



# İki Boyutlu Deformasyon Gösteriminde Radyal Gerinim Bileşenlerinin Kullanımı

Enes Topdan<sup>1,\*</sup>, Cüneyt Aydın<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220 Esenler-İstanbul

## Özet

Gerinim tensörü iki ya da üç boyutlu deformasyona ilişkin bilgi içerir. Bu tensörden elde edilen mühendislik gerinimi, kesme gerinimi, diferansiyel rotasyon ve asal deformasyon bileşenleri deformasyonun farklı özelliklerine ilişkindir ve farklı haritalarda ayrı ayrı gösterilirler. Bu çalışmada, radyal doğrultu boyunca yüzey mühendislik gerinimine karşılık gelen radyal gerinim bileşenleri kullanılmaktadır.  $0-2\pi$  doğrultu aralığındaki bu radyal bileşenler tek bir çizimde anlatılabilmektedir ve tek başına bu çizimden ortalama gerinim, kesme gerinimi ve asal bileşenler elde edilebilmektedir. Söz konusu radyal bileşenlerden oluşan deformasyon alanı ayrıca genişleme ve küçülmenin nerede başladığını ve nerede sonlandığını da ifade etmektedir. Böylece, yüzey deformasyonu hakkında birçok ayrıntı daha az bir çaba ile gösterilebilmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Deformasyon, Gerinim, Yerdeğişim, Radyal Bileşen

## Abstract

A strain tensor includes the information about 2D (or 3D) deformation. The tensor elements and their functions such as dilation, shear, differential rotation, and/or principal strain components are used to express the deformation of the body monitored by geodetic techniques. These functions are visualized in different maps since each of them reflects a different aspect of the deformation. In this contribution, we use the so-called radial strain component which denotes the planar engineering strain through a radial direction. The components through all directions, i.e. from 0 to  $2\pi$ , can be shown in a single plot and the resulting field alone includes the main deformation parameters such as dilation, shear and principal components. The geometric field also shows where the extension and/or contraction starts and ends explicitly in the corresponding plane. Thus, one may able to show more details about the deformation without much effort.

**Keywords:** Deformation, Strain, Displacement, Radial Strain Component

## 1. Giriş

Farklı periyotlarda elde edilen konum bilgisinin fonksiyonları olan yerdeğişimi ve hız bileşenleri iki kısımdan oluşur: katı cisim yerdeğıştirmesi ve deformasyon (Aydın 2014). Katı cisim yerdeğıştirmesi, öteleme (kayma) ve dönüklük (dönme) hareketlerine ilişkindir ve gözlemciye, yani jeodezik ağlarda referans noktalarına göredir. Referans noktaları bir blok halinde hareket etmişse, deformasyonu izlenen objenin bu harekete bağlı olarak hareket etmesi bu yüzdendir. Diğer yandan, deformasyon gözlemciden, yani referans noktalarının bir blok halinde hareket etmesinden bağımsızdır (Aydın 2017). Deformasyon, diğer bir deyişle şekil değışimi, belli doğrultulardaki ölçek değışiminin tümleyeni olarak da düşünölebilecek gerinim (strain) ve bunların çeşitli fonksiyonları kullanılarak yorumlanır. Deformasyonun referans noktalarının hareketinden bağımsız olması, gerek tektonik gerekse mühendislik çalışmalarında gerinim analizini önemli kılar.

Bir yüzey üzerindeki noktaların yerdeğıştirme ya da hız bileşenleri,  $\mathbf{t}$  öteleme vektörü,  $\mathbf{E}$  gerinim tensörü ve noktaların  $\mathbf{x}$  dik koordinat vektörüne bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} tx \\ ty \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} \end{bmatrix}}_{\mathbf{E}} \underbrace{\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}} \rightarrow \mathbf{d} = \mathbf{t} + \mathbf{E}\mathbf{x} \quad (1)$$

