

JEODEZİK VERİLERDEN STRAIN (GERİNİM) ELEMANLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

F.Poyraz¹, Ö. Aydın²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul,,fpoyraz@yildiz.edu.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul,,oaydin@yildiz.edu.tr

ÖZET

Günümüzde yapılan tektonik çalışmalarında yeryuvarının aslında çeşitli plakalardan oluştuğu ortaya çıkmıştır. Bu plakaların birbirleriyle olan etkileşimden dolayı yer kabuğunda sürekli olarak deformasyonlar oluşmaktadır. Deformasyonların izlenmesi günümüz teknolojisi ile giderek kolaylaşmaktadır. Özellikle uzun süreli ve tekrarlı GPS ölçüleri sayesinde bir ağ üzerindeki noktaların yer değiştirmeleri yüksek güvenilirlik ve doğruluklarda elde edilebilmektedir. Bu noktaların yer değiştirmelerinin yanında yer değiştirmelere sebep olan kuvvetle de incelenmesi gereken önemli konulardan biridir. Bu kuvvetlerin belirlenmesi çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de gerinim parametrelerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada, 2006 ve 2007 yıllarında gerçekleştirilen GPS ölçülerinden elde edilen koordinatlar kullanılarak iki boyutlu gerinim parametreleri hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: GPS, Strain (Gerinim), Tektonik

ABSTRACT

Tectonic studies done nowadays shows that earth does consist of different plates. Because of the interaction between these plates, deformations does occur on earth shell constantly. Tracking those deformations does ease each day with the evolving technology. Especially with long and frequent GPS measurements, changes of points on a web can be determined with trustworthy and accurate. Besides these point changes, measuring the power which causes this change should also be measured. These powers can be measured with different techniques. One of those techniques is to define the strain parameters. In this study, using the GPS coordinates measurements done in 2006 and 2007, 2 dimension strain parameters has been calculated.

Keywords: GPS, Strain, Tectonic

1. GİRİŞ

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği' nin önemli konularından biride Deformasyon analizidir. Gerek mühendislik yapılarının zaman içerisindeki deformasyonlarının incelenmesi, gerekse yer kabuğu hareketlerinin incelenmesi amacıyla değişik araştırmalar yapılmaktadır. Son yıllarda deformasyon analizinde, epoklar arasındaki koordinat farklarının deformasyon olarak yorumlanmasının yanında bu değişimlere yol açan kuvvetler de incelenmektedir. Bir cismin birim miktarındaki gerinime karşı meydana gelen şekil ve hacim değişmesine strain (birim deformasyon) denir. Gerinim, bir noktanın komşu noktalara göre yer değiştirme miktarının noktanın başlangıçtaki yeri ile referans noktası arasındaki uzaklığa bölümü şeklinde tanımlanabilir.

Yerkabuğundaki deformasyonların incelenmesinde jeodeziciler noktaların zaman içinde yer değiştirmesi ile ilgilenmişlerdir. Fakat jeolog ve jeofizikçiler için daha çok gerinim (strain) alanının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Elastik ve mekanik'te geliştirilen ve deformasyona uğrayan bir obje, kabuk vb. ile orijinali arasındaki ilişkiyi yansıtan gerinim alanı aslında Jeodezi ve Fotogrametride uzun yıllardan beri yaygın kullanılan Afin dönüşüm ile özdeştir (Welsch, 1981).

2. STRAIN (GERİNİM) ANALİZİ VE GERİNİM TENSORLERİN HESAPLANMASI

Jeodezik verilerden gerinimlerin belirlenmesine ilişkin ilk rapor, 1929 yılında Japon sismologlar tarafından yayınlanmıştır (Schneider, 1991). Bundan sonra, doğrudan ölçülerden veya dengelenmiş jeodezik ağ koordinatlarından gerinim tensörünün veya bazı elemanlarının belirlenmesine yönelik bir çok yöntem geliştirilmiştir. Genel olarak bu yöntemler,

- Jeodezik nokta çevresinde oluşan gerinimlerin sonsuz küçük olduğu varsayımına dayanan yöntemler,
- Sonlu elemanlar yöntemi,

olmak üzere iki farklı temel üzerinde tesis edilmiştir (Denli, 1998).

