gerilme Dağılımları

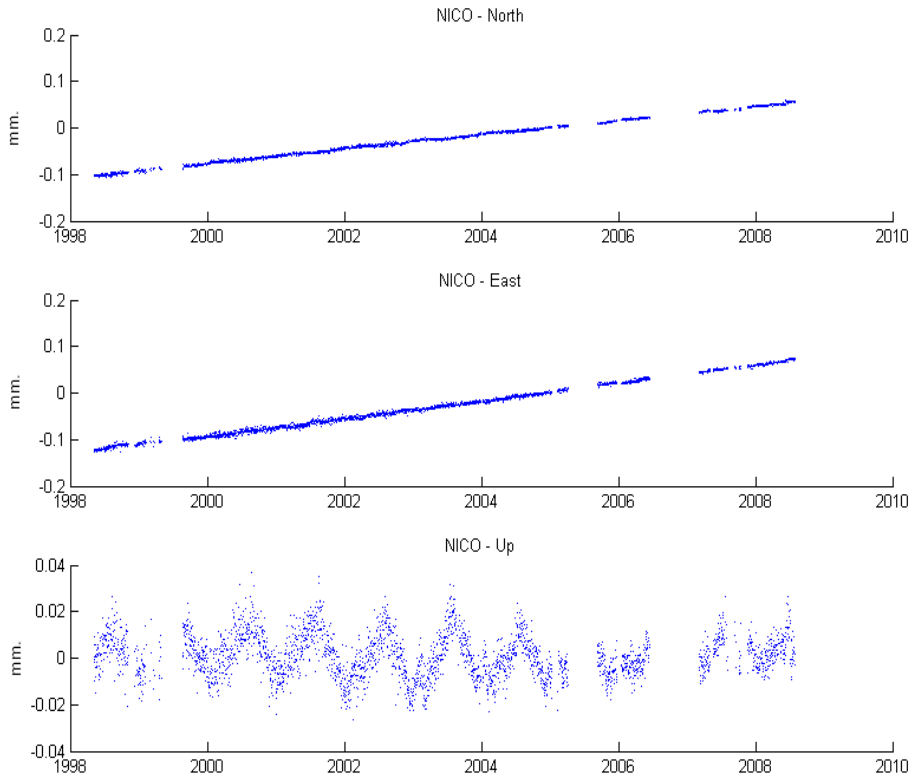
EKA



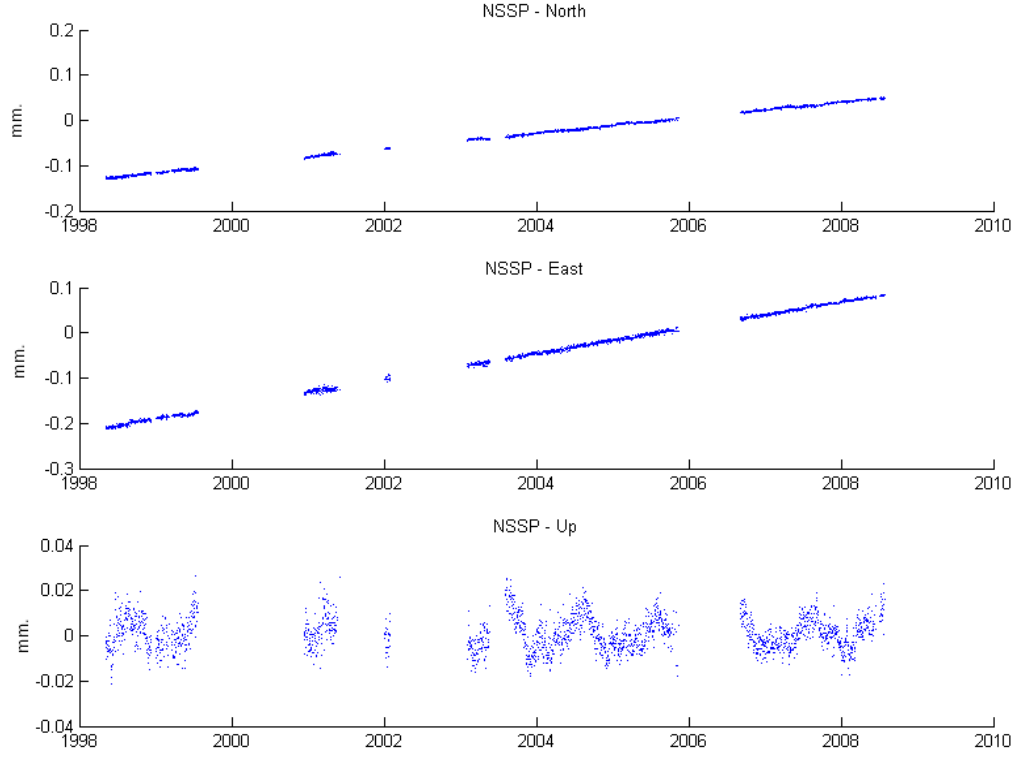
Şekil A.1 : ANKR istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).



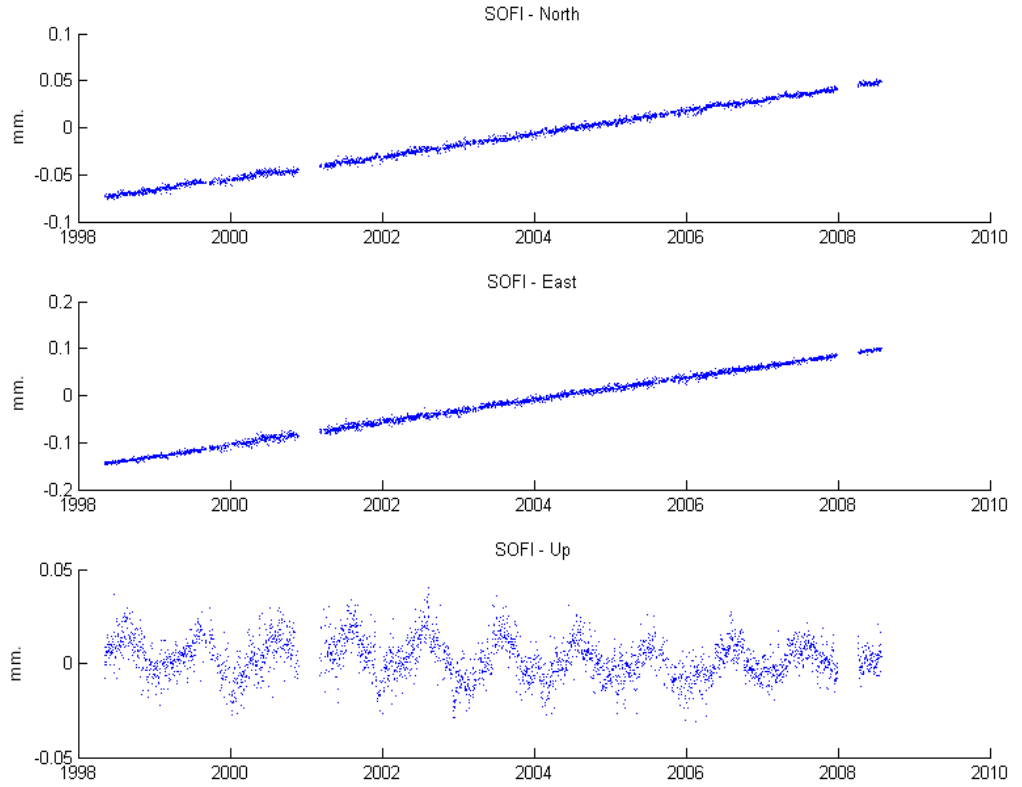
Şekil A.2 : BAHR istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).



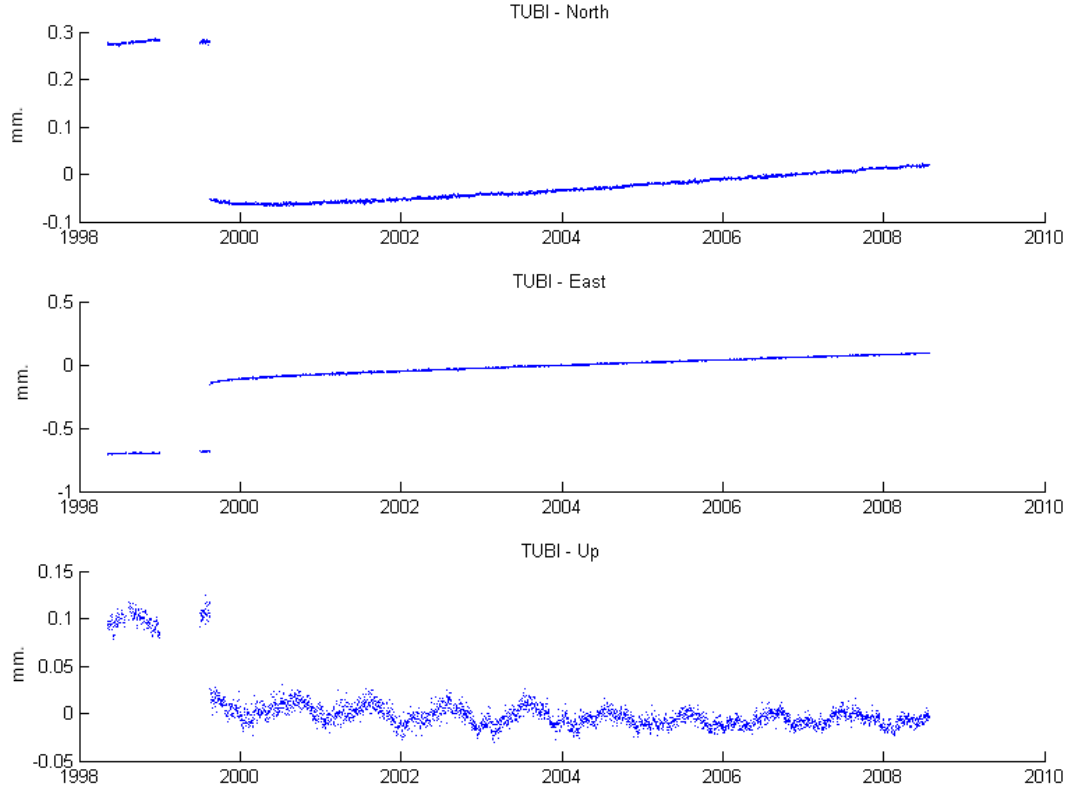
Şekil A.3 : NICO istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).



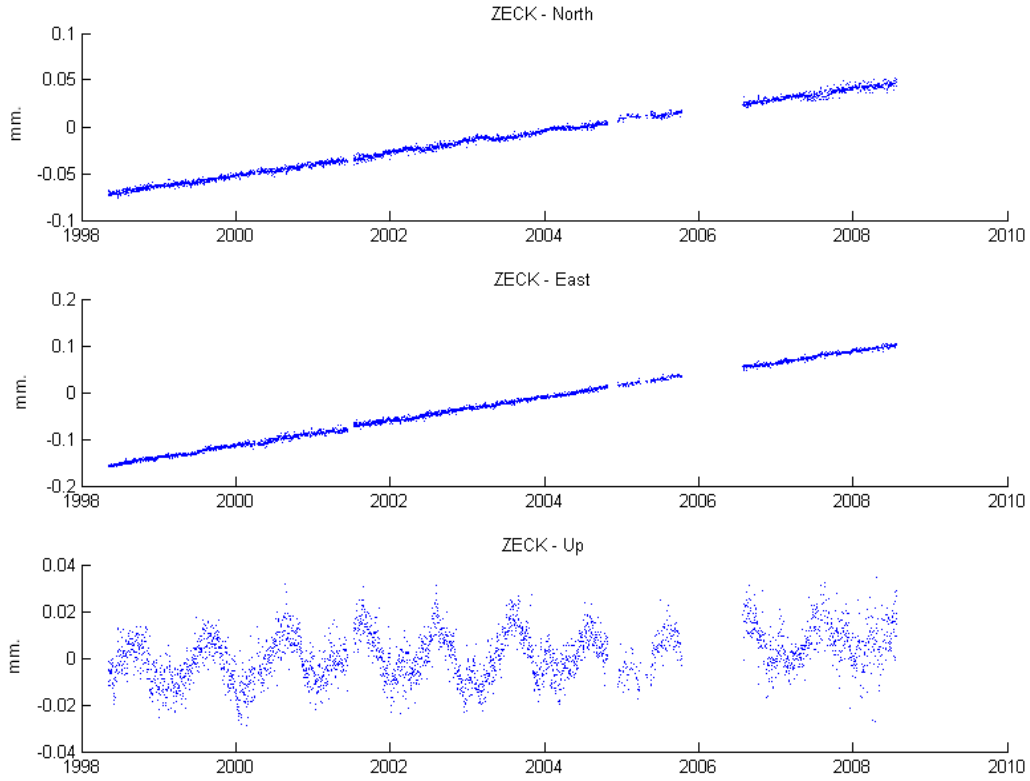
Şekil A.4 : NISP istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).



Şekil A.5 : SOFI istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).

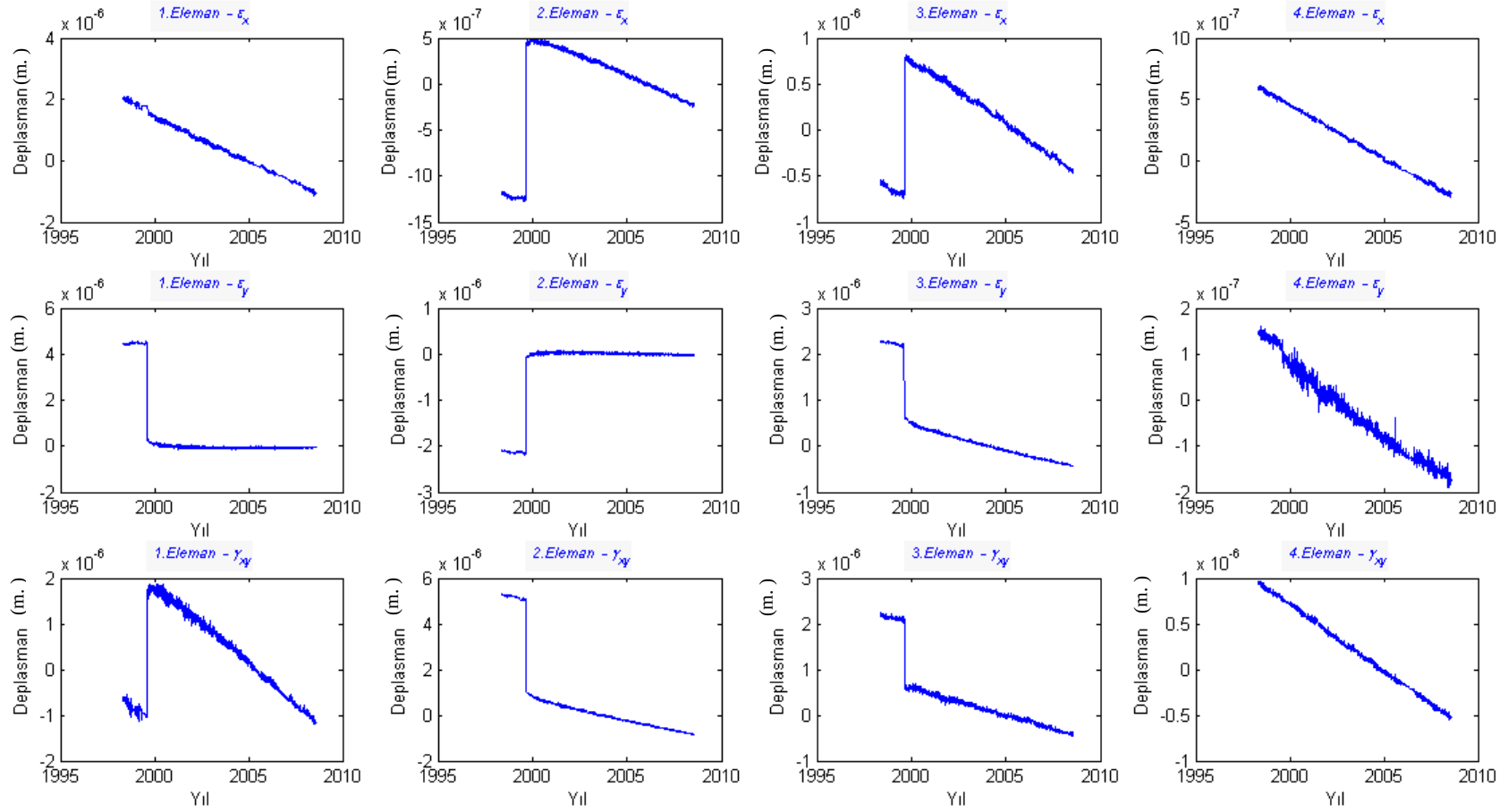


Şekil A.6 : TUBI istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).