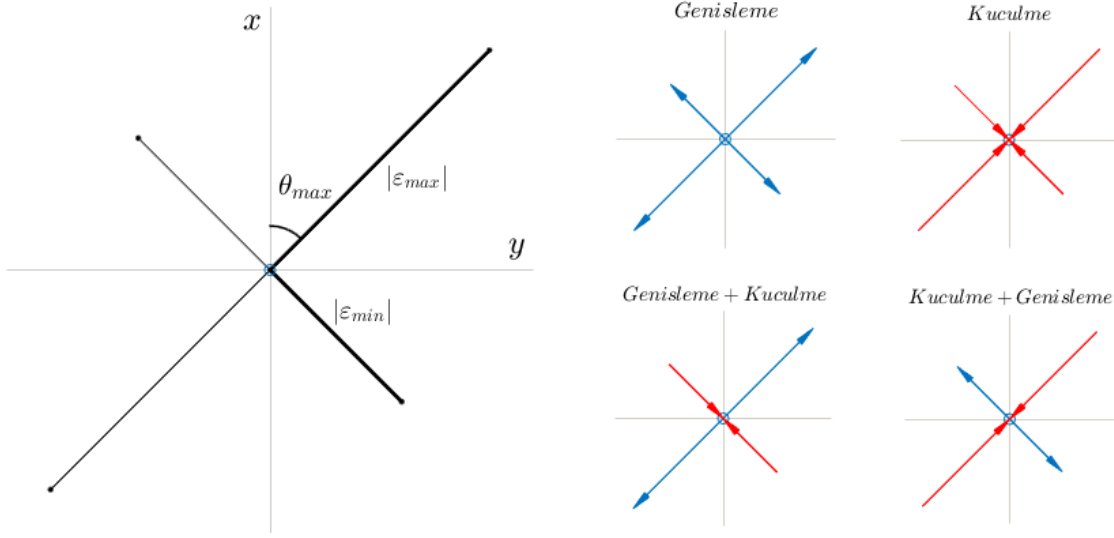
Burada,  $\epsilon_{xx}$  ve  $\epsilon_{yy}$ ,  $x$  ve  $y$  koordinat eksenleri boyunca mühendislik gerinim;  $\epsilon_{xy}$  ve  $\epsilon_{yx}$  ise  $x$  ve  $y$  koordinat eksenleri arasındaki kesme gerinim parametreleridir.  $\mathbf{E}$  tensöründen dönüştürölen aşağıdaki simetrik gerinim tensörü  $\mathbf{E}_S$ , deformasyonun yorumlanması için gereken elemanları içerir:

$$\mathbf{E}_S = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_s \\ \epsilon_s & \epsilon_{yy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & (\epsilon_{xy} + \epsilon_{yx})/2 \\ (\epsilon_{xy} + \epsilon_{yx})/2 & \epsilon_{yy} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Söz konusu  $\mathbf{E}_S$  simetrik tensörünün elemanlarından ortalama gerinim, saf kesme gerinimi, basit kesme gerinimi, toplam kesme gerinimi, diferansiyel rotasyon gibi çeşitli deformasyon fonksiyonlarının yanı sıra özdeğer ayrıştırması neticesinde asal gerinim bileşenleri elde edilir (Aydın 2014). Her bir fonksiyon deformasyonun farklı farklı özelliklerine ilişkindir ve

\* Sorumlu Yazar Tel: (0531)5549800 E-posta: [enestopdan@gmail.com](mailto:enestopdan@gmail.com) (E. Topdan); [caydin@yildiz.edu.tr](mailto:caydin@yildiz.edu.tr) (C. Aydın)

çalışılan yapı ya da bölge için ayrı ayrı analiz edilir ve gösterilirler. Bu fonksiyonlardan uygulamada yaygın olarak kullanılan asal gerinim bileşenleri ( $\varepsilon_{max}$ ,  $\varepsilon_{min}$  ve  $\theta_{max}$ ) ve işaretlerine göre anlamları Şekil 1’de gösterilmiştir.



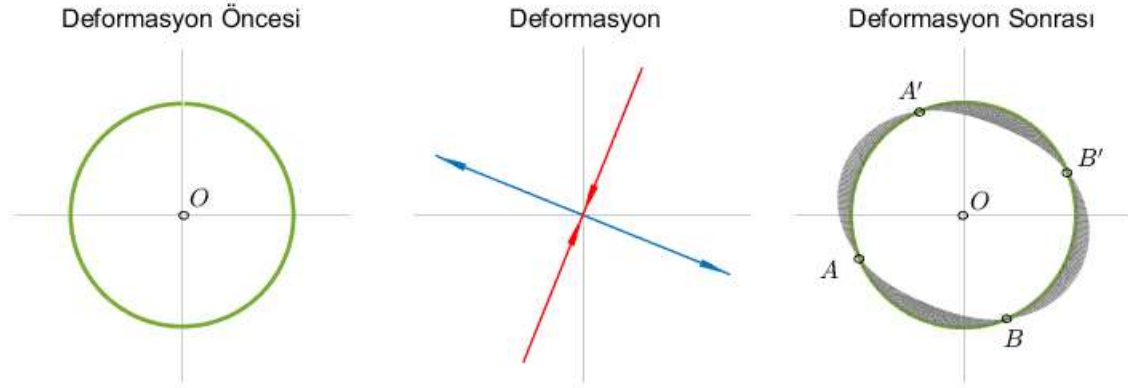
Şekil 1. Asal gerinim bileşenleri (Mavi ok: artı işaretli bileşeni; Kırmızı ok: eksi işaretli bileşeni göstermektedir)