GPS ölçmeleriyle konum belirlemede, yatay konum doğruluğu ile yüksekliğin doğrulukları farklı olduğundan, genellikle üç boyutlu gerinim tensör elemanları yerine iki boyutlu yatay gerilme tensör elemanları belirlenmektedir (Denli, 1998).

Gerinim tensör elemanlarından yararlanılarak gerinim parametrelerinin hesaplanması, hem yaygın kullanımı, hem de sadelik ve kolay anlaşır olması bakımından iki boyut için açıklanacaktır. Üç boyutlu ilişkiler iki boyutludan kolayca türetilmektedir.

$$e = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

e_{xx} = x eksenini doğrultusunda birim uzunluktaki değişim

e_{yy} = y eksenini doğrultusunda birim uzunluktaki değişim

e_{xy} = kesme gerilmesi (shear strain)

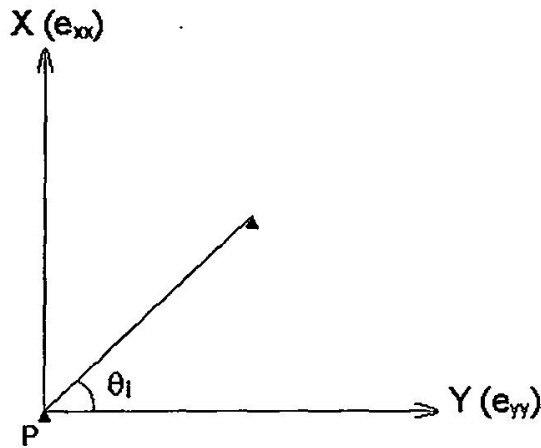
olarak adlandırılmaktadır.

Gerinim tensörü E, köşegen elemanları (e) koordinat eksenleri boyunca birim uzunlukta oluşan genişlemeyi, köşegeni dışındaki elemanları (e) ise koordinat eksenlerine göre deformasyon sonucu ortaya çıkan küçük açısal bozulmaları tanımlar.

İki boyutlu gerilme tensörünün elemanları aşağıdaki yöntemlerde anlatıldığı gibi belirlenebilir;

2.1 Gerinim Tensör Elemanlarının Hesaplanması

X (kuzey) ve Y (doğu) eksenleri ile tanımlı iki boyutlu koordinat sisteminde;



Şekil 1: P noktasında Θ_i doğrultusuna göre strain parametreleri

Pi ve Pj noktalarını birleştiren ve X eksenini ile α_{ij} açısı yapan bir doğrultuda t ve t' periyotlarındaki uzunluklar sırasıyla Sij ve Sij' olmak üzere birim uzunluktaki ϵ_i değişimi (Denli,1998) ve (Deniz, 1997).

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta S_{ij}}{S_{ij} \Delta t} = e_{xx} \cos^2 \alpha_{ij} + e_{xy} \sin 2\alpha_{ij} + e_{yy} \sin^2 \alpha_{ij}$$

$$\Delta S_{ij} = S'_{ij} - S_{ij} \quad (2)$$

$$\Delta t = t' - t$$

Eşitlikleri kullanılarak hesaplanabilir.

jeodezik ölçü ağındaki P noktasının e_{xx} , e_{xy} ve e_{yy} değerlerini hesaplayabilmek için en az farklı doğrultudaki üç uzunluğa ihtiyaç vardır. Dengelemeli bir çözüm için 4 den fazla uzunluğa ihtiyaç duyulur. Bu durumda düzeltme denklemlerini,

$$\underline{V} = \underline{Be} - \underline{\varepsilon} \quad (3)$$

şeklinde yazabiliriz.

$$\underline{V} + \underline{\varepsilon} = \underline{Be} \quad (4)$$

Burada,

$$\underline{\varepsilon}^T = [\varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 \quad \dots \quad \varepsilon_n] \quad (5)$$