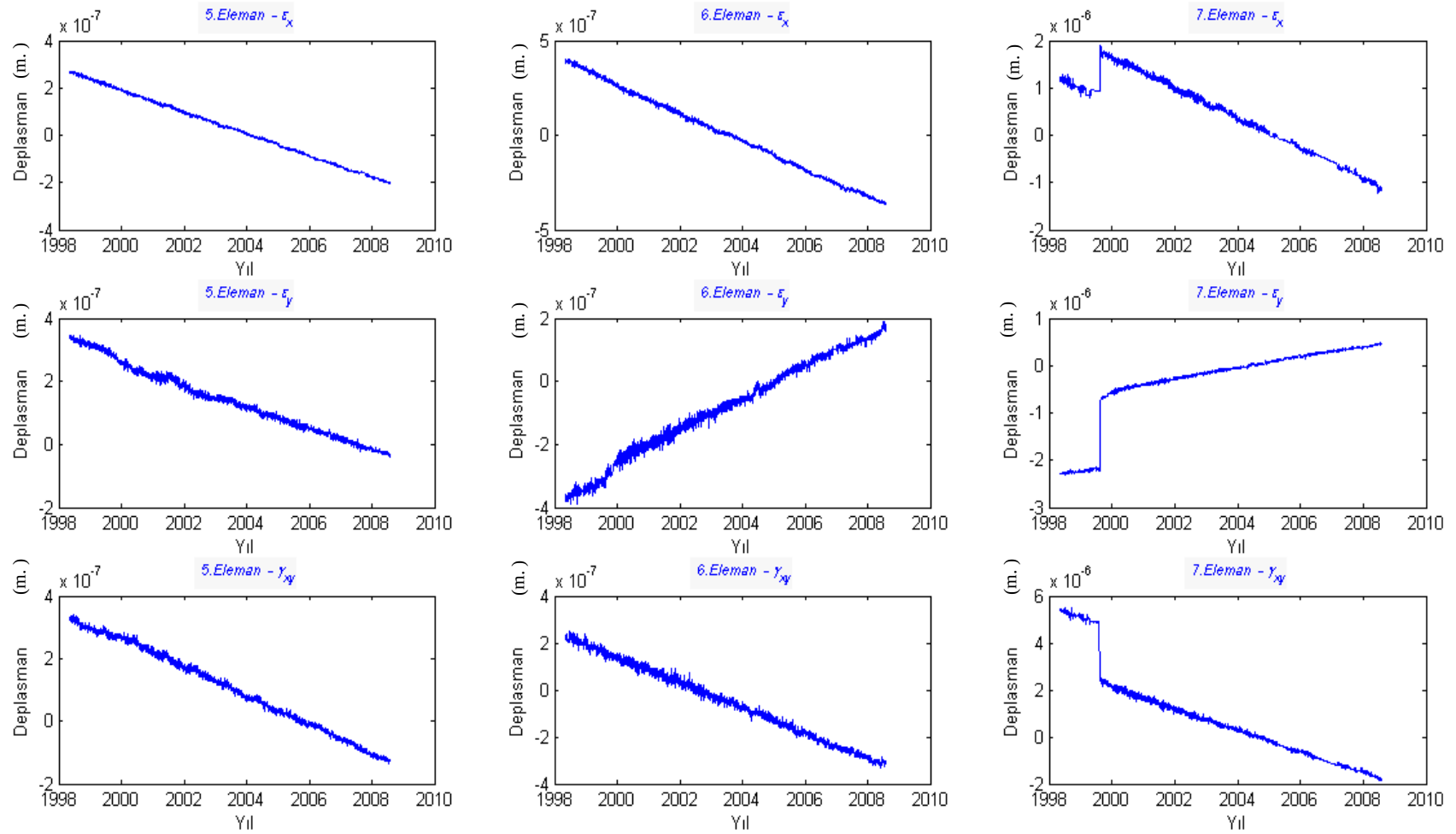


Şekil A.7 : ZECK istasyonunun zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için).

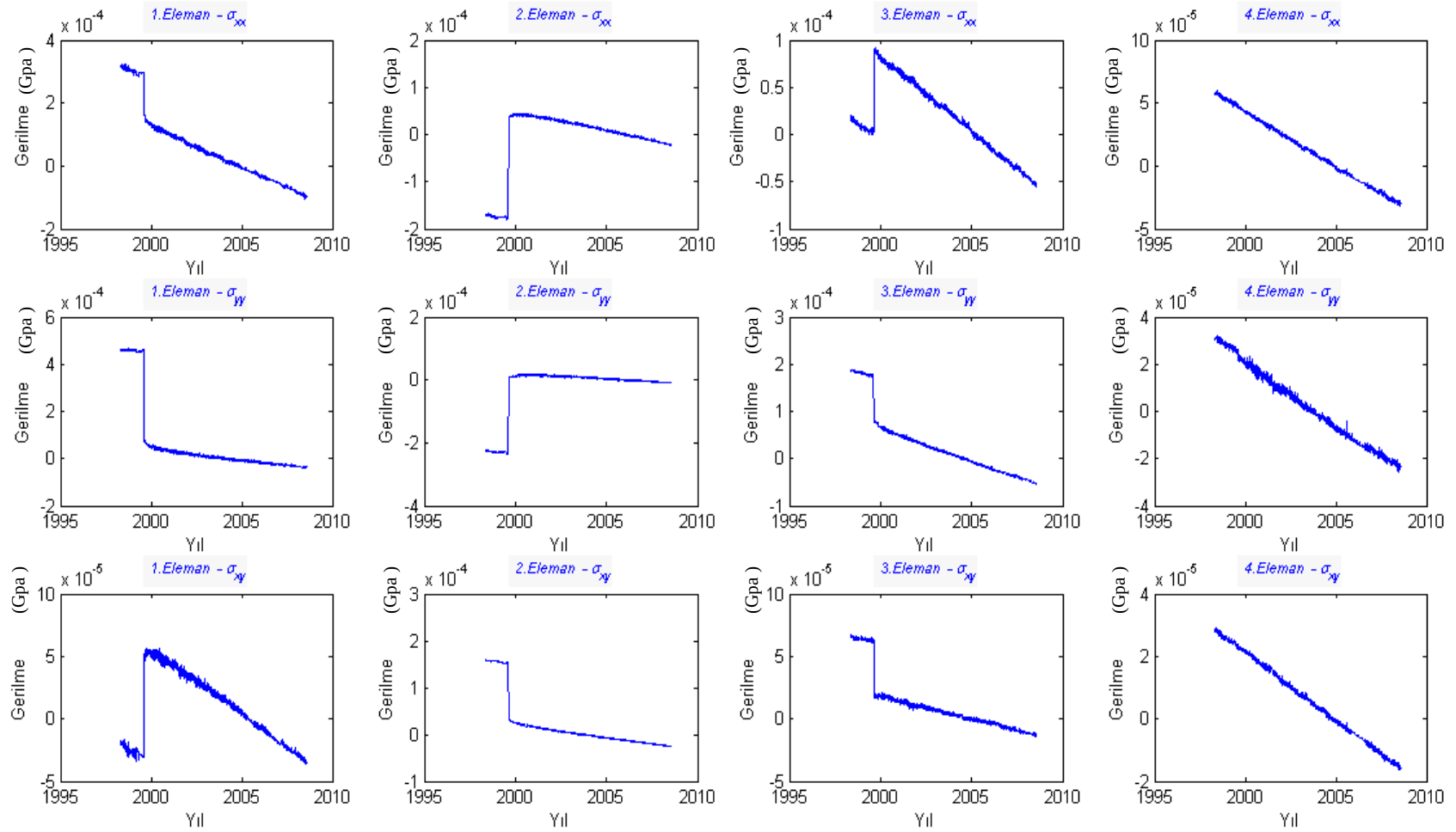
EK B



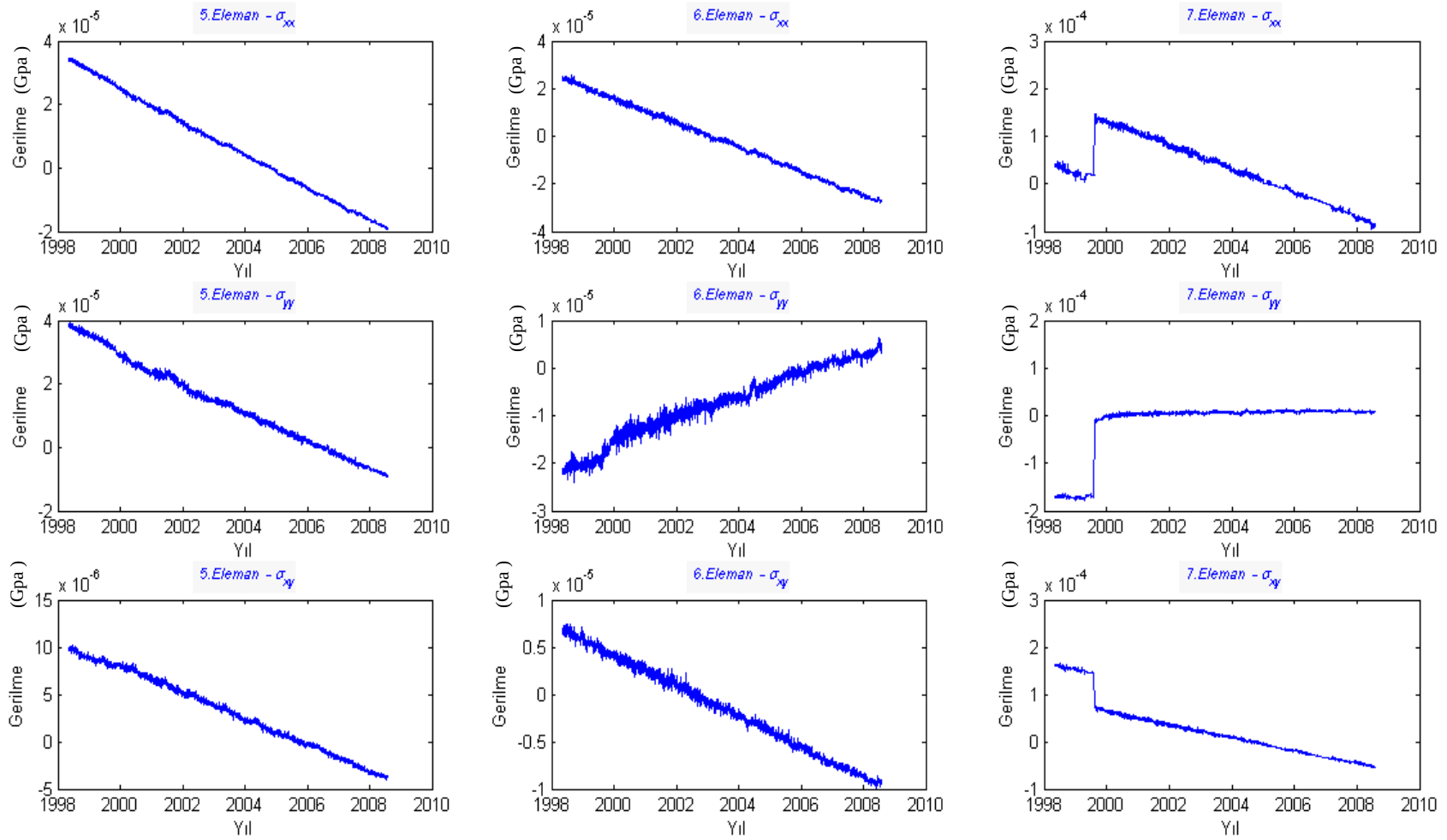
Şekil B.1 : 1, 2, 3, 4 numaralı elemanlar için Birim Deformasyon Hız Tensörü Grafikleri.



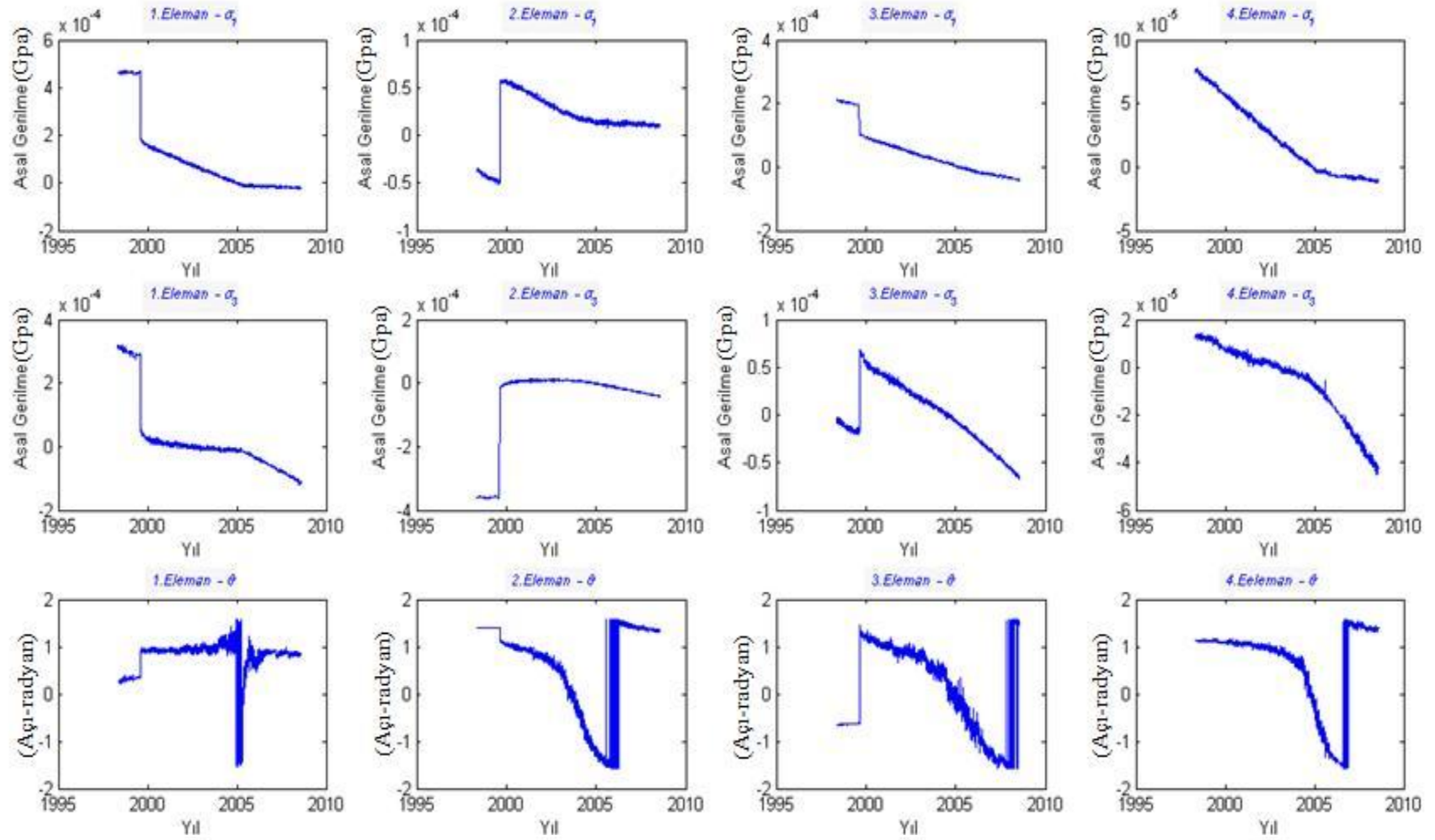
Şekil B.2 : 5, 6, 7 numaralı elemanlar için Birim Deformasyon Hız Tensörü Grafikleri.



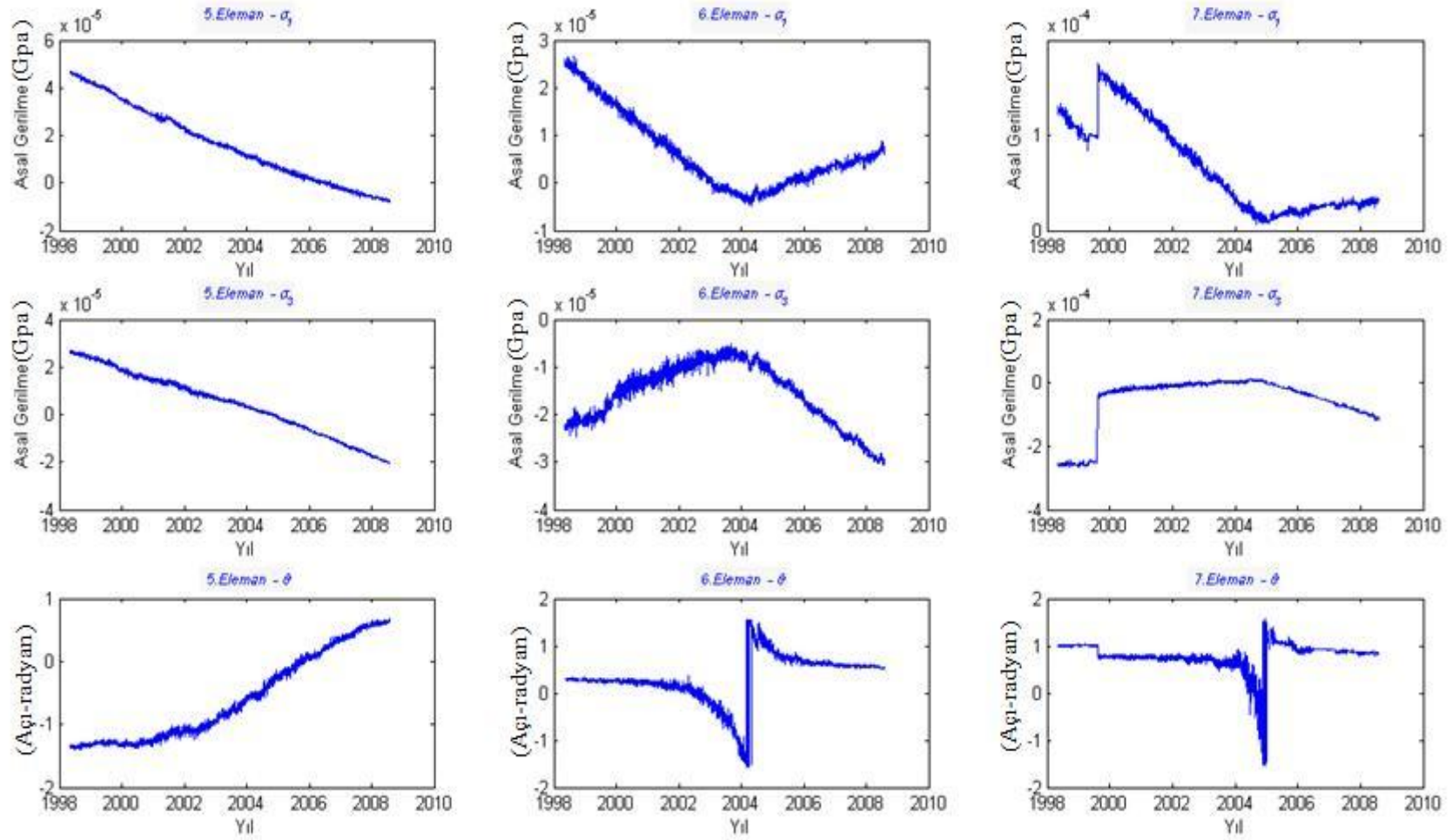
Şekil B.3 : 1, 2, 3, 4 numaralı elemanlar için Gerilme Hız Tensörü Grafikleri.