Asal gerinim bileşenleri yalnızca en büyük ve en küçük gerinimin olduğu eksenler boyuncadır. Bu nedenle, deformasyona ilişkin önemli ancak sınırlı bir bilgi verirler. Örneğin, x ve y eksenleri boyunca oluşan mühendislik gerinimini ya da Şekil 1’de gösterilen “Genişleme+Küçülme” ve “Küçülme+Genişleme” türündeki asal gerinim çizimlerinde küçülmenin ve genişlemenin nerede başlayıp nerede sonlandığını, yani hangi doğrultularda sıfır gerinimin olduğunu içermezler. Yanı sıra, daha önce ifade edilen gerinimden elde edilen deformasyon fonksiyonları da bu çizimlerden elde edilemezler. Tek bir parametreye bağlı olmadıklarından ve işaretleri değişebildiğinden asal bileşenlerin istatistiki analizini yapmak ya da belli olasılıklara karşılık gelen güven elips ya da hiperbollerini grafik üzerinden anlatmak da oldukça zordur.

Söz konusu uygulamadan kaynaklanan problemler başka türdeki deformasyon fonksiyonları kullanılarak giderilebilir mi? Deformasyona ilişkin daha çok bilgi daha yalın bir şekilde gösterilebilir mi? Bu soruların cevabı için bu çalışmada “radyal gerinim bileşenleri” düşünülmekte ve özellikleri, çizimi ve uygulaması incelenmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde bu bileşenler açıklanmakta, üçüncü bölümünde Marmara Bölgesinde bir uygulama ile bu bileşenlerin kullanımı irdelenmekte ve dördüncü bölüm ile çalışma sonlandırılmaktadır.

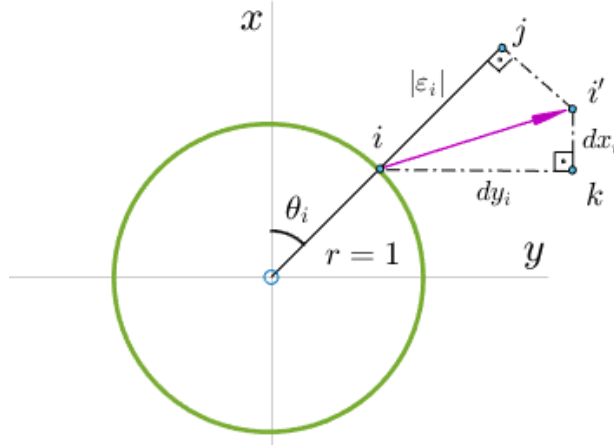
## 2. Radyal Gerinim Bileşenleri

Homojen deformasyon sonrasında bir yapının içinde yer alan bir daire, elips biçimini alır. Böylesi bir şekil değişimi, gerinim parametreleri  $\varepsilon_{xx} = -10^{-6}$ ,  $\varepsilon_{yy} = -2 \times 10^{-6}$ ,  $\varepsilon_{yx} = 0$ ,  $\varepsilon_{yy} = 10^{-6}$  için Şekil 2’de gösterilmiştir. Yerkabuğu ve mühendislik yapılarında gözlenen mikro seviyedeki böylesi deformasyon neticesinde deformasyonu gösteren elipsin basıklığı oldukça küçük olur. Deformasyon sonrası meydana gelen yerdeğiştirmeleri göstermek için kullanılacak yeni bir ölçeklendirme ise şeklin bozulmasına yol açar. Bu nedenle, deformasyonları ifade etmek için asal gerinim bileşenleri kullanılır.