$$\underline{e}^T = [e_{xx} \quad e_{xy} \quad e_{yy}] \quad (6)$$

ve

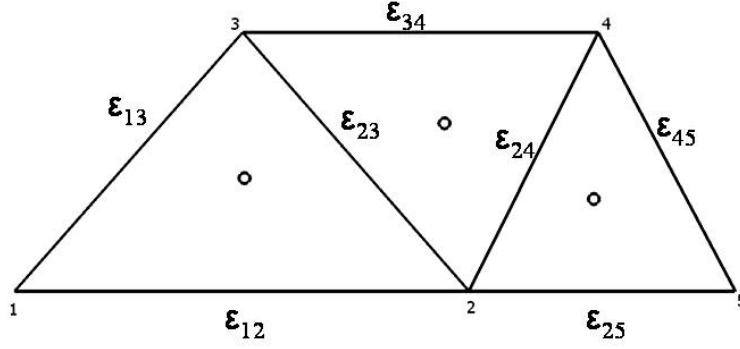
$$B = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha_{12} & \sin 2\alpha_{12} & \sin^2 \alpha_{12} \\ \cos^2 \alpha_{13} & \sin 2\alpha_{13} & \sin^2 \alpha_{13} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cos^2 \alpha_{ij} & \sin 2\alpha_{ij} & \sin^2 \alpha_{ij} \end{bmatrix} \quad (7)$$

yazılabilir. (4) eşitliği matris gösterimi ile gösterilirse,

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{12} \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha_{12} & \sin 2\alpha_{12} & \sin^2 \alpha_{12} \\ \cos^2 \alpha_{13} & \sin 2\alpha_{13} & \sin^2 \alpha_{13} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cos^2 \alpha_{ij} & \sin 2\alpha_{ij} & \sin^2 \alpha_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{xx} \\ e_{xy} \\ e_{yy} \end{bmatrix} \quad (8)$$

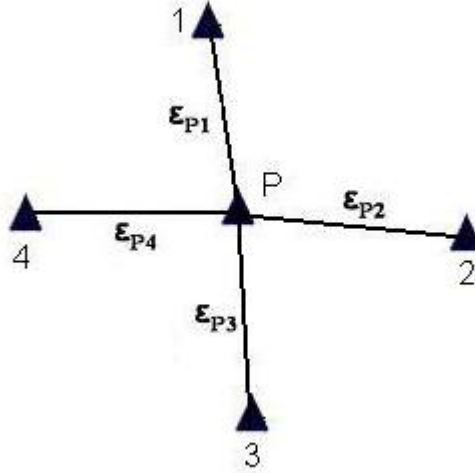
şeklinde ortaya çıkar.

(2) temel bağlantısından yararlanarak gerilim tensörünün elemanları hesaplanır. Bunun için iki farklı uygulama vardır (Deniz, 1997). Bunlardan birincisi jeodezik ağı üçgenlere ayırmak ve her üçgenin kapladığı alan için gerilme tensörü elemanlarının hesaplanmasıdır. Üçgenin üç kenarı için üç adet (2) eşitliği kurulur ve buradan e_{xx} , e_{xy} ve e_{yy} bulunur.



Şekil 2: Gerilim tensörlerinin hesaplanabilmesi için oluşturulabilecek bir üçgenleme örneği

Her üçgen için bulunan gerilme tensörü elemanları üçgenin ağırlık merkezi için geçerli olacaktır. (2) eşitliğini kullanarak gerilme tensörü elemanlarını belirlemenin ikinci yolu, bir noktadan ölçme ile bağlı olan diğer noktalara temel eşitliğin yazılması ve bağlantı üçten fazla ise dengeleme ile gerinim tensör elemanlarının bulunmasıdır.



Şekil 3: Gerilme tensör elemanlarının hesaplanmasında kullanılan ikinci yöntem için oluşturulan nokta dağılımı

2.1.1 Asal gerilmeler ve gerinim elipsleri

Gerilme tensörü elemanlarından aşağıdaki gerilme parametreleri hesaplanabilir;

$$\Delta = e_{xx} + e_{yy} \text{ (Dilatasyon)} \quad (11)$$

$$\gamma_1 = e_{xx} - e_{yy} \text{ (Saf Kesme gerinimi)} \quad (12)$$

$$\gamma_2 = 2e_{xy} \text{ (Mühendislik kesme gerinimi)} \quad (13)$$

$$\gamma = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2} \text{ (Toplam kesme gerinimi)} \quad (14)$$