Şekil B.4 : 5, 6, 7 numaralı elemanlar için Gerilme Hız Tensörü Grafikleri.

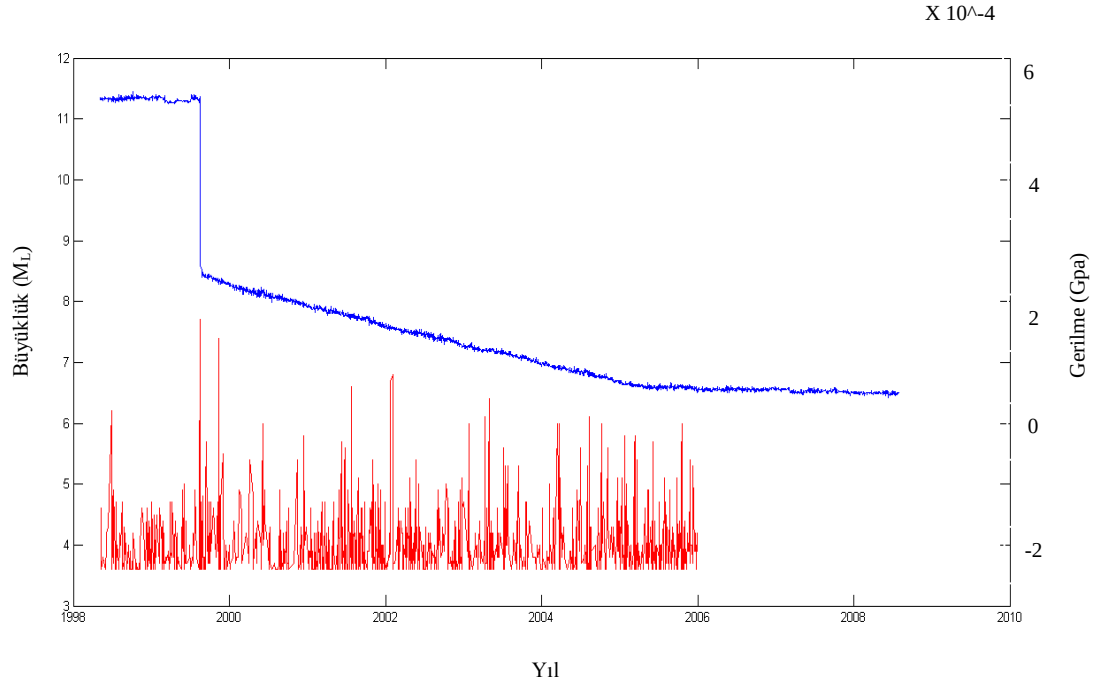


Şekil B.5 : 1, 2, 3, 4 numaralı elemanlar için Asal Gerilme değerleri ve yönlerinin günlük değişim grafiği.

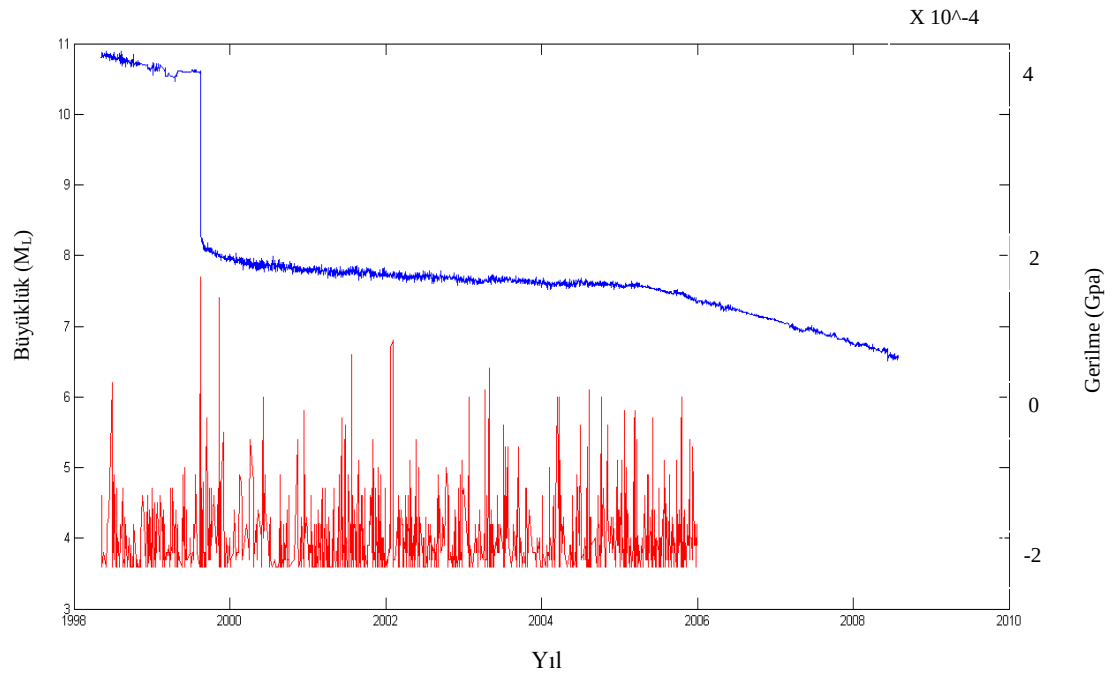


Şekil B.6 : 5, 6, 7 numaralı elemanlar için Asal Gerilme değerleri ve yönlerinin günlük değişim grafiği.

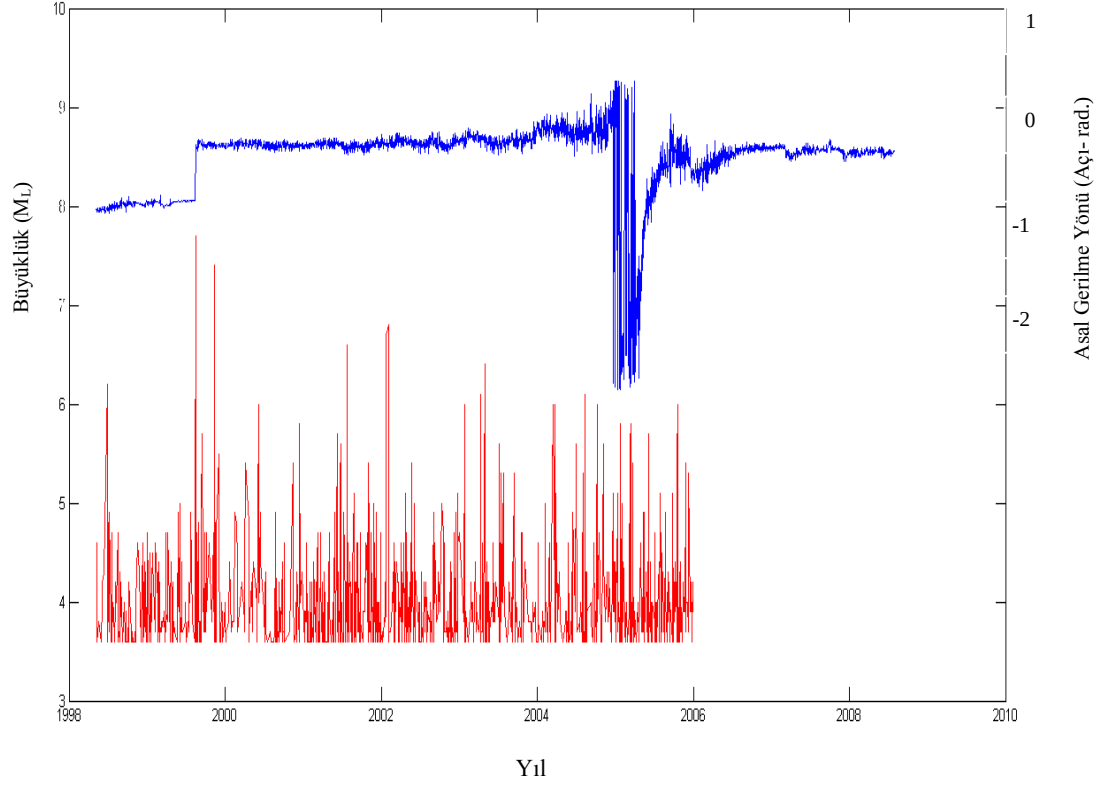
EK C



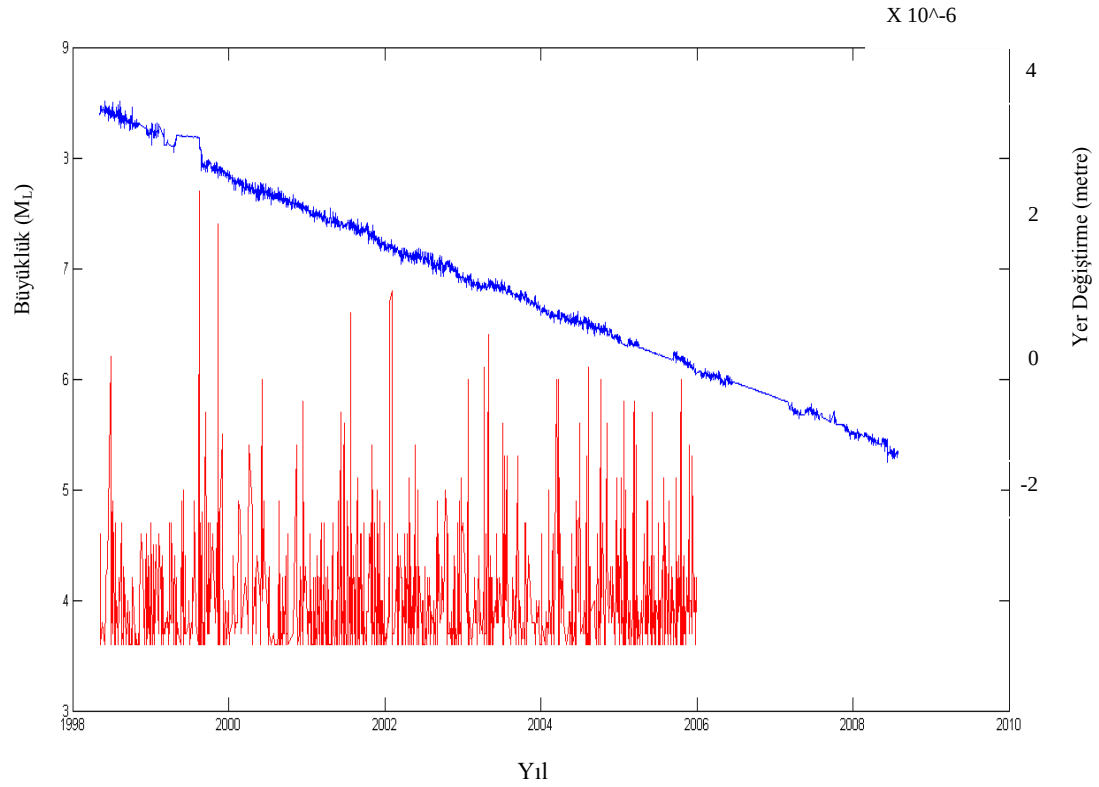
Şekil C.1 : 1 numaralı eleman için σ_1 asal gerilme değerleri zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



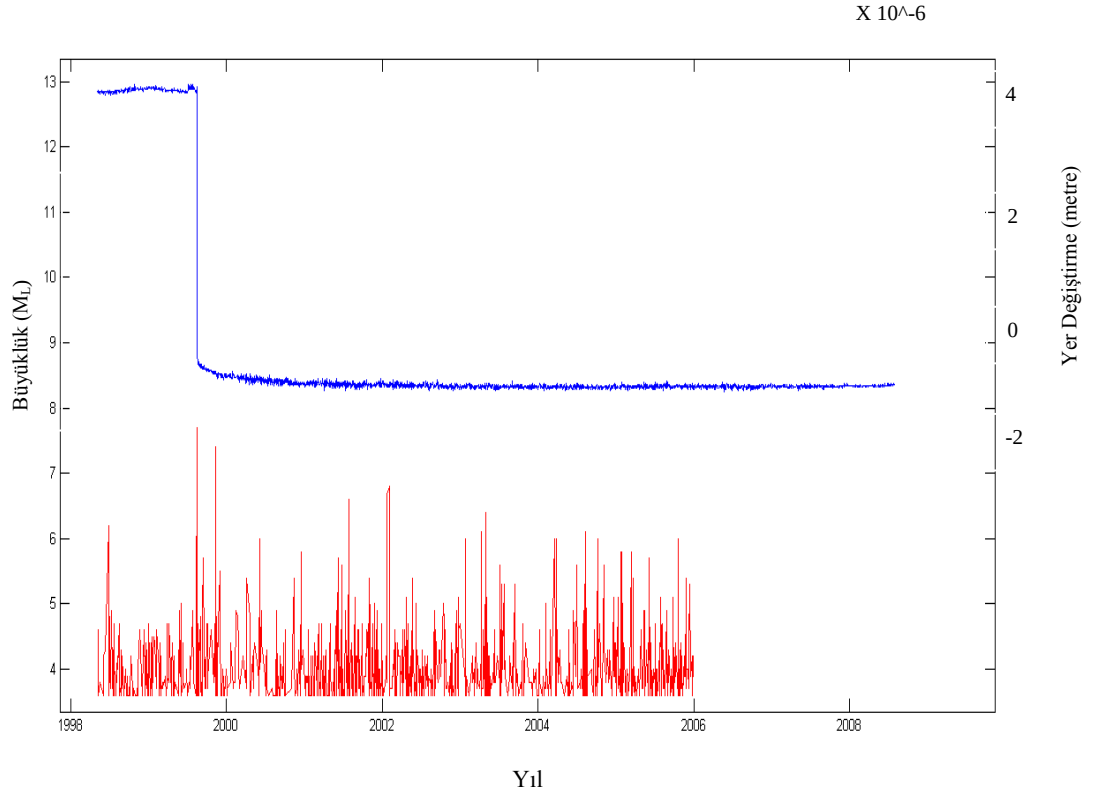
Şekil C.2 : 1 numaralı eleman için σ_3 asal gerilme değerleri zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



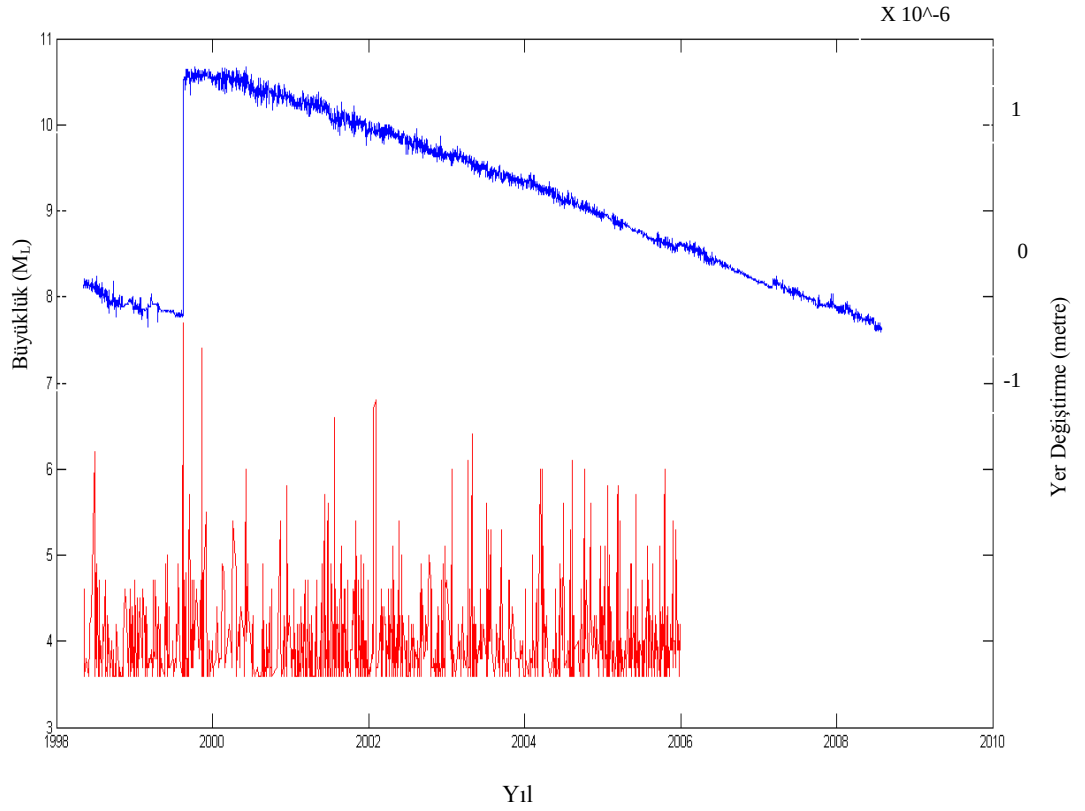
Şekil C.3 : 1 numaralı eleman için θ (asal gerilme yönü) zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