Şekil 2. Bir dairenin deformasyonu (soldaki şekil: deformasyona uğramadan önceki hali; ortadaki şekil: asal gerinimi, sağdaki şekil: deformasyon sonrası değişimi; gölgeli alanlar radyal doğrultu boyunca oluşan yerdeğiştirmeleri göstermektedir)

Asal gerinim bileşenleri yalnızca en büyük ve en küçük gerinimin olduğu eksenler boyuncadır. Bu nedenle, deformasyona ilişkin önemli ancak sınırlı bir bilgi verirler. Örneğin, küçülme-genişleme geçiş noktalarını (saat ibresinin tersi yönünde gidildiğinde, Şekil 2'deki A' ve B noktaları), genişleme-küçülme geçiş noktalarını (saat ibresinin tersi yönünde gidildiğinde, Şekil 2'deki A ve B' noktalarını) ya da genişlemenin ve küçülmenin olduğu bölgeleri (AA' ve A'B' arasındaki taralı bölgeleri) gösteremezler. Böylesi bilgileri göstermek için dairenin her bir radyal doğrultusu boyunca olan gerinimi düşünmek gerekir.

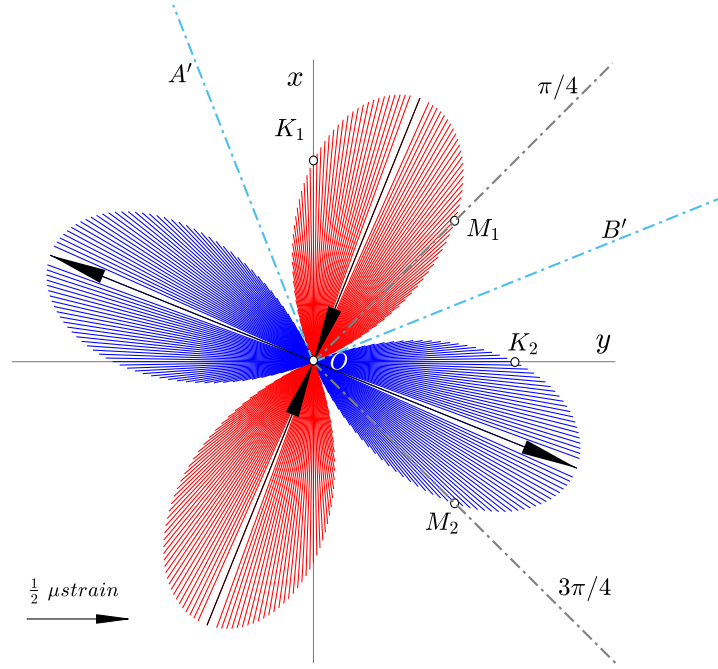


Şekil 3. Birim daire üzerindeki  $i$  noktasında meydana gelen yerdeğiştirme vektörü ve  $\varepsilon_i$  radyal gerinimi

Radyal gerinim bileşeni, Şekil 3'de gösterilmiş birim daire üzerinde yer alan  $i$  noktasındaki, oluşan gerinim sonrasında gözlenen, yerdeğiştirme vektörünün büyüklüğünün, yani  $r=1$  olduğu için gerinimin,  $\theta_i$  doğrultusundaki bileşenidir:

$$\varepsilon_i = \cos^2 \theta_i \varepsilon_{xx} + \sin^2 \theta_i \varepsilon_{yy} + \cos \theta_i \sin \theta_i (\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx}) \quad (3)$$

Söz konusu eşitlik, jeodezide, jeoloji ve tünel mühendisliğinde belli doğrultular boyunca bir uzunluktaki değişim miktarının, dolayısıyla  $\varepsilon_i$ 'nin bilinmesi durumunda Eşitlik (2)'deki simetrik gerinim bileşenlerinin ( $\varepsilon_{xx}$ ,  $\varepsilon_{yy}$  ve  $\varepsilon_s = (\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx})/2$ ) belirlenmesi için kullanılır (Araszkiwicz vd. 2016, Poyraz vd. 2019, Prescott vd. 1979, Stiros ve Kontogianni 2009; Terzaghi 1942, Ulukavak vd. 2013). Tersine, simetrik gerinim bileşenlerinden herhangi bir doğrultu için de bu radyal bileşen aynı eşitlik yardımıyla doğrudan hesaplanabilir. Bu noktadan hareketle, Eşitlik (2)'deki simetrik gerinim tensörünün bilinmesi durumunda,  $0 \leq \theta_i \leq 2\pi$  için Eşitlik (3)'den radyal bileşenler belirlenebilir. Bu gerinim bileşenleri de asal gerinim bileşenleri gibi eksi ve artı işaretli olabilir. İncelenen yapının merkez noktası bir polar koordinat sisteminin merkezi olmak üzere, söz konusu bileşenler,  $\langle \varepsilon_i, \theta_i \rangle$  (yarıçap vektörü ve kutup uzaklığı) polar koordinatları ile bu sistemde gösterilebilir. Şekil 2'de ifade edilmiş deformasyona ilişkin bu şekilde hesaplanmış radyal bileşenler, Şekil 4'te kırmızı ve mavi çizgiler biçiminde gösterilmiştir.