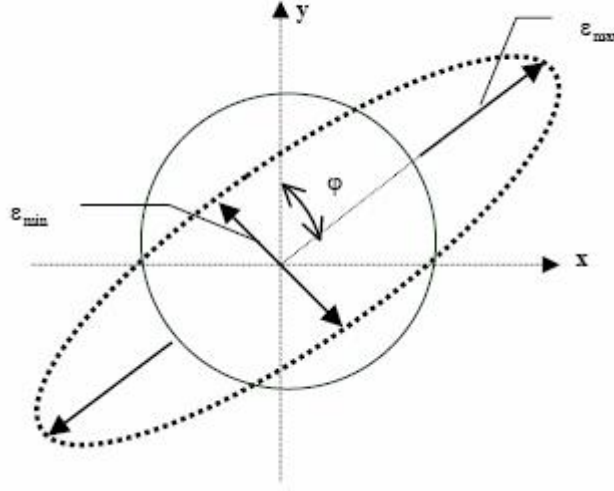
Asal Gerinimler;

$$E_1 = \frac{1}{2}(\Delta + \gamma) \text{ (Maksimum gerinim)} \quad (15)$$

$$E_2 = \frac{1}{2}(\Delta - \gamma) \quad (\text{Minimum gerinim}) \quad (16)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{e_{xy}}{E_1 - e_{xy}}\right) \quad (\text{Maksimum gerinim doğrultusunun azimutu}) \quad (17)$$

Gerilmeler jeodezik ağın her noktası için hesaplanan asal gerilme değerleri ile ifade edileceği gibi grafik olarak da gösterilebilir. Söz konusu noktada maksimum gerilme doğrultusu çizilir. Bu doğrultuda maksimum gerilme ve buna dik doğrultuda minimum gerilme çizilerek gerilme elipsinin eksenleri oluşturulur.



Şekil 4: Gerinim elipsi maksimum ve minimum asal gerinim parametreleri (Doğan, 2002)

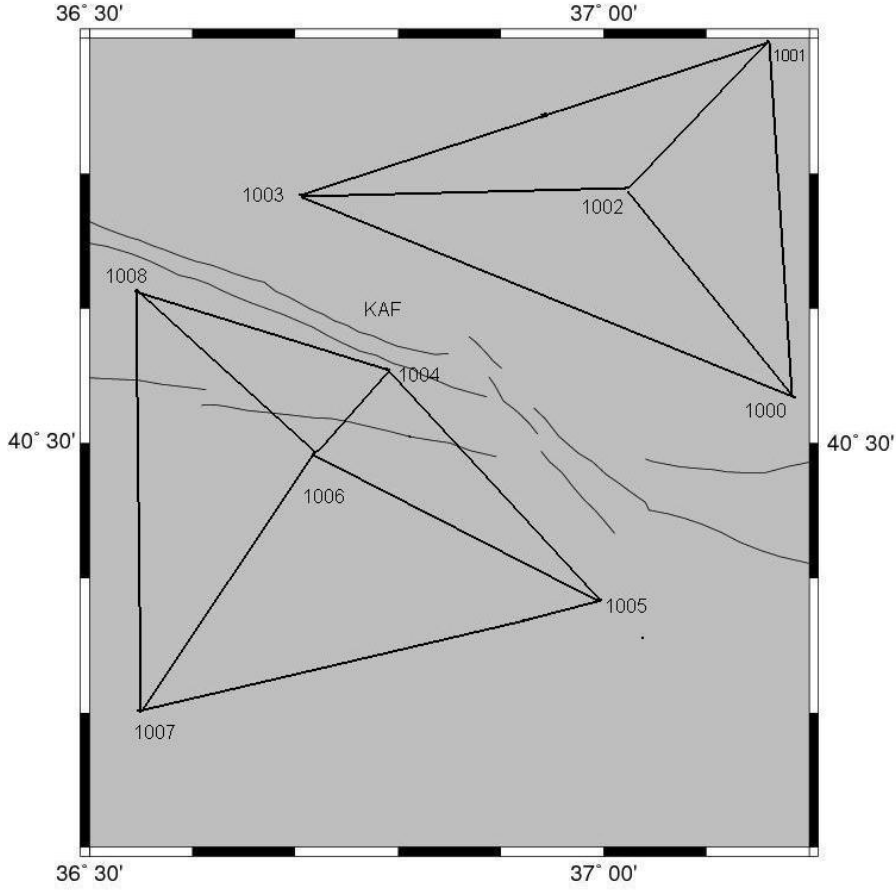
Pozitif asal gerinim parametresi genişlemeyi, negatif asal gerinim parametresi ise sıkışmayı belirtir. Deformasyon, asal gerinim parametrelerinin her ikisi pozitif ise gerinim elipsi, biri pozitif diğeri negatif ise iki bölümlü hiperbol, ikisi de negatif ise sanal elips biçimindedir. Grafik gösterimde genişleme yönü noktadan dışarıya doğru, sıkışma yönü bunun tersi oklarla tanımlanır (Vanicek vd., 1981, Doğan,2002).