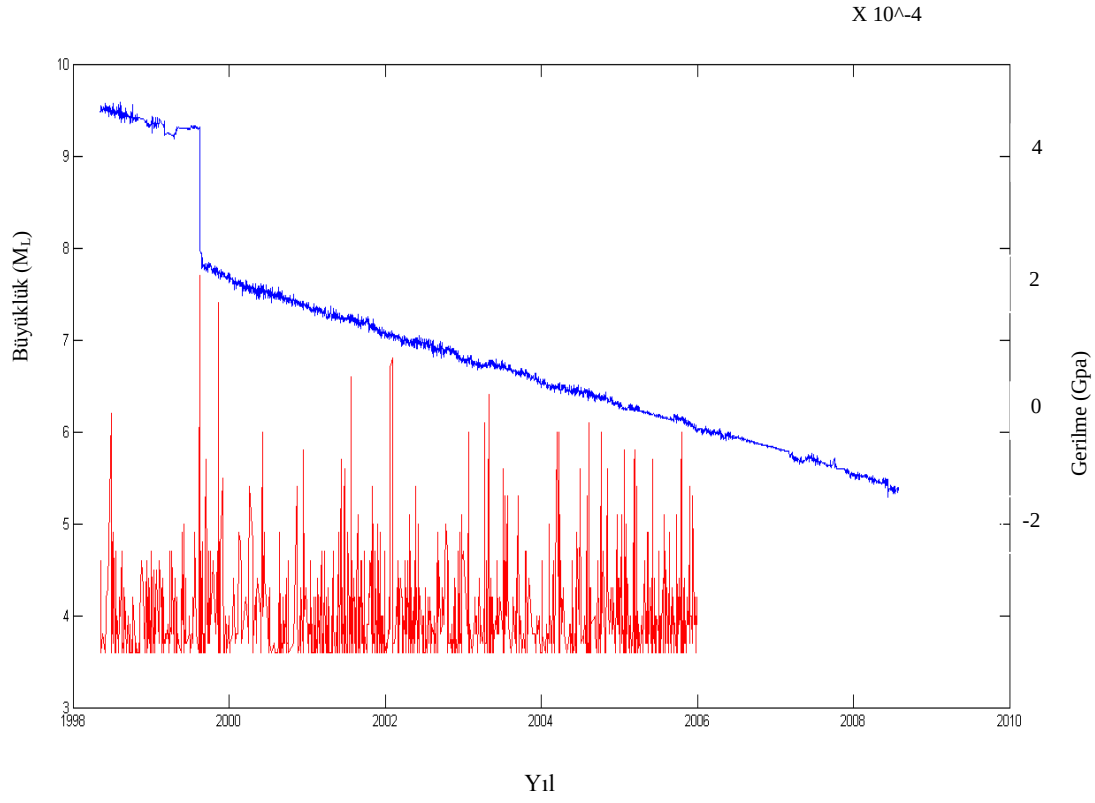
Şekil C.4 : 1 numaralı eleman için Birim Deformasyon Hız Tensörü ϵ_{xx} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



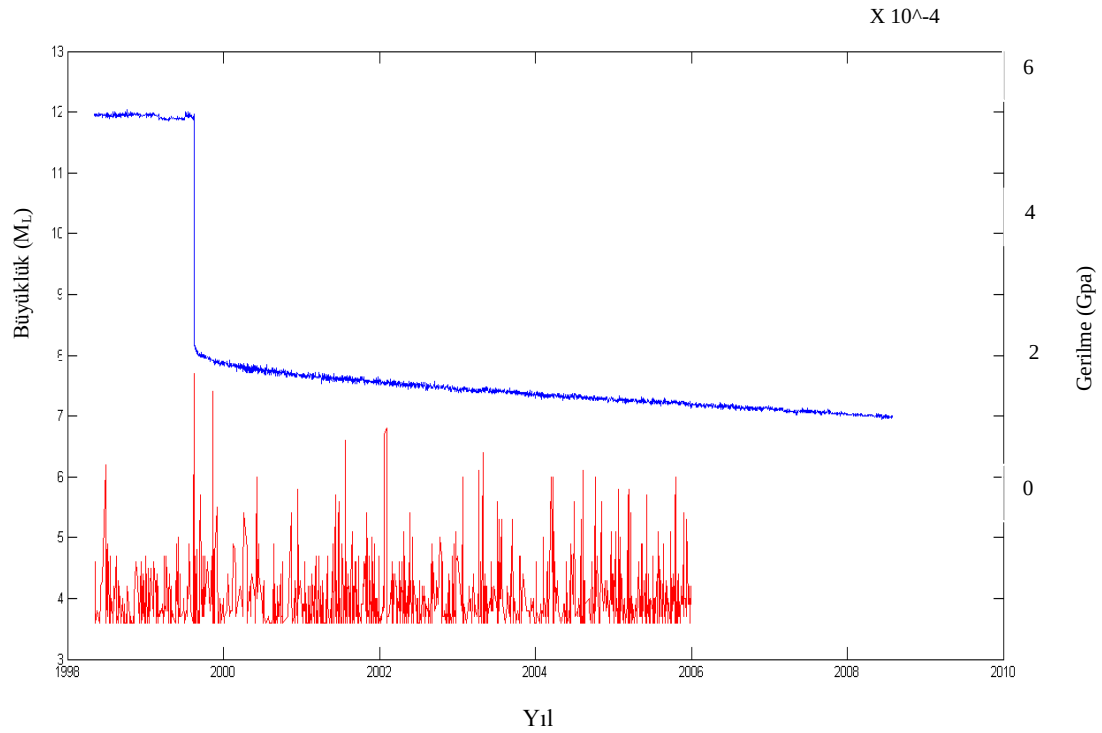
Şekil C.5 : 1 numaralı eleman için Birim Deformasyon Hız Tensörü ϵ_{yy} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



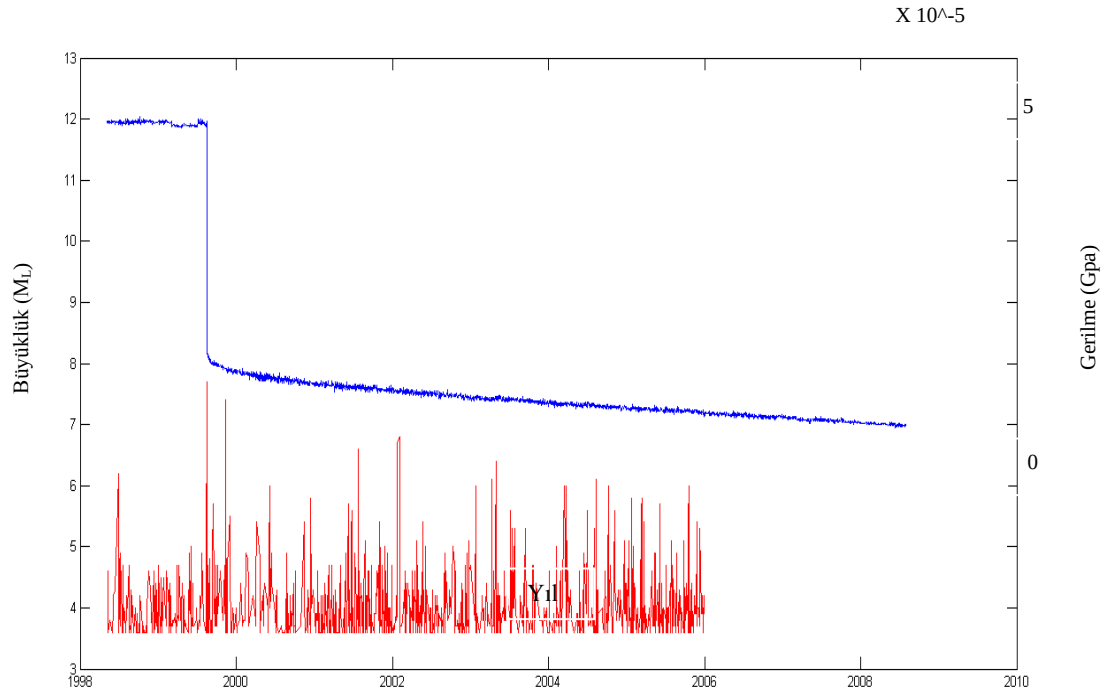
Şekil C.6 : 1 numaralı eleman için Birim Deformasyon Hız Tensörü ϵ_{xy} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



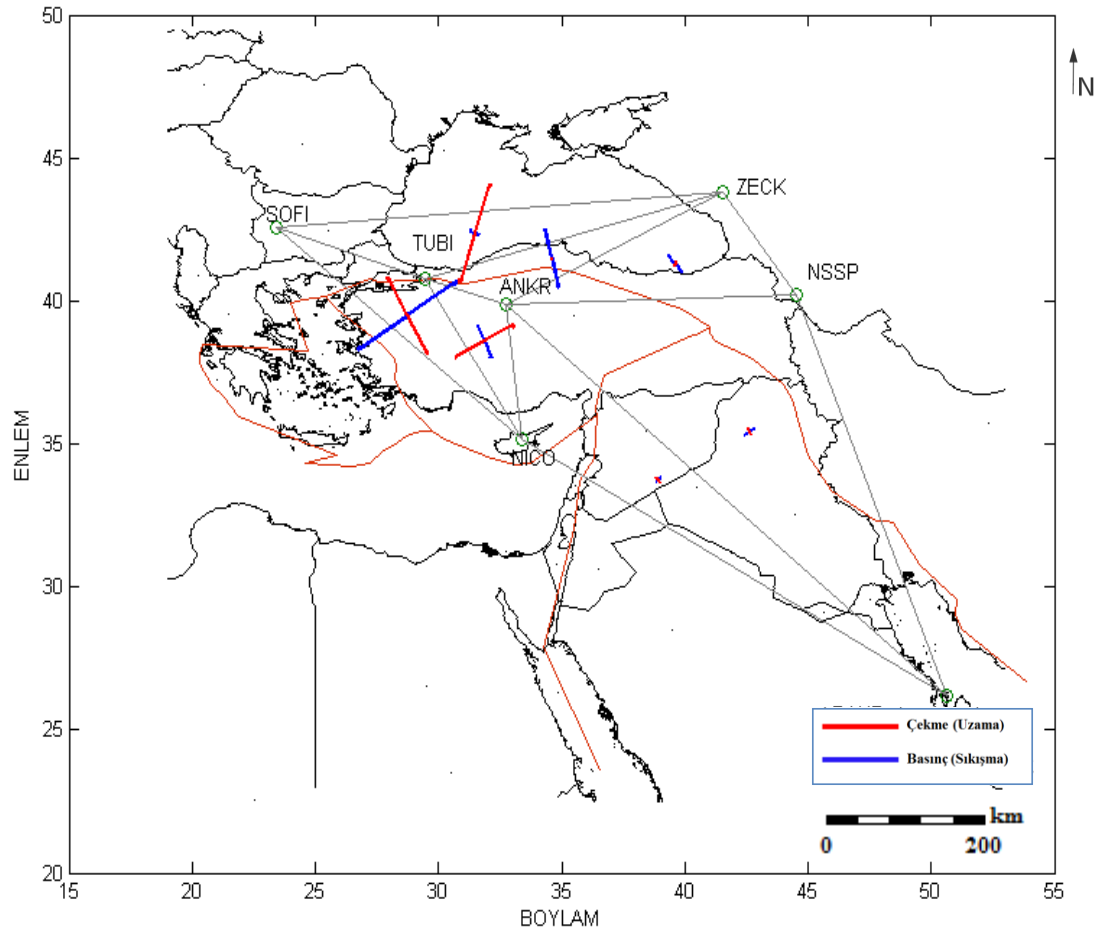
Şekil C.7: 1 numaralı eleman için Gerilme Hız Tensörü σ_{xx} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



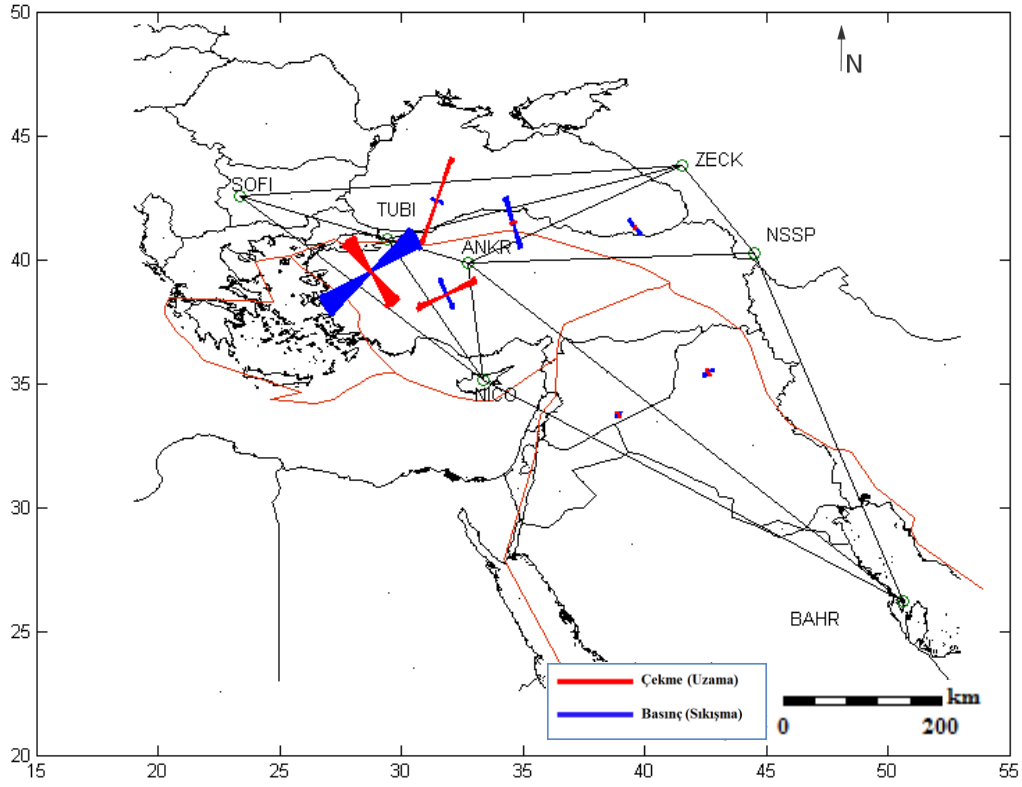
Şekil C.8 : 1 numaralı eleman için Gerilme Hız Tensörü σ_{yy} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



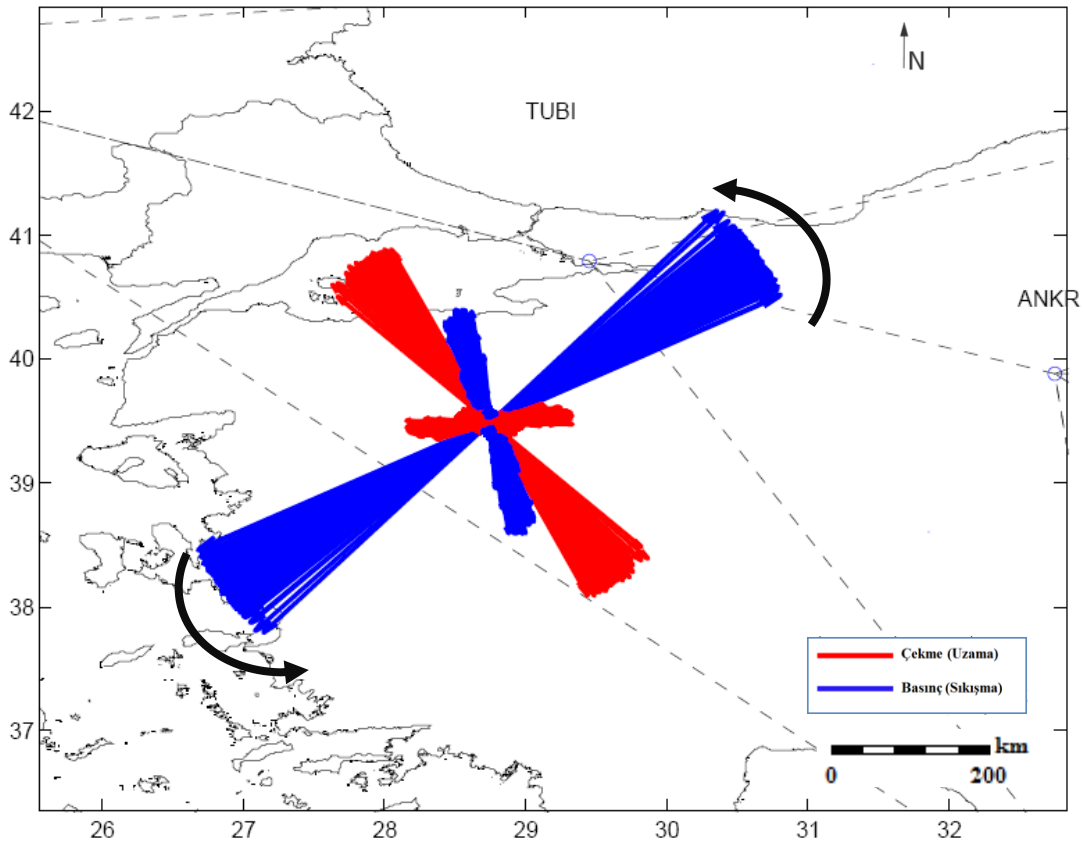
Şekil C.9 : 1 numaralı eleman için Gerilme Hız Tensörü σ_{xy} zaman serisi - depremlerin magnitüdlerinin zamana göre dağılımı.



Şekil C.10 : Asal gerilme değerleri ve yönleri (7 Mayıs 1998).