Şekil 4. Radyal gerinim ve asal gerinim bileşenleri (Kırmızı: eksi işaretli gerinimi yani küçülmeyi; Mavi: artı işaretli gerinimi yani genişlemeyi göstermektedir)

Şekil 4 incelendiğinde, söz konusu radyal gerinim çiziminden dört temel bilginin doğrudan elde edilebildiği görülmektedir:

- i) **Geçiş noktaları ve deformasyon bölgesi:** Şekil 4'te kırmızı dilimden (küçülme bölgesi) mavi dilime (genişleme bölgesi) geçişi gösteren B' ve mavi dilimden kırmızı dilime geçişi gösteren A' noktası Şekil 2'dekiyle özdeştir. Yanı sıra, genişleme ve küçülme bölgeleri rahatlıkla görülebilmektedir.
- ii) **x ve y eksenı boyunca olan mühendislik gerinimleri:** Şekil 4'te 0-K1, x yönündeki mühendislik gerinimini, 0-K2 ise y yönündeki mühendislik gerinimini göstermektedir.
- iii) **Basit kesme:** Şekil 4'te 45° (π/4) ve buna saat ibresi yönünde dik olan 135° (3π/4) doğrultuları çizilsin. Bu doğrultulardaki radyal gerinim parametreleri şöyle olur:

- $\pi/4 \rightarrow \varepsilon_{\pi/4} = 0.5\varepsilon_{xx} + 0.5\varepsilon_{yy} + 0.5(\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx})$
- $3\pi/4 \rightarrow \varepsilon_{3\pi/4} = 0.5\varepsilon_{xx} + 0.5\varepsilon_{yy} - 0.5(\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx})$

Bunlardan ilki 0-M1 uzunluğuna, diğeri ise 0-M2 uzunluğuna karşılık gelir. İki uzunluğun farkı;

$$\varepsilon_{\pi/4} - \varepsilon_{3\pi/4} = (\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx}) \quad (4)$$

kesme gerilmesinin iki katına eşittir. Böylese basit kesme gerinimi, Şekil 4'deki ilgili elemanlardan;

$$\varepsilon_s = \frac{1}{2}(\varepsilon_{\pi/4} - \varepsilon_{3\pi/4}) \quad (5)$$

biçiminde doğrudan elde edilir.

- iv) **Asal gerinim parametreleri:** Radyal gerinim bileşenlerinin en büyük ve küçük değerleri ve bunların doğrultuları asal gerinim bileşenleri ile özdeştir. Bunun ispatı kolayca yapılabilir. Bu amaçla, Eşitlik (3) için  $\partial\varepsilon_i / \partial\theta_i$  türevi sifıra eşitlenir:

$$\frac{\partial\varepsilon_i}{\partial\theta_i} = -2\sin\theta_i \cos\theta_i \varepsilon_{xx} + 2\sin\theta_i \cos\theta_i \varepsilon_{yy} + (\cos^2\theta_i - \sin^2\theta_i)(\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx}) = 0 \quad (6)$$

Bu eşitlik aşağıdaki biçimde düzenlenebilir:

$$-\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \frac{1}{\tan 2\theta_i} (\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx}) = 0 \quad (7)$$

Buradan,

$$\theta_i = \frac{1}{2} \arctan \frac{(\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx})}{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})} = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\varepsilon_s}{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})} \quad (8)$$

çıkar. Söz konusu eşitlik, en büyük asal gerininim azimut açısını ( $\theta_{max}$ 'ı) verir. Eşitlik (8)'den aşağıdaki eşitliklere ulaşılır:

$$\sin 2\theta_i = \frac{(\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx})}{W}, \quad \cos 2\theta_i = \frac{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})}{W}, \quad W = \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + (\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx})^2} = \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_s^2} \quad (9)$$

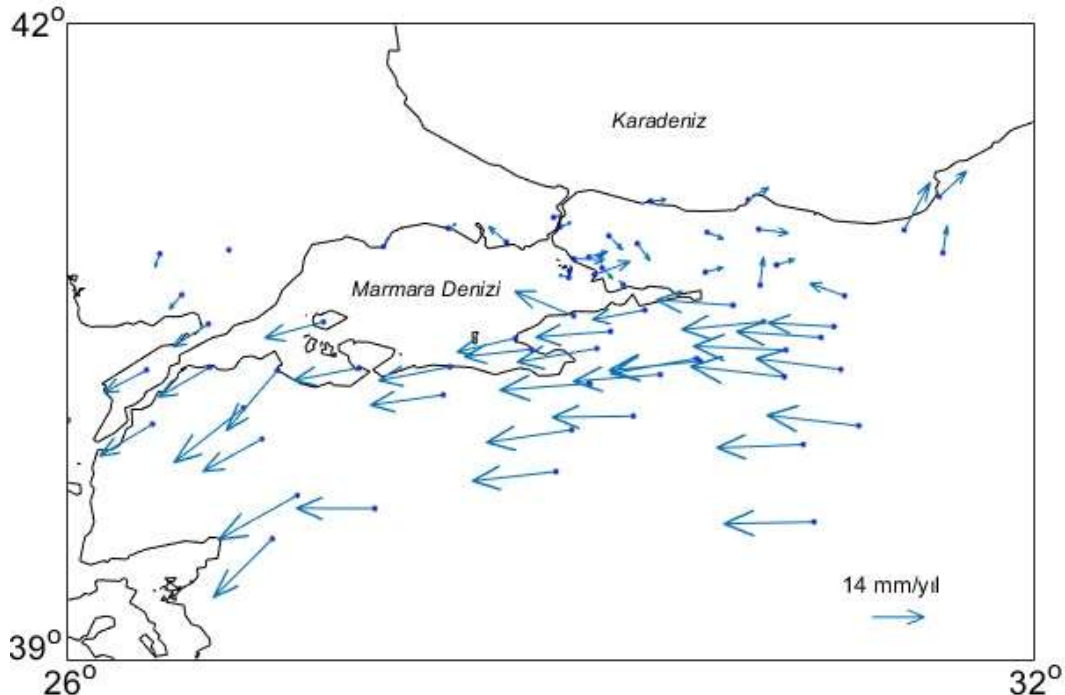
$\sin^2 \theta_i = (1 - \cos 2\theta_i) / 2$ ,  $\cos^2 \theta_i = (1 + \cos 2\theta_i) / 2$  ve  $\cos \theta_i \sin \theta_i = (\sin 2\theta_i) / 2$  trigonometrik eşitlikleriyle Eşitlik (9), Eşitlik (3)'de göz önüne alınırsa,

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}}{2} + \frac{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + (\varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx})^2}{2W} = \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}}{2} + \frac{W^2}{2W} = \frac{1}{2} (\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + W) \quad (10)$$

elde edilir. Bu eşitlik, en büyük asal gerininim bileşenine ( $\varepsilon_{max}$  'a) eşittir. Böylece radyal gerininim bileşenlerinin en büyüğünün, en büyük asal gerininim bileşenine eşit olduğu gösterilmiş olur. Benzer şekilde, en küçük radyal bileşen de en küçük asal gerininim bileşenine ( $\varepsilon_{min}$  'a) eşittir. Buna göre, radyal gerininim bileşenleri Şekil 4'deki gibi çizdirildiğinde bir yandan asal gerininim bileşenleri de gösterilmiş olur (asal gerininim bileşenleri, Şekil 4'de siyah ok ile ayrıca gösterilmiştir).

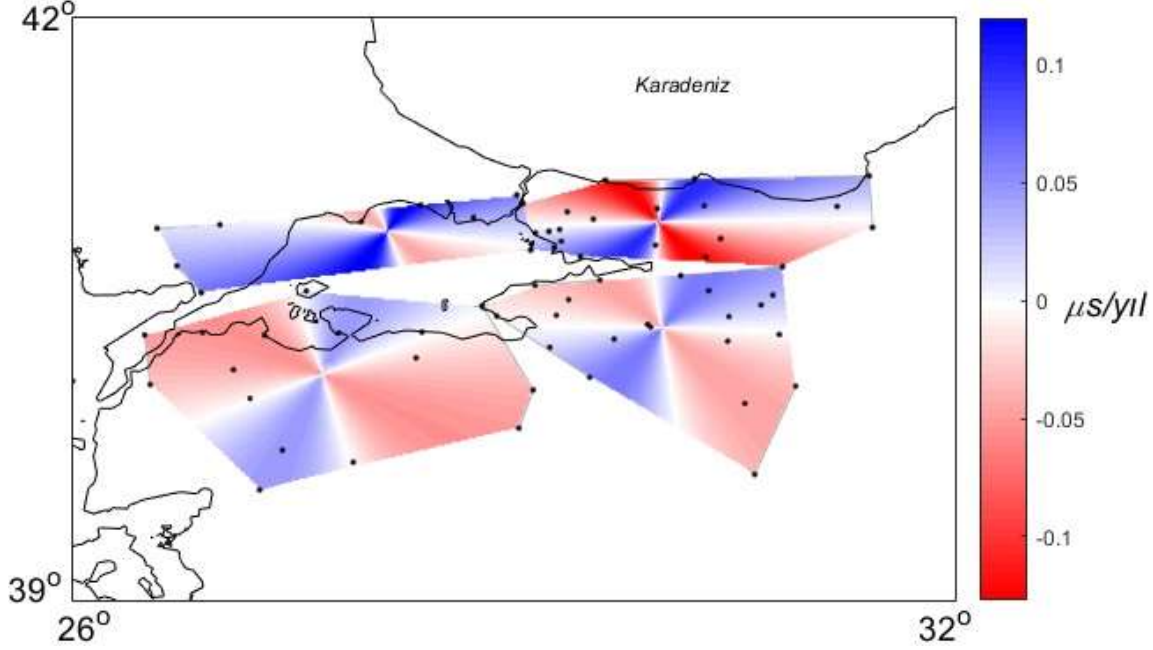
### 3. Sayısal Uygulama

Radyal gerininim bileşenlerinin analizi için Ergintav vd. (2007)'de verilen Marmara Bölgesine ait 66 noktanın 2003-2005 yılları arasında elde edilmiş Kuzey ve Güney GPS hız bileşenleri kullanılmıştır (Şekil 5).

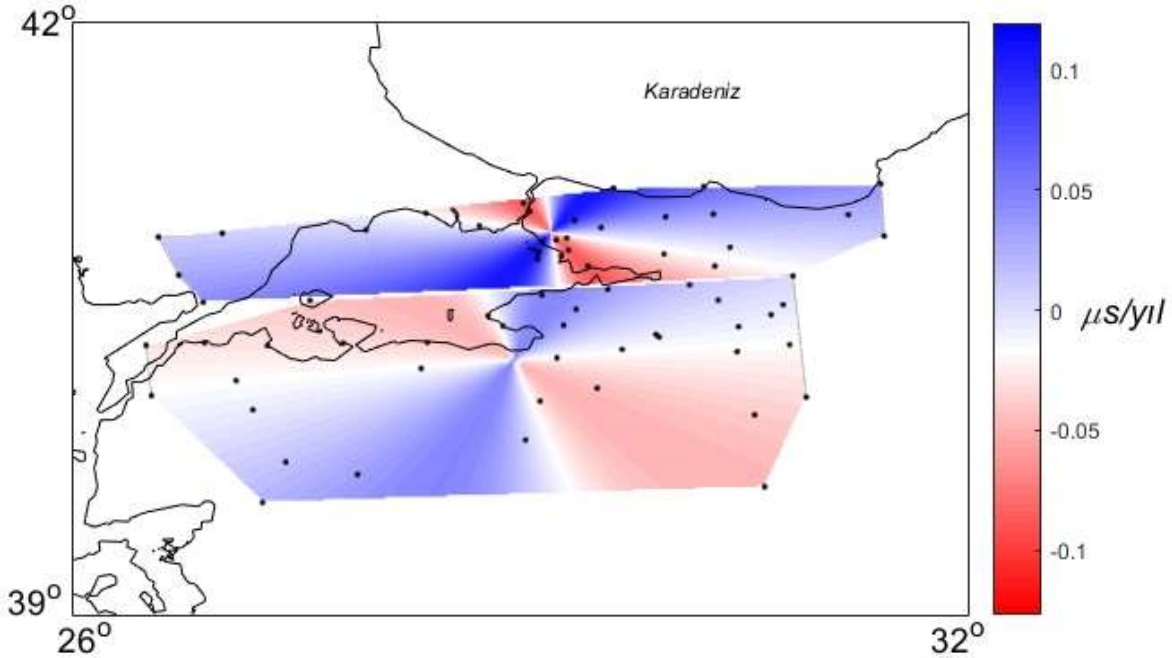


Şekil 5. Marmara Bölgesi 2003-2005 GPS hızları (Ergintav vd. 2007)

Bölgede iki farklı model düşünülmüştür: Model 1 ve Model 2. Model 1’de söz konusu noktalardan Kuzey-Doğu, Kuzey-Batı, Güney-Doğu ve Güney-Batı blokları (Şekil 6); Model 2’de ise Kuzey ve Güney olarak iki blok (Şekil 7) oluşturulmuştur. Söz konusu blokların her biri için Eşitlik (1)’den simetrik gerinim tensör elemanları en küçük kareler dengelemesi ile elde edilmiştir. Kestirilen bu elemanlardan Eşitlik (3) ile her bir blok için  $0 \leq \theta_i \leq 2\pi$  doğrultularında radyal gerinim bileşenleri hesaplanmıştır. Söz konusu radyal bileşenler her bir blok için interpolate edilerek, renk haritası biçiminde Model 1 ve 2 için Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir (**Önemli Not:** Çalışmada blokların oluşturulmasında keyfi bir seçim yapılmış olup, blokların bölgedeki tektonik yapıyı ortaya çıkaracağı iddiası bulunmamaktadır. Söz konusu blok modelleriyle, yalnızca radyal gerinim bileşenlerinin yapısal özelliklerinin gösterilmesi amaçlanmıştır).



Şekil 6. 2003-2005 Marmara Bölgesi radyal gerinim bileşenleri - Model 1



Şekil 7. 2003-2005 Marmara Bölgesi radyal gerinim bileşenleri - Model 2

Model 1’e bakıldığında Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda genişleme, tam tersi Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda ise daralma (küçülme) olduğu görülebilmektedir. Model 2 için de benzer şekilde analizler yapılarak Kuzey ve Güney blokları oluşturulmuştur. Model 1’deki gibi aynı şekilde Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda genişleme, Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda ise daralma olduğu görülmektedir. Söz konusu bloklar için genişleme ve daralma



geçişleri ve bölgeleri rahatlıkla ayırt edilebilmektedir. Yanı sıra Kuzey ve Güney doğrultularındaki gerinimler, en büyük ve en küçük gerinimler, bunların doğrultuları, merkezden saat ibresi yönünde  $\pi/4$  ve  $3\pi/4$  doğrultularında okunacak gerinimlerin farklarının yarısında da (Eşitlik (5)) basit kesme bilgileri kolayca elde edilebilmektedir. Böylece, radyal bileşenler yukarıdaki gibi gösterilerek, deformasyona ilişkin farklı bilgiler tek bir harita üzerinde sunulmuş olur.

Bununla birlikte, radyal bileşenlerin standart sapmaları Eşitlik (3)'e varyans-kovaryans yayılma kuralı uygulanarak elde edilebilir. Bu standart sapmalar yardımıyla radyal bileşenlerin anlamlılıkları ve güven aralıkları da çizim üzerine aktarılarak, kurulan modelin doğruluğu için istatistik analiz yapılabilir. Radyal bileşenlerin istatistiki analizi, sonraki çalışmalarda araştırılacaktır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Deformasyon analizi Harita Mühendisliğinin önemli çalışma konularından biridir. Yerkabuğu ya da büyük mühendislik yapıları, bir referans nokta kümesine bağlı olarak jeodezik yöntemlerle izlenir; farklı periyotlar için obje noktalarının koordinatları elde edilir. Bu koordinatların fonksiyonları olan yerdeğiştirme ve hız bileşenleri analiz edilerek objenin hareketi ve deformasyonu belirlenir. Elde edilen yerdeğiştirme ve hız bileşenleri “katı cisim hareketi” ve “deformasyon” olmak üzere iki kısımdan oluşur. Deformasyon, referans nokta kümesinin katı cisim hareketinden yani bir blok olarak ötelenmesi ya da dönmesinden bağımsızdır. Söz konusu deformasyon, gerinim analizi ile ortaya çıkarılır.

Gerinim analizi, gerinim tensör elemanlarına dayanır. Bu elemanlar farklı periyotlarda elde edilen koordinat farkları için bir afin dönüşümü uygulanarak belirlenir. Bu elemanlar yardımıyla x,y koordinat eksenlerindeki gerinim, ortalama gerinim, kesme gerinimi ve asal gerinim bileşenleri gibi yeni deformasyon bilgileri türetilir. Her bir gerinim fonksiyonu, deformasyonun farklı özelliklerine ilişkindir; bu nedenle, farklı farklı analiz edilirler ve farklı haritalarda gösterilirler. Bu çalışmada, bu gerinim fonksiyonlarının tek bir çatı altında gösterilmesi üzerinde durularak, radyal gerinim bileşenleri incelenmiştir. Radyal gerinim bileşeni, deformasyon sonucunda blok merkezinde konumlanmış bir birim daire üzerindeki bir noktanın radyal doğrultudaki mühendislik gerinimidir. Gerinim tensör elemanlarından daire üzerindeki tüm noktalar için kolayca hesaplanabilir