3. UYGULAMA

Uygulamanın gerçekleştirileceği alanda 9 adet GPS noktası kullanılmıştır. GPS noktaları Tokat ilinde Kuzey Anadolu Fay kuşağında fayın kuzeyinde (4 nokta) ve güneyinde (5 nokta) olarak tesis edilmiştir. Bu GPS noktalarında 2006 ve 2007 Temmuz aylarında 10' er saatlik GPS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca nokta numaralarına IGS standardında 4 karakterli numaralar verilmiştir.

2006 ve 2007 Kampanyalarına ait GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde GAMIT-GLOBK yazılımının GAMIT modülü kullanılmıştır. GAMIT yazılımı ile oluşturulan çift farklar kullanılarak her gün için istasyon koordinatları ve her bir istasyon için atmosferik gecikmeler ve yörünge bilgileri, analize giriş verisi olan parametreler hiçbir kısıtlama getirilmeden elde edilir. Bu aşamada oluşturulan GPS ağını genel bir ağ ile ilişkilendirmek, hemde mm duyarlıdaki koordinatlardan yararlanarak, yörünge ve dünya dönme parametrelerinin daha hassas hesaplanmasını sağlamak amacıyla IGS genel ağına bağlı noktalardan faydalanılmıştır.

İkinci aşamada da elde edilen nokta koordinatları daha önceki bölümlerde anlatılan formüller kullanılarak gerinim analizi yapılmıştır. Bu aşamada yazar tarafından geliştirilen STRAIN isimli yazılım kullanılmıştır. Strain parametrelerin belirlenmesinde tektonik hareketlerden dolayı fayın kuzeyi ve güneyi ayrı bloklar halinde düşünülmüştür. Bu yüzden yapılan üçgenlemede fayın kuzeyindeki noktalardan ayrı bir üçgenleme, fayın güneyinde ise ayrı bir üçgenleme yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin yapılmasında ki amaç fayın kuzeyi ve güneyindeki tektonik hareketlerin ayrı olması ve her iki sistem ayrı katı rijit bloklardan oluşmasıdır.