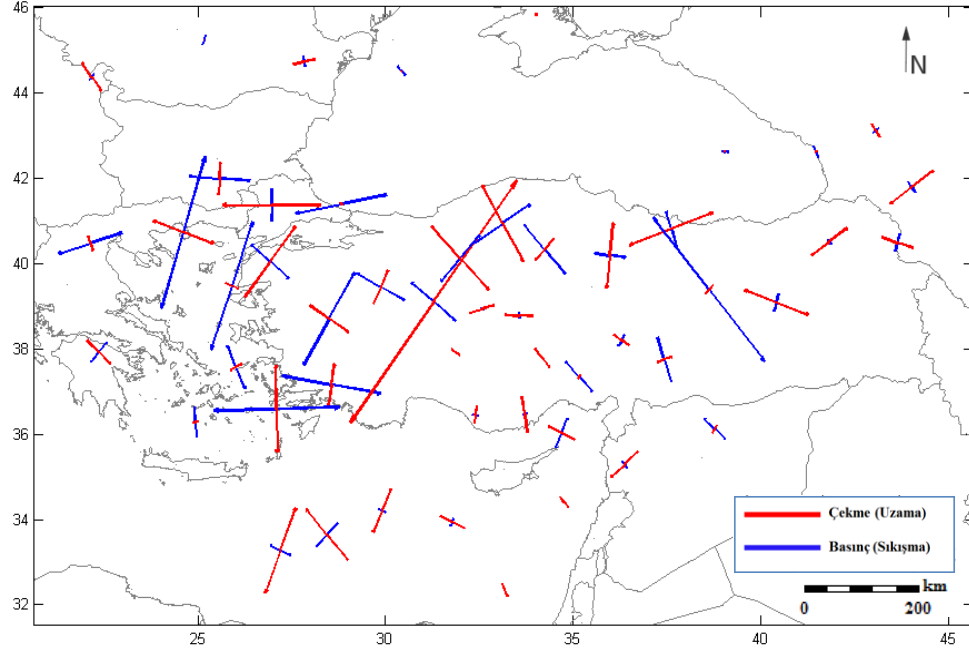


Şekil C.11 : Asal gerilme değerleri ve yönleri (7 Mayıs 1998 ~ 16 Ağustos 1999).

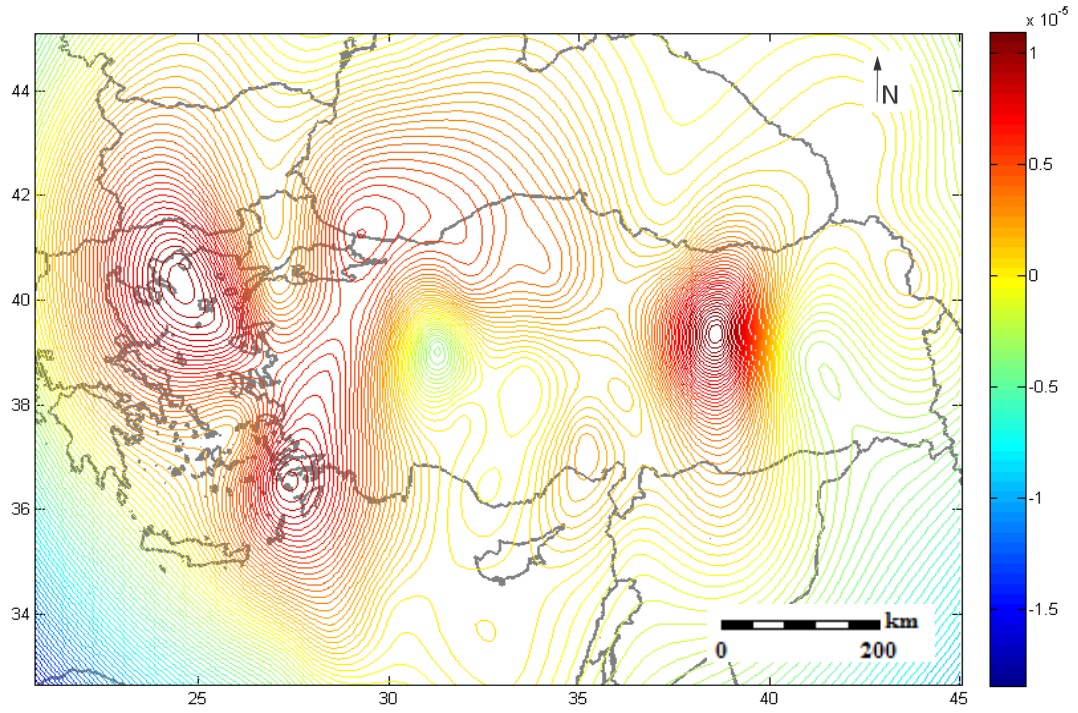


Şekil C.12 : 1 numaralı eleman için asal gerilme değerleri ve yönleri (7 Mayıs 1998 ~ 27 Temmuz 2008).

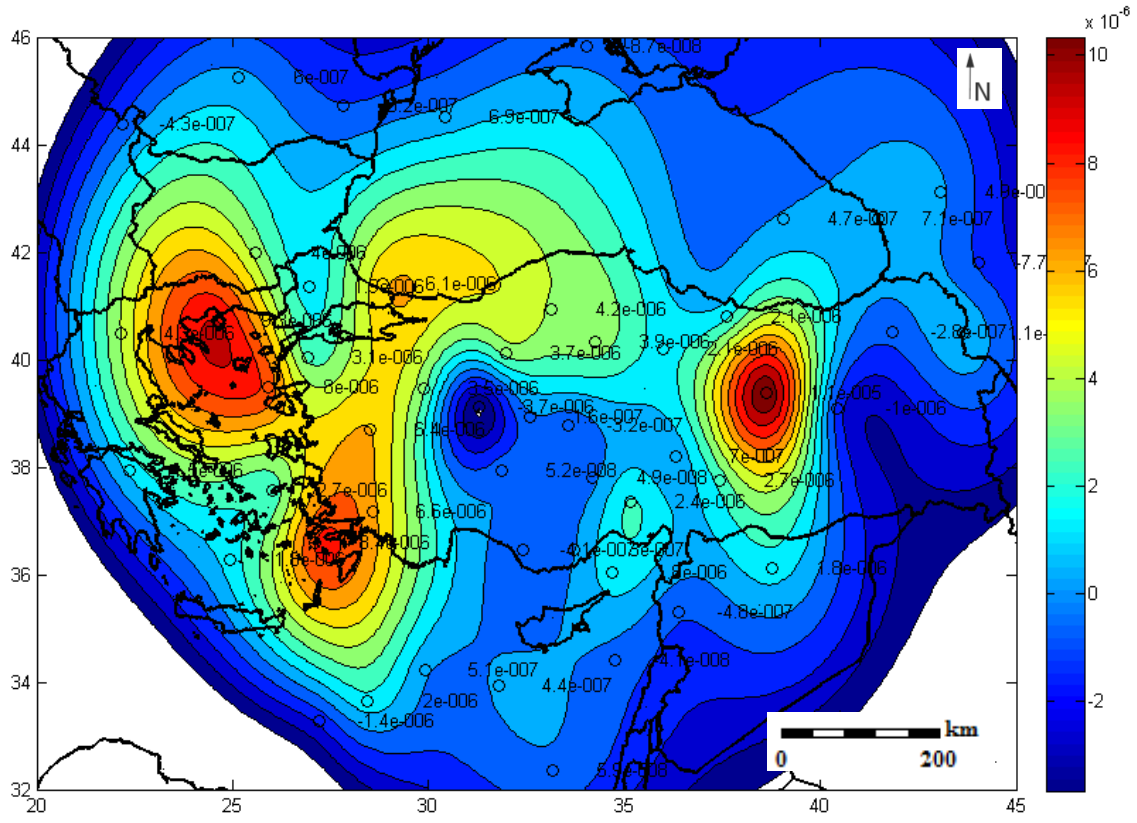
EK D



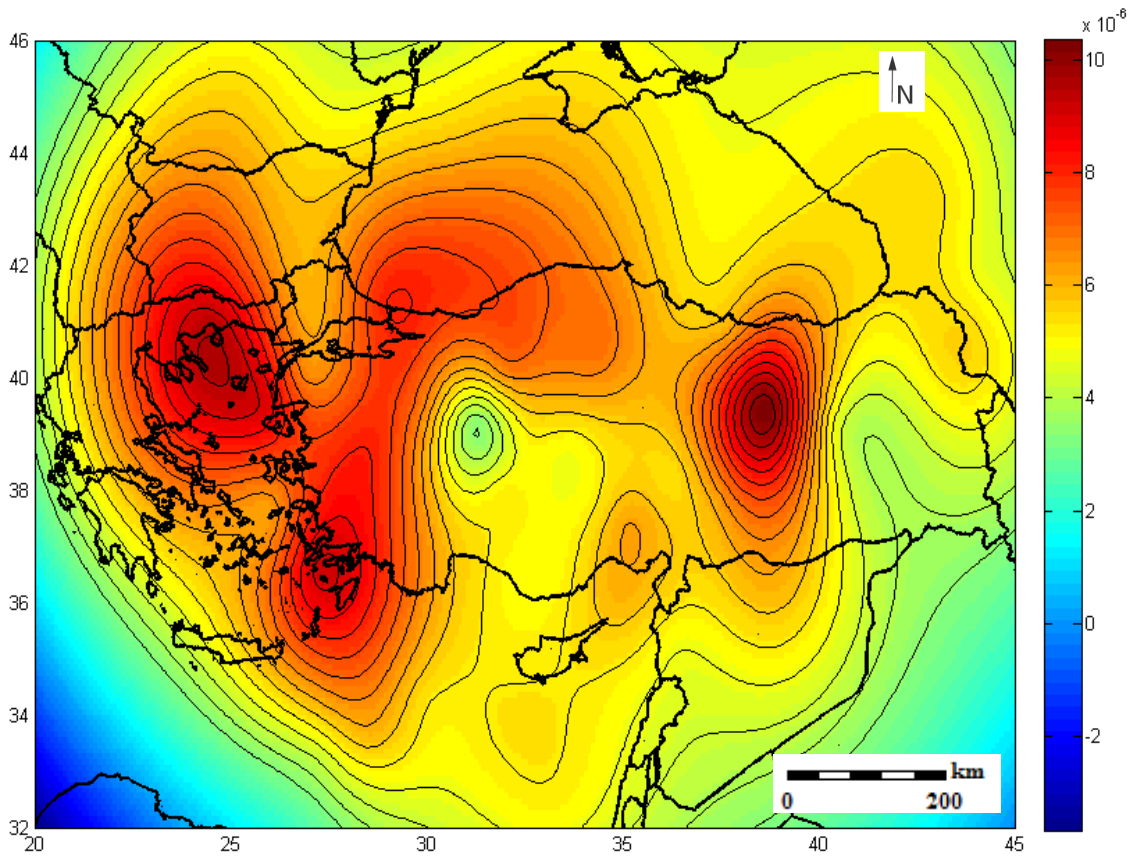
Şekil D.1 : Türkiye'nin yıllık asal gerilme hızlarının dağılımı.



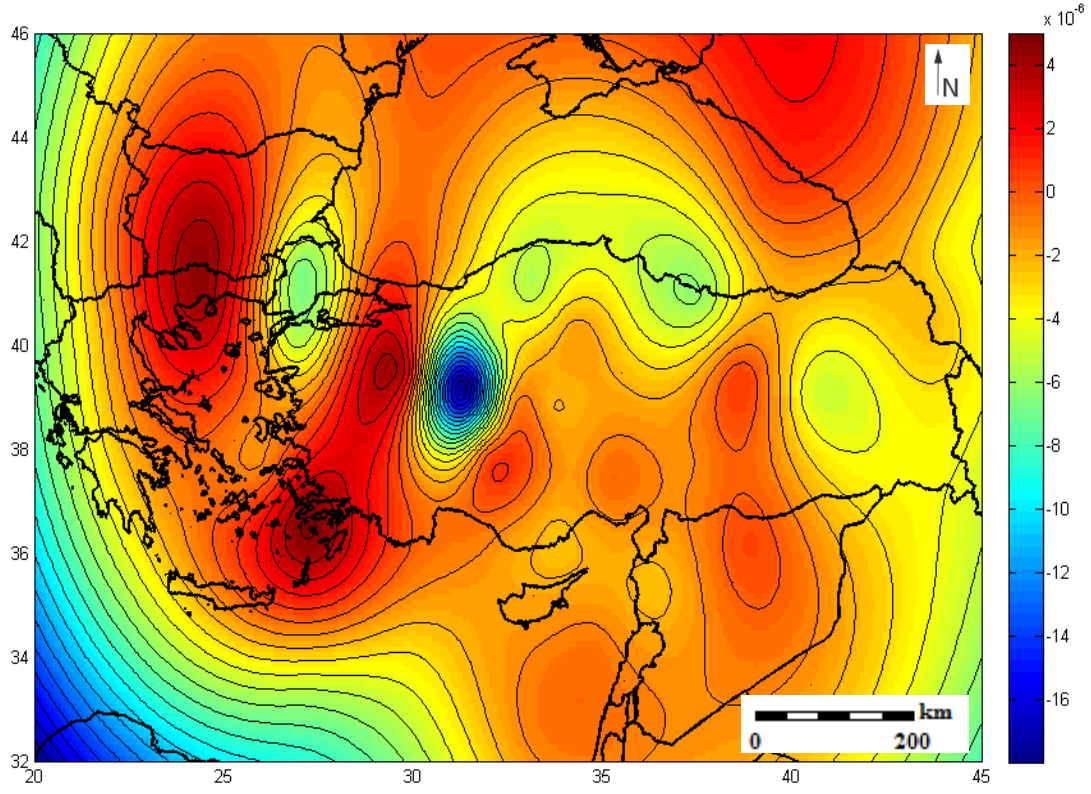
Şekil D.2 : Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.



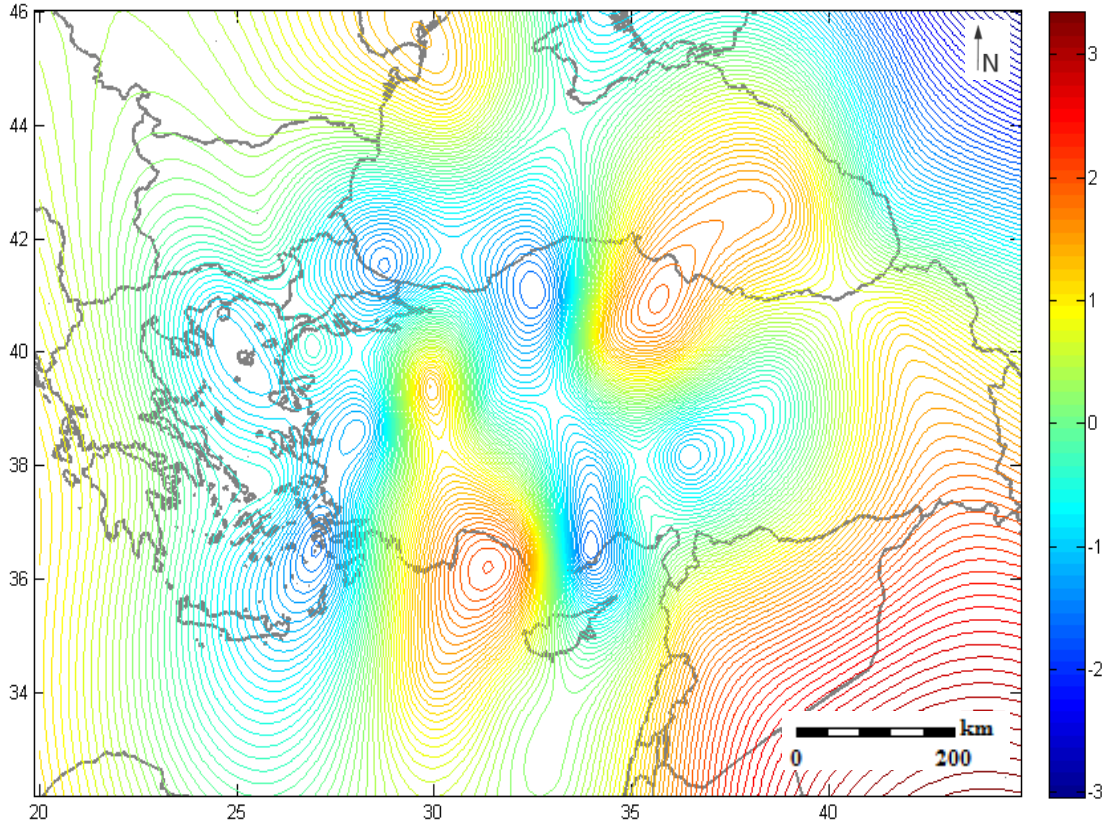
Şekil D.3 : Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-2.



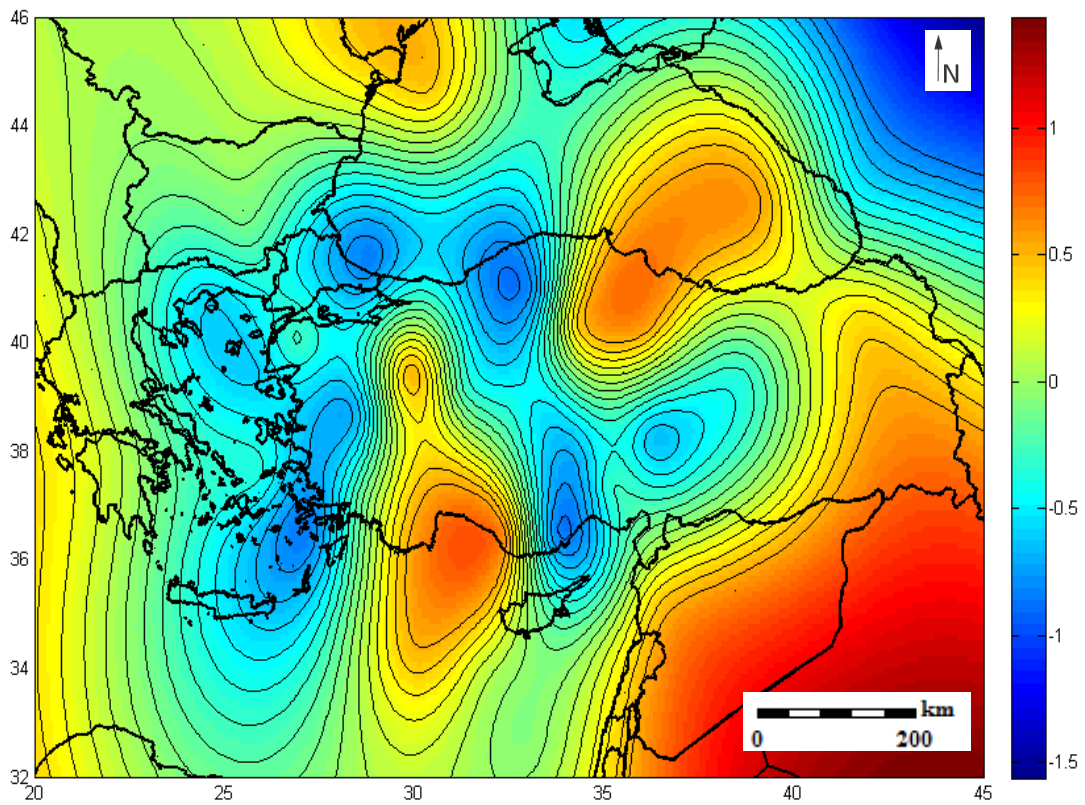
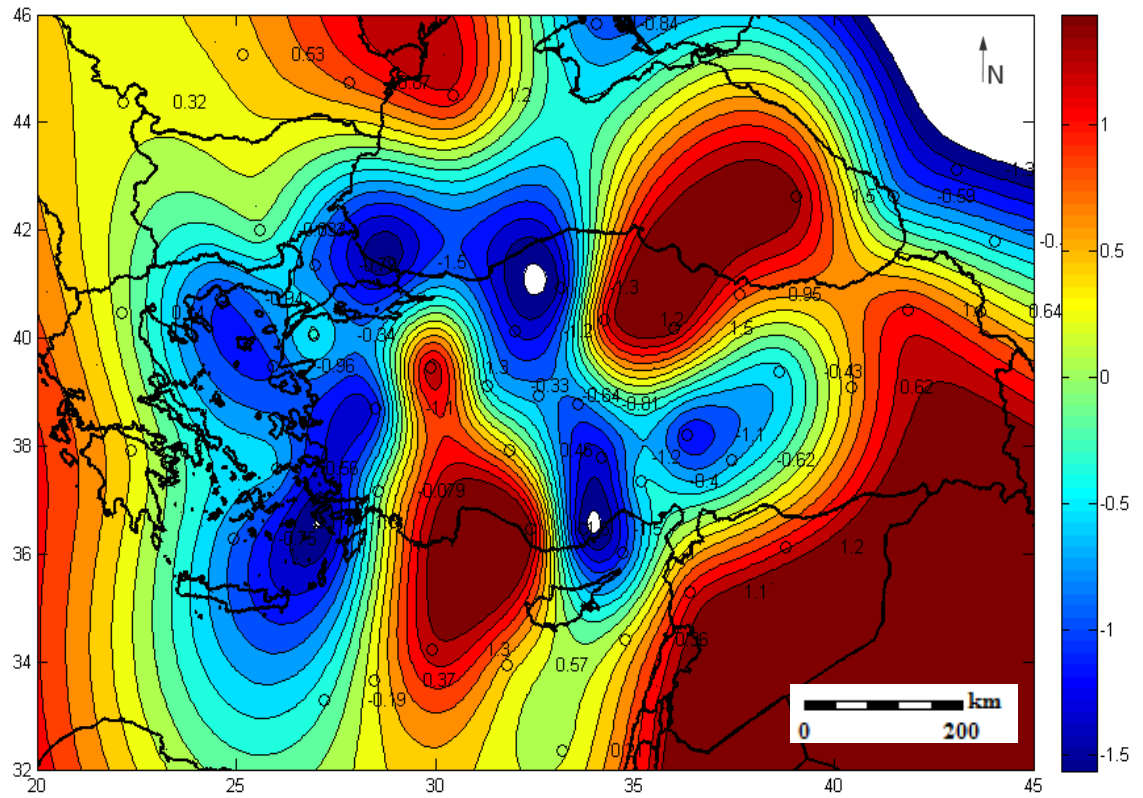
Şekil D.4 : Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-3.

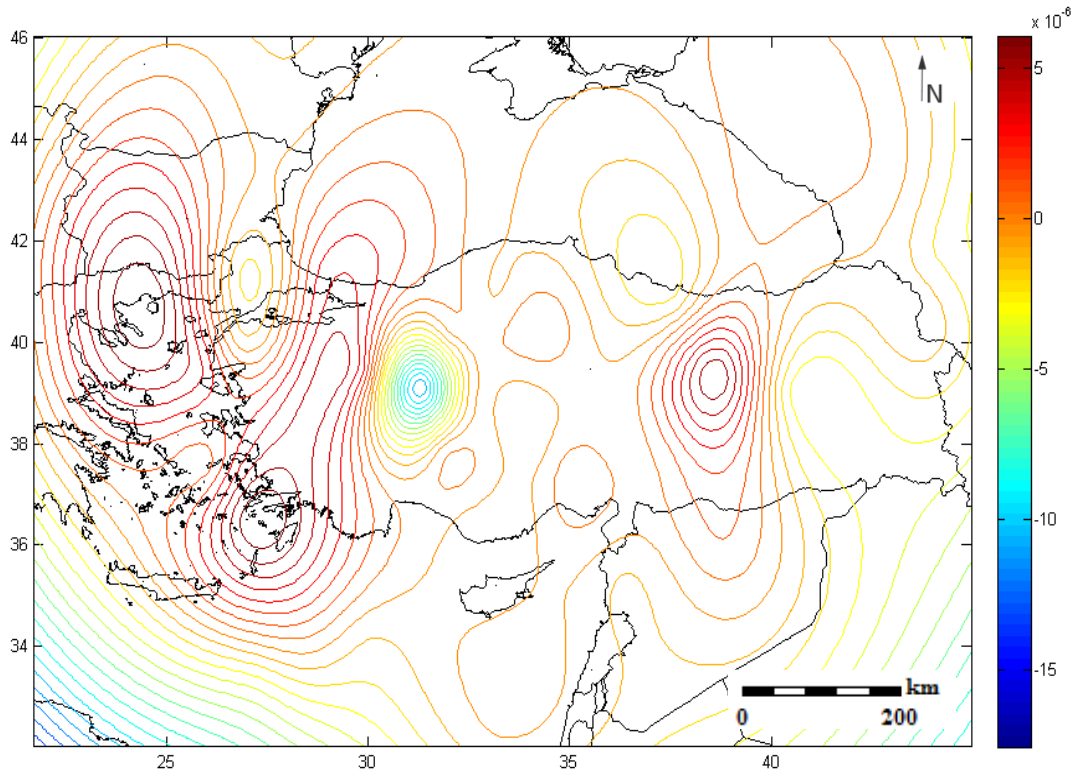


Şekil D.7 : Asal gerilme değerlerinden σ_3 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-3.

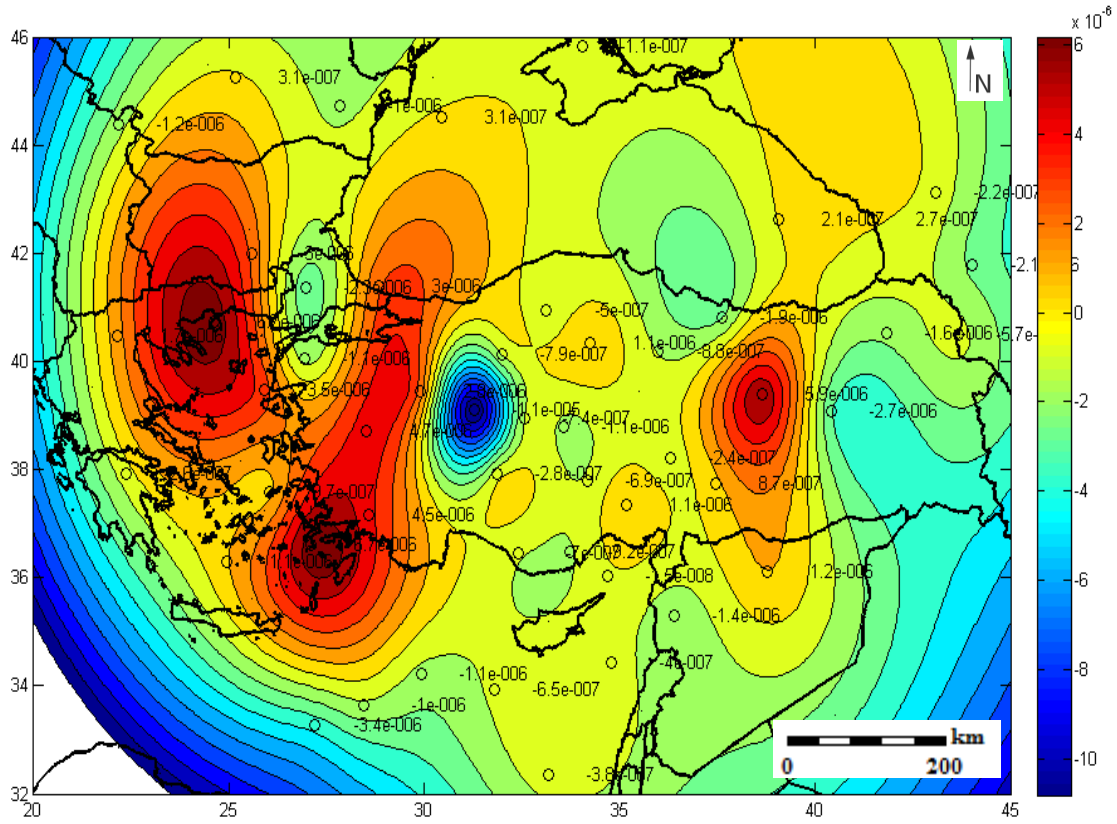


Şekil D.8 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-1.

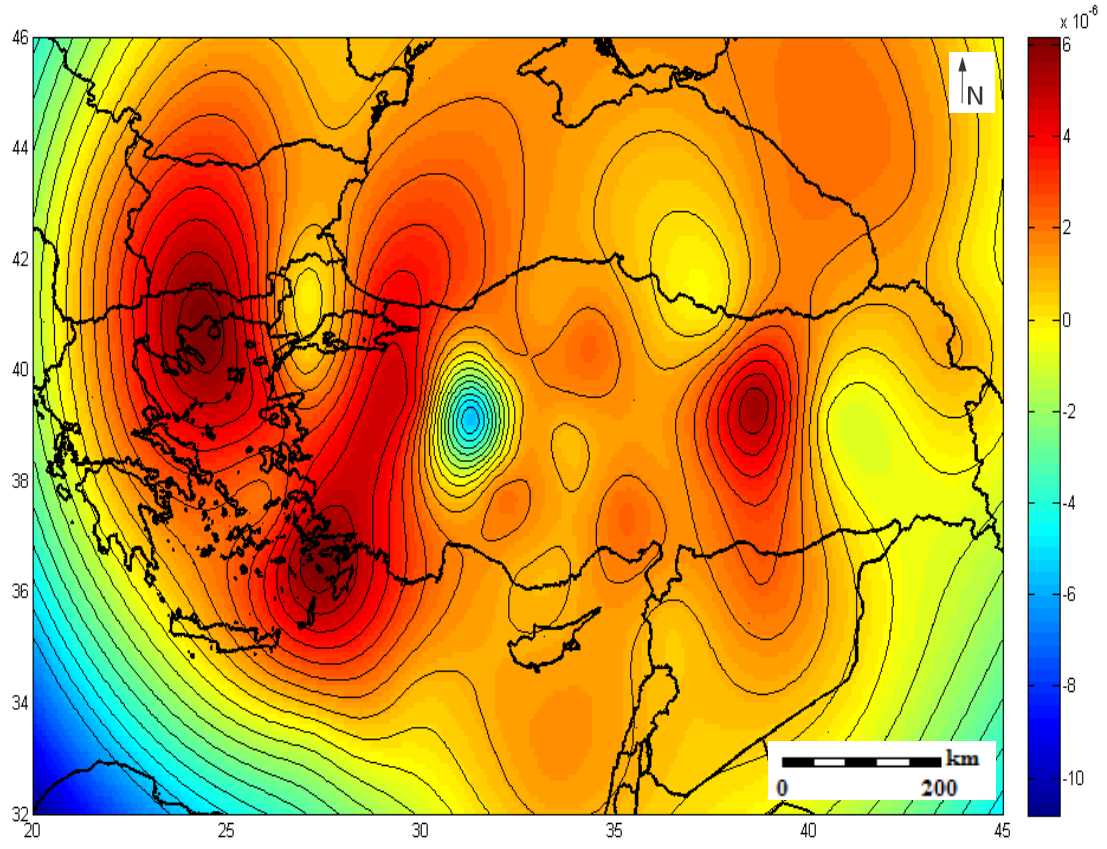




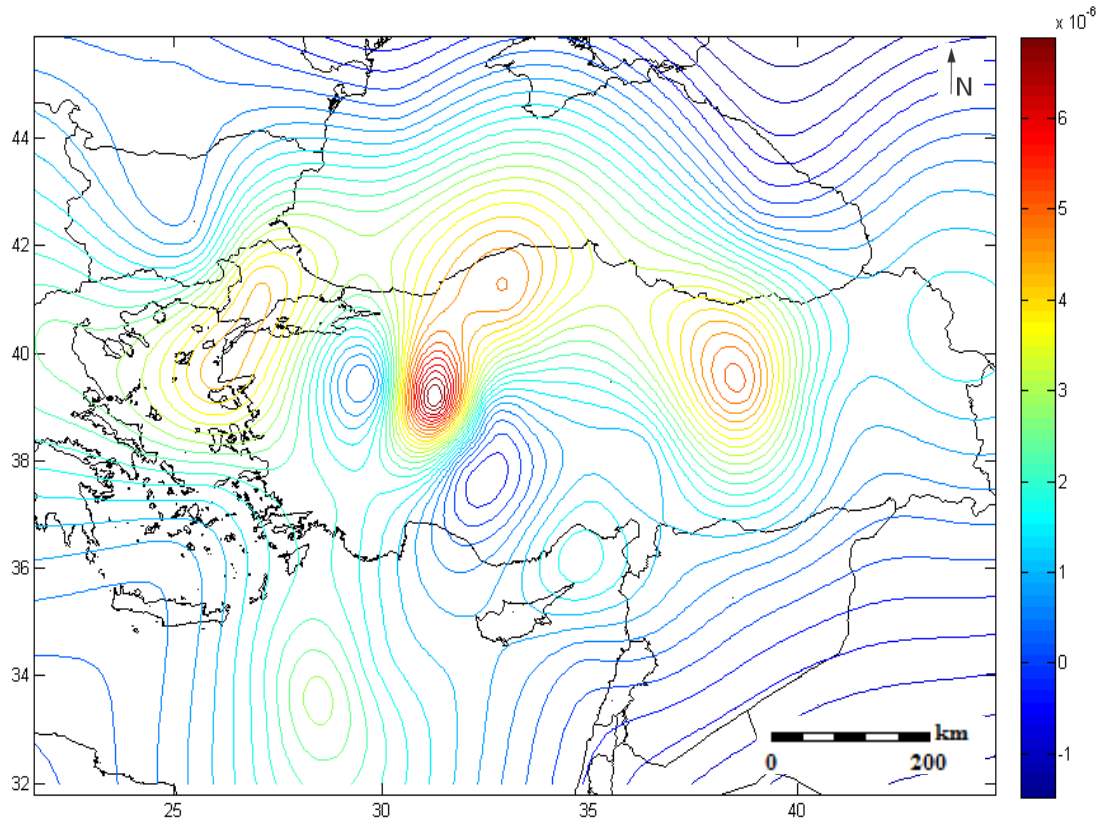
Şekil D.11 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.



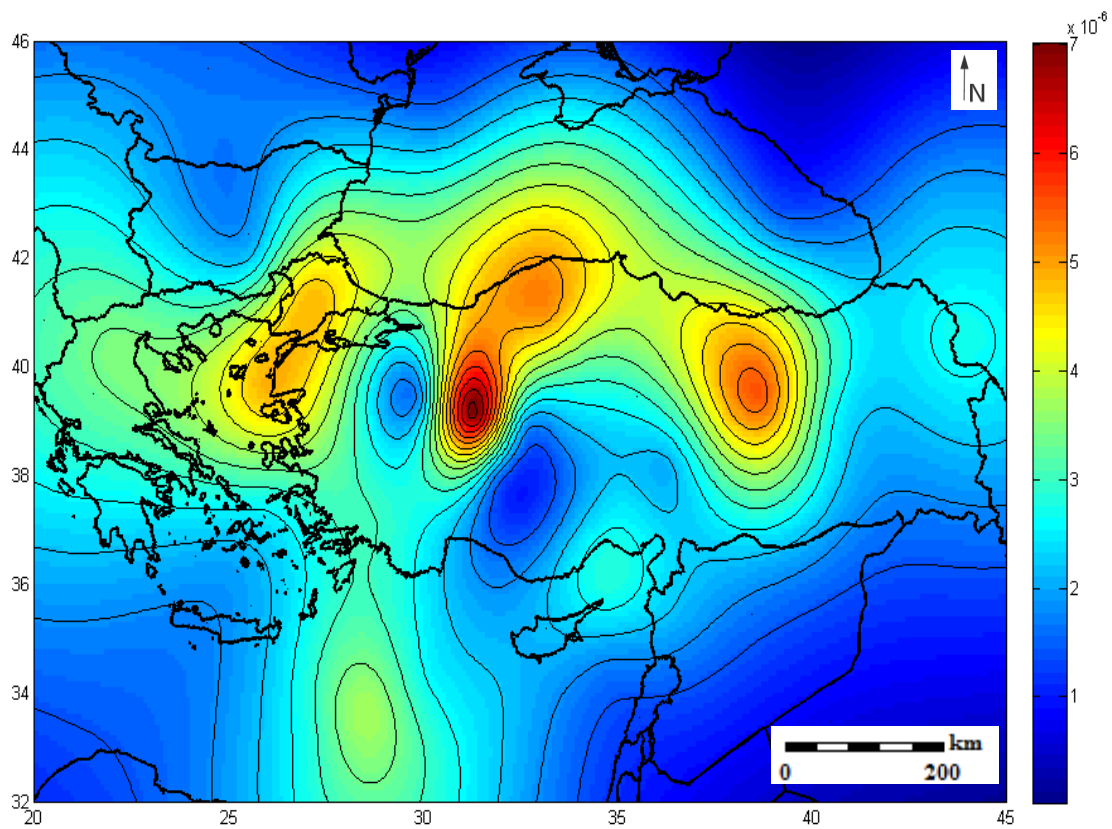
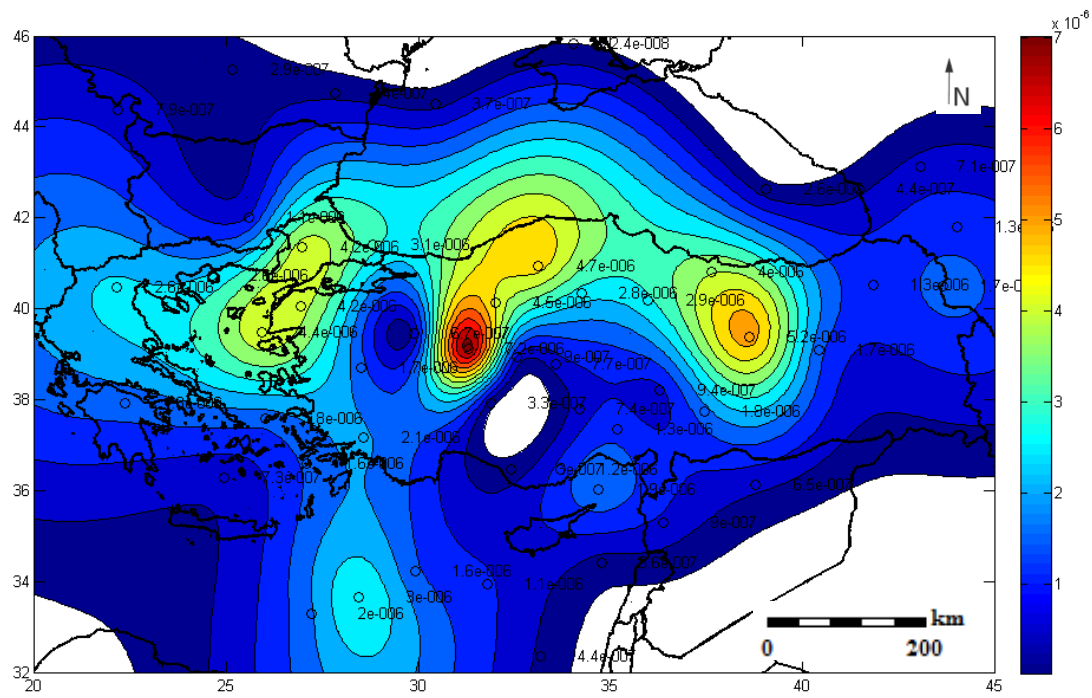
Şekil D.12 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-2



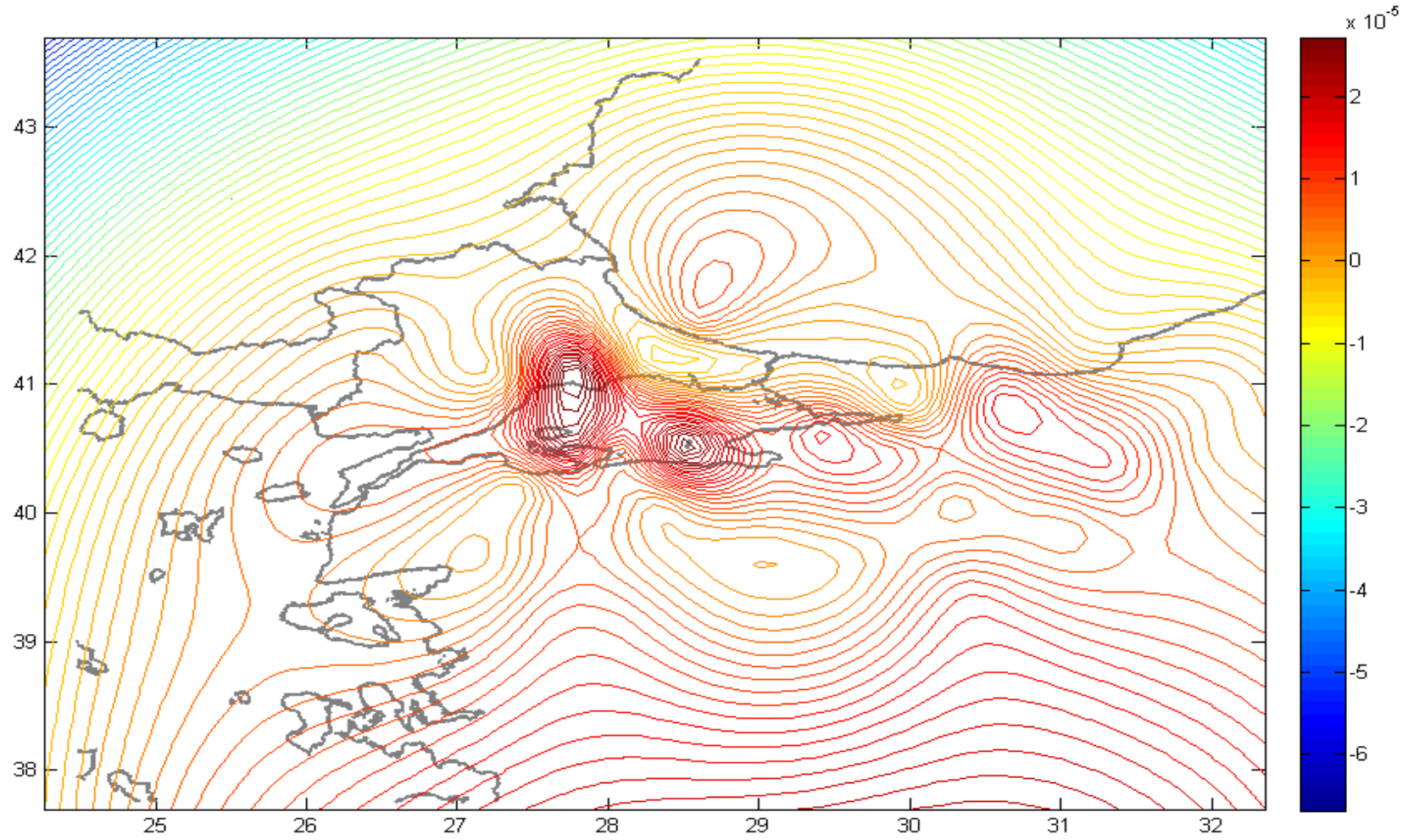
Şekil D.13: Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası- 3.



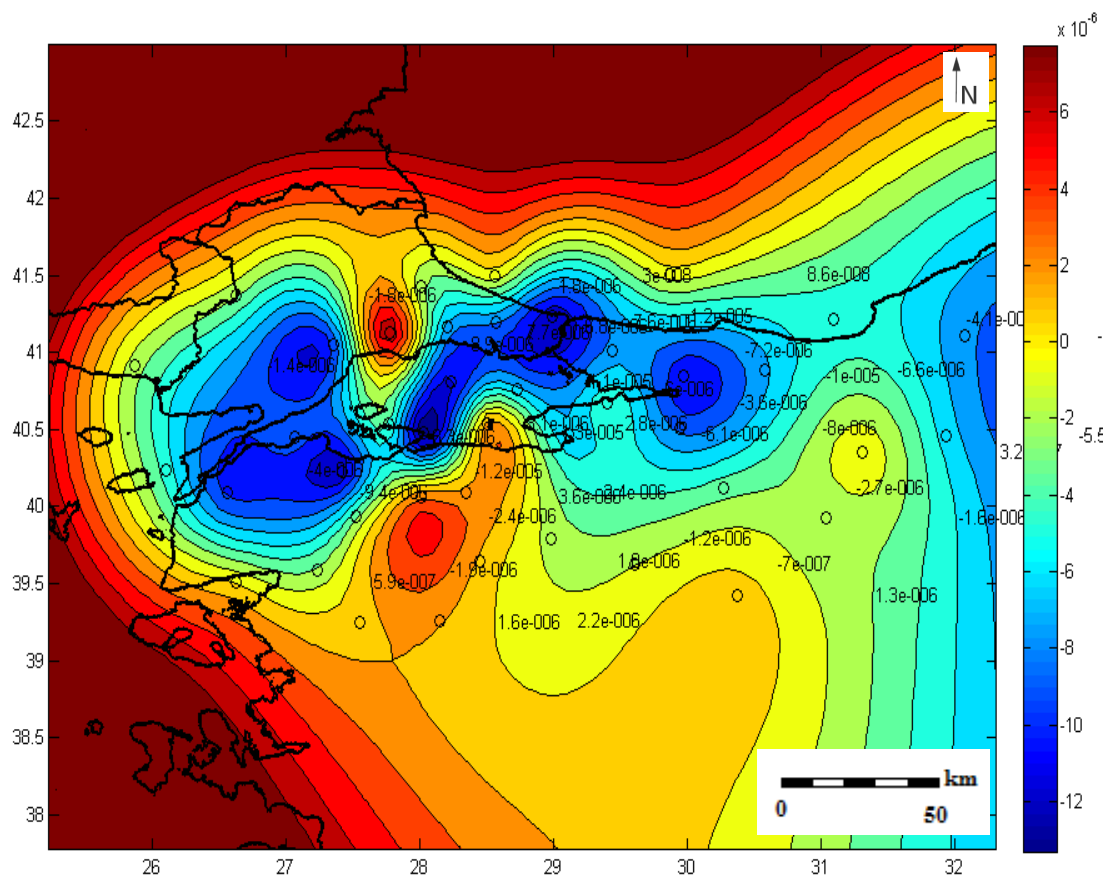
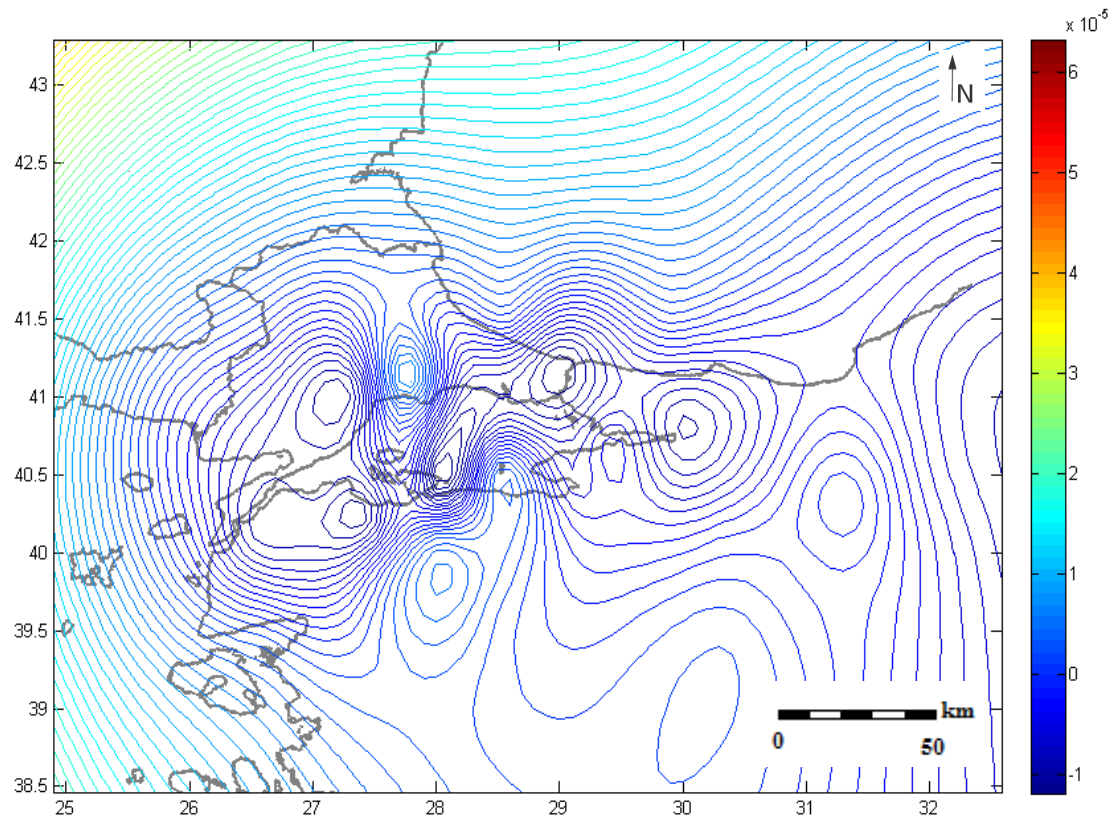
Şekil D.14 : Makaslama gerilmesi τ_m 'e karşılık gelen kontur haritası-1

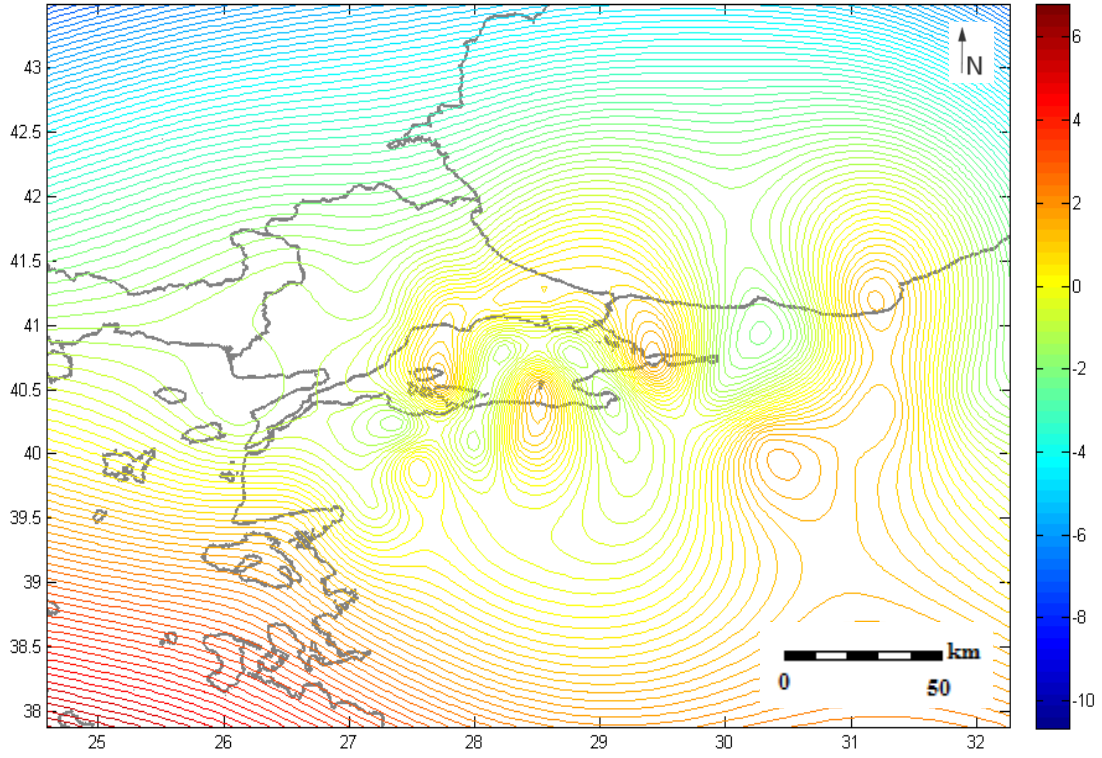


EKE

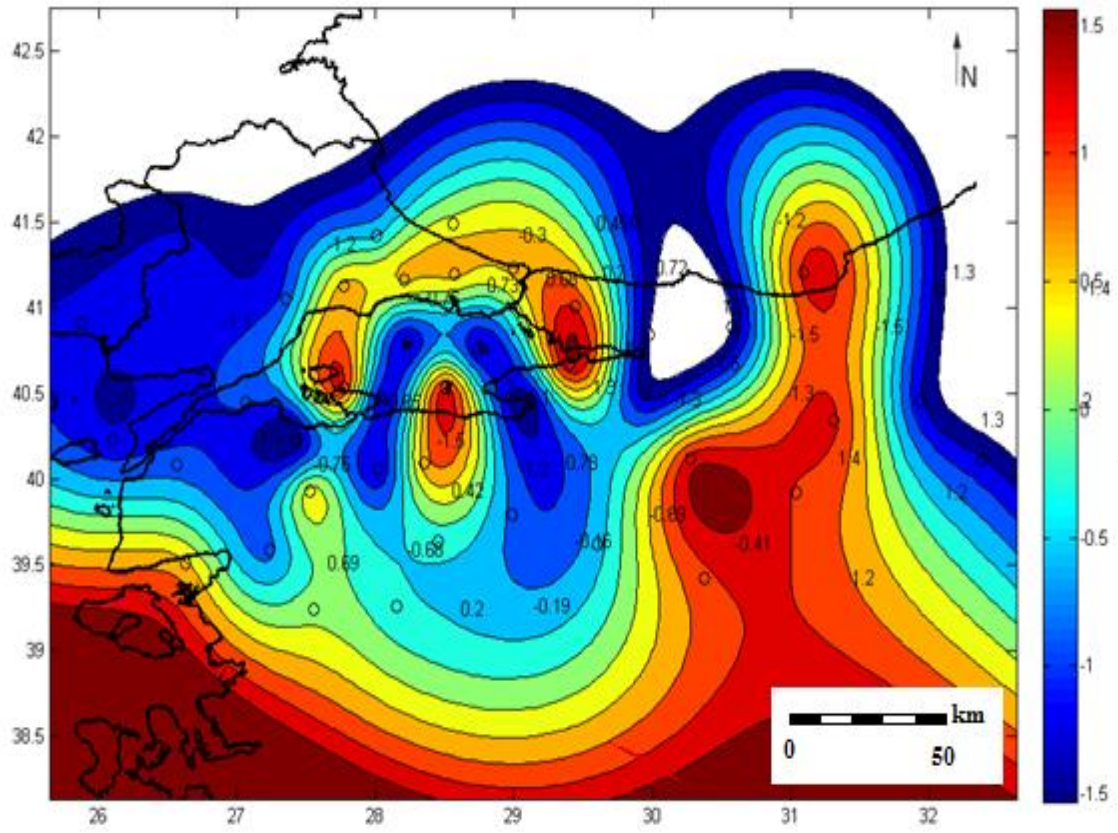


Şekil E.1 :Asal gerilme değerlerinden σ_1 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.

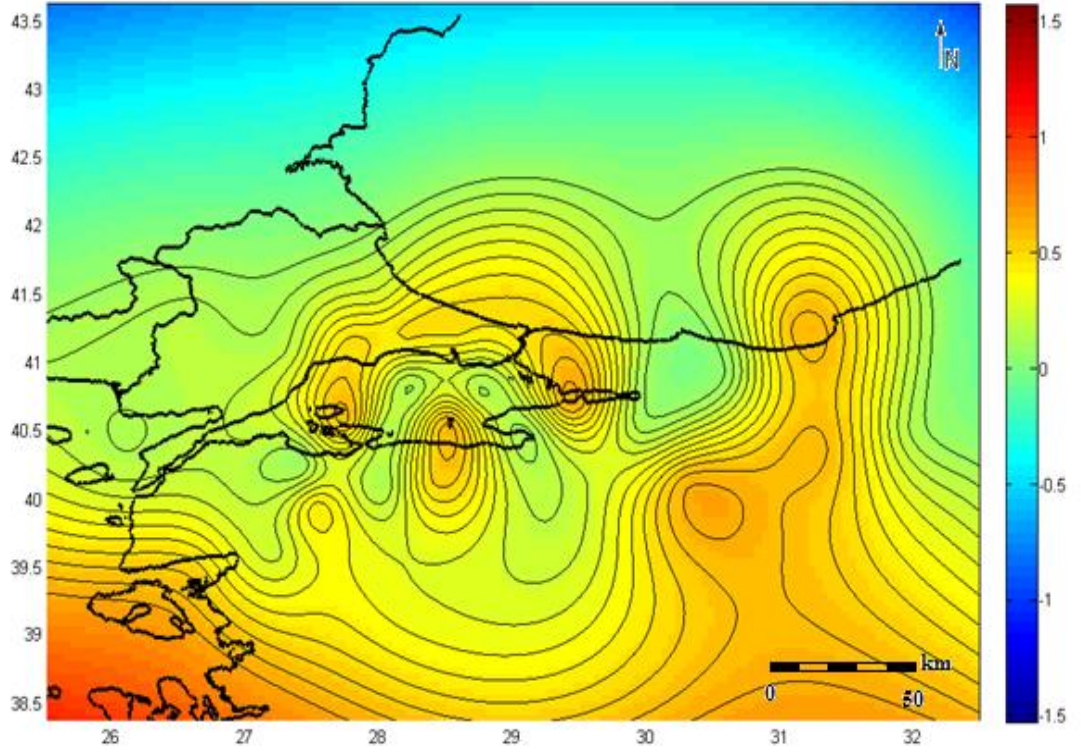




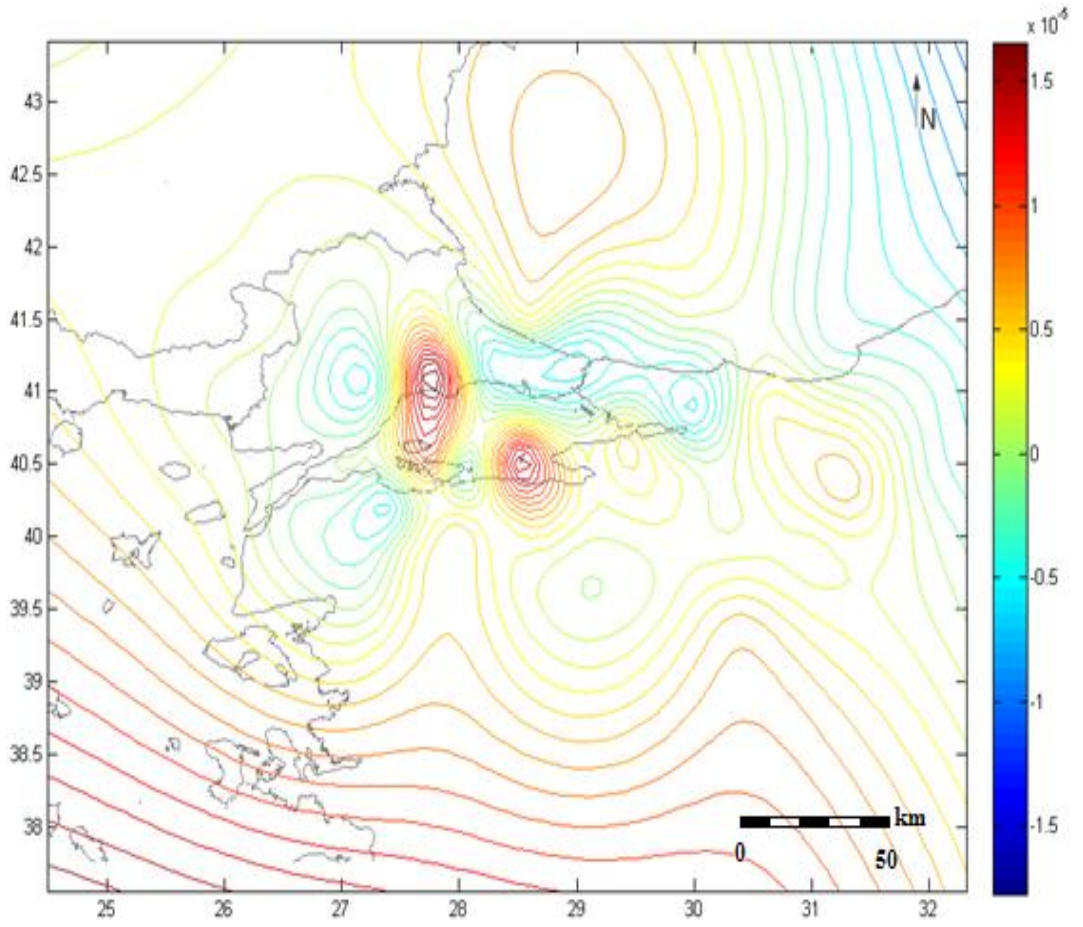
Şekil E.6 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-1



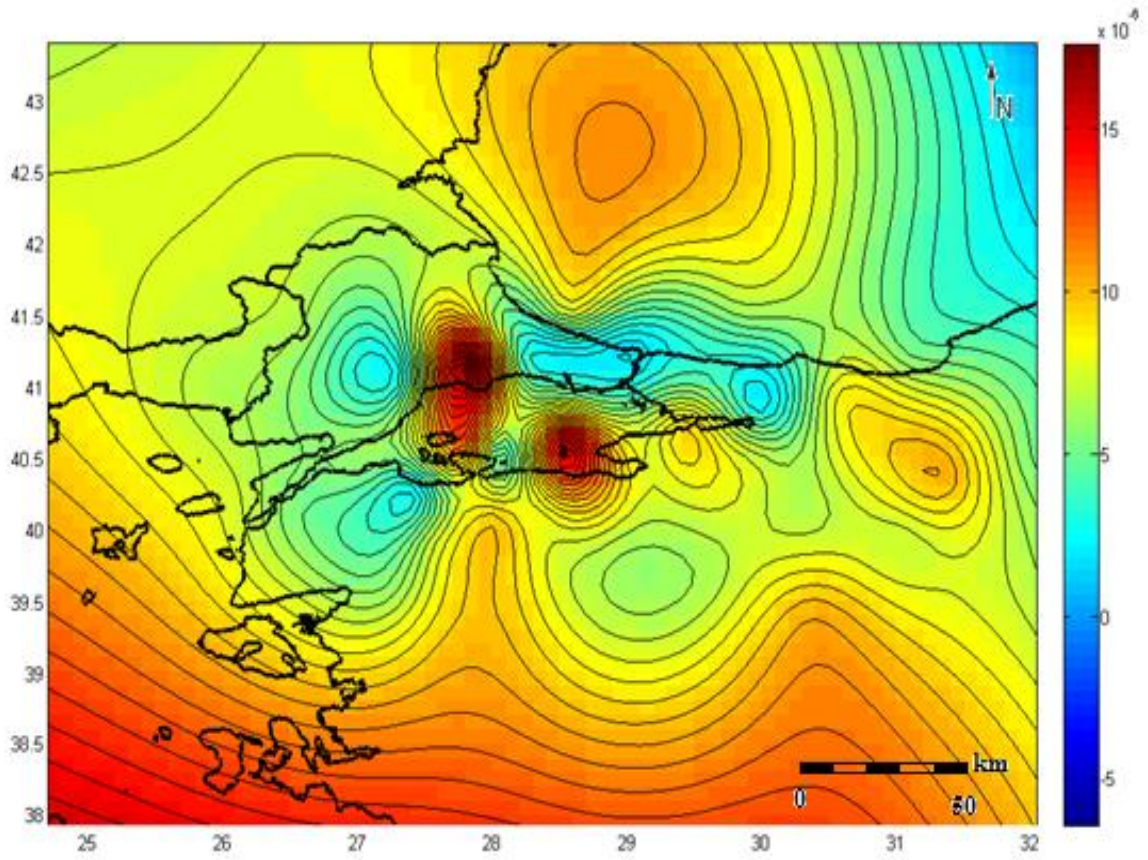
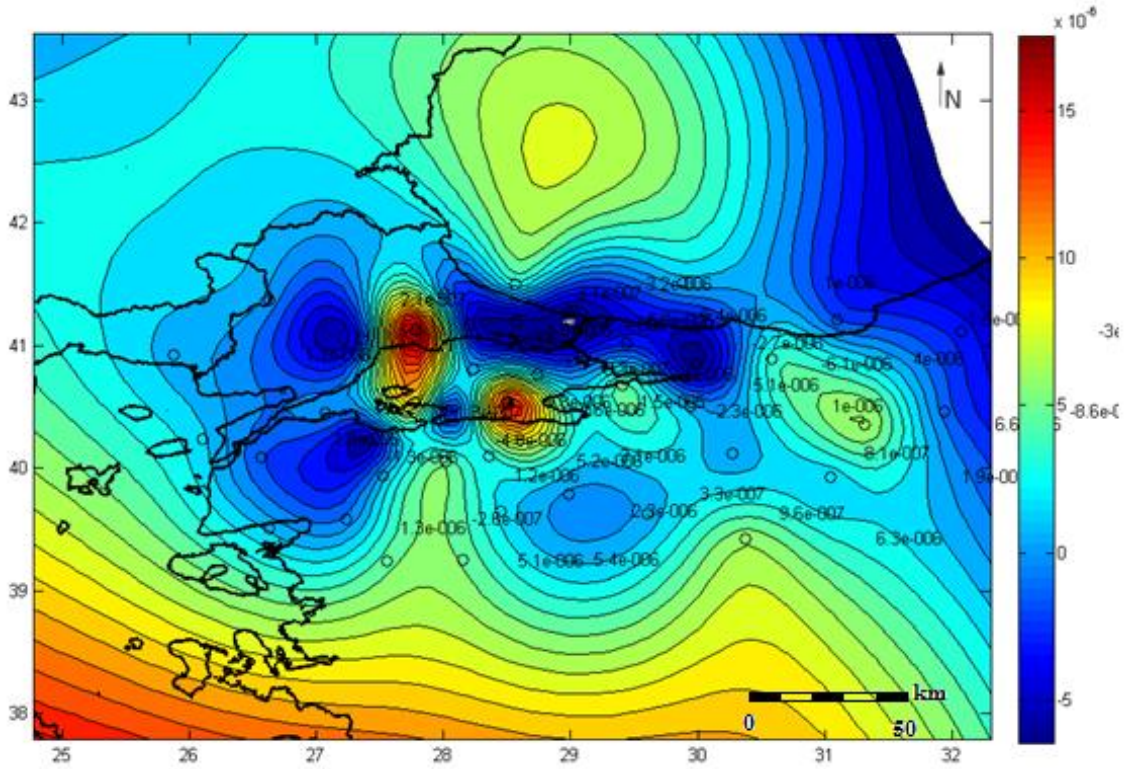
Şekil E.7 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-2

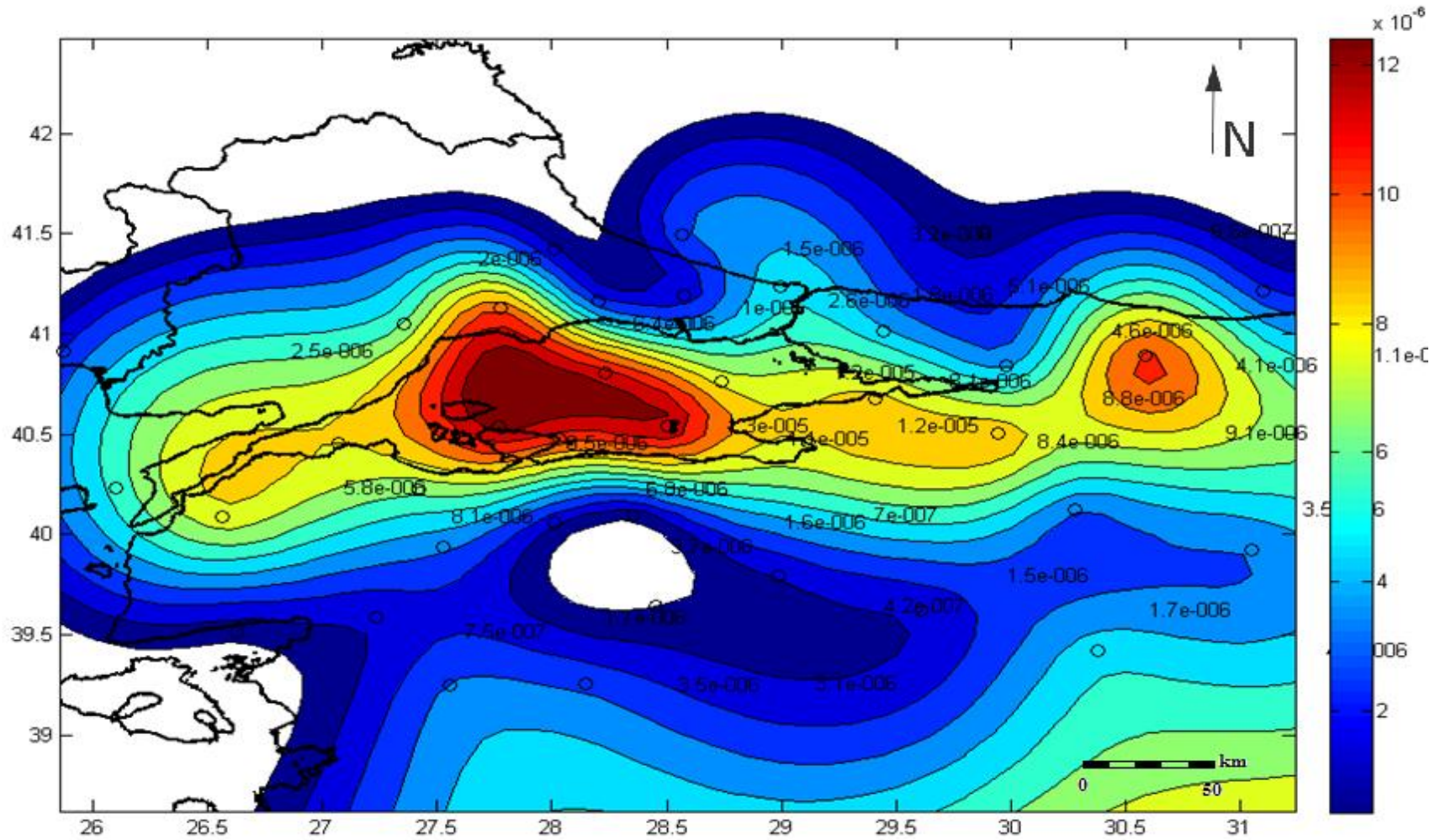


Şekil E.8 : Asal gerilme değerlerinin yönlerini belirleyen θ değerlerinin kontur haritası-3



Şekil E.9 : Asal gerilme değerlerinden σ_m 'e karşılık gelen değerlerin kontur haritası-1.





Şekil E.12 : Makaslama gerilmelerine karşılık gelen değerlerin kontur haritası.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Gökhan ASLAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Tarsus / 1988

Adres: Bahçelievler Mah. Işık Yönder Cd. Erah Apt. No: 40/6
ZONGULDAK / MERKEZ

E-Posta: gokhanaslan88@hotmail.com

Lisans: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi- İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Akademik Deneyim : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi- Mühendislik Fakültesi
– Maden Mühendisliği Bölümü – Maden Mekanizasyonu
ve Teknolojisi Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi (2011 –
devam ediyor)