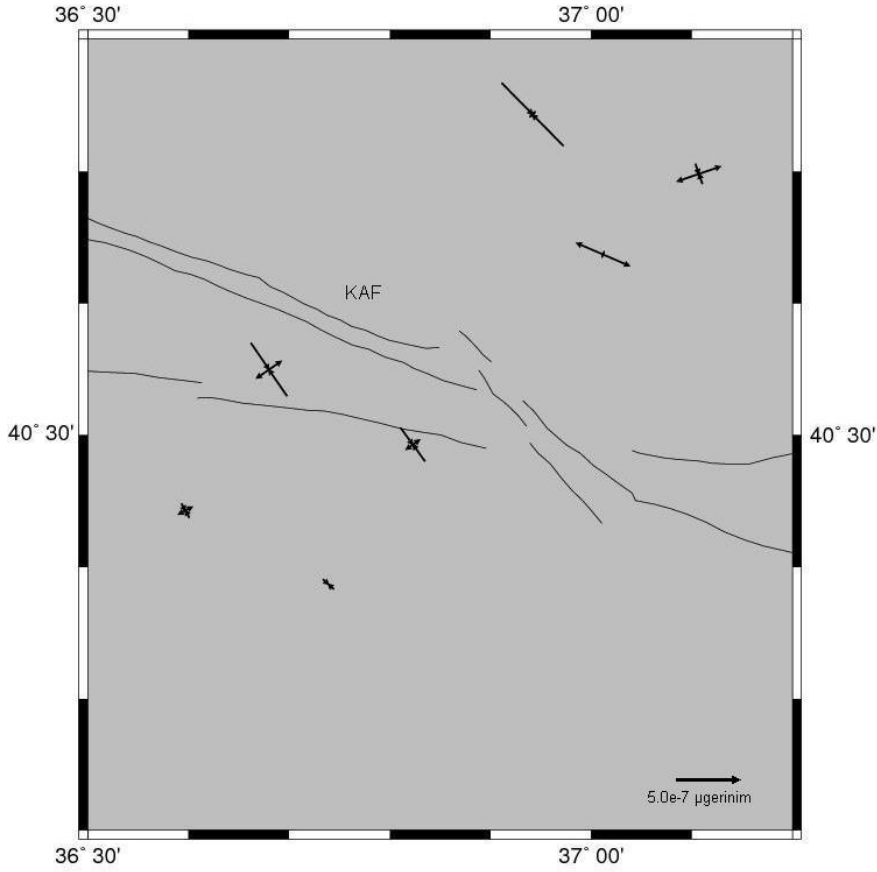


Şekil 5: Fayın kuzeyinde ve güneyinde oluşturulan üçgenlemeler (KAF: Kuzey Anadolu Fayı)

Bölgede homojen deformasyonlu üçgenler oluşturularak gerinim parametreleri hesaplanmıştır. Her üçgen için E_1 en büyük asal gerinimi, E_2 en küçük asal gerinimi ve B katı bloğun diferansiyel dönüklüğünü gösteren dönme parametresi olarak Tablo 1 verilmiştir. Elde edilen çekme ve sıkışma yönlerini veren en büyük ve en küçük gerinim parametreleri Şekil 6. 'da gösterilmiştir. Şekil 6 ve Tablo 1 incelendiğinde, maksimum ve minimum asal gerinim parametreleri KAF zonunun sağ yanal atımlı karakterine uygun olarak bölgede anlamlı bir gerinim birikiminin olduğunu göstermektedir. Ayrıca dönüklük parametresinin her bir üçgende negatif olması, saatin ters yönünde diferansiyel bir dönme hareketinin bölgedeki deformasyonda etkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 1: Gerinim analizi sonucu herbir üçgenin ağırlık merkezindeki gerinim parametreleri

	<i>Boylam</i>	<i>Enlem</i>	$E_1 (\mu s)$	$E_2 (\mu s)$	$B (grad)$
1002-1001-1000	37,012	40,637	0,817	0,082	23,326
1002-1003-1000	36,942	40,743	0,101	-1,235	-44,633
1002-1003-1001	37,107	40,698	0,647	-0,294	-18,845
1006-1008-1007	36,597	40,443	0,226	-0,220	-28,371
1006-1005-1008	36,680	40,550	0,426	-0,900	-34,513
1006-1004-1007	36,739	40,387	-0,004	-0,198	-47,018
1006-1005-1004	36,823	40,493	0,238	-0,574	-35,762



Şekil 6: Uygulama bölgesinde gerinim parametrelerinin hesaplanması ile elde edilen sıkışma ve çekme yönleri

4- SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada GPS verilerinin değerlendirilmesi sonucu noktaların birbirlerine olan mesafe değişimlerinden gerinim parametreleri hesaplanmıştır. Şekil 6 ve Tablo 1 incelendiğinde uygulama bölgesinde gerinim birikimi olduğu gözlenmiştir. KAF'ın kuzeyinde kalan bölgede çekmelerin, güneyinde ise hem çekme ve sıkışmanın olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçların iyileştirilmesi ve bölge hakkında daha sağlıklı bilgilerin oluşması için GPS noktaların artırılması ve kampanya ölçülerinin devam edilmesi düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan GPS verileri DPT 2006K 120220 nolu projeden elde edilmiştir. GPS verilerinin değerlendirilmesinde MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca harita çizimler için GMT (Wessel, 1998) programından yararlanılmıştır.

KAYNAKLAR

Denli, H., 1998. GPS ile Marmara bölgesindeki Yer kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.

Deniz, R., 1997. Jeodezik verilerden strain analizi, Jeodezi Anabilim Dalı Seminerleri, Basılmamış, İstanbul.

Uçar D., 2002. 17 Ağustos 1999 İZMİT Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul

Vanicek, P., Thapa, K. ve Schneider, D., 1981. The Use of Strain to Identify Incompatible Observations and Constraints in Horizontal Geodetic Networks, Manuscripta Geodaetica, 6, 257-281.

Welsch, W., 1981. "Description of Homogeneous Horizontal Strains and Some Remarks", IAG Symp. On Geodetic Networks and Computation, DGK, Reihe B, H. 258/V, 188-205.

Wessel, P., and W. H. F. Smith, 1998. New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., vol. 79 (47), pp. 579, 1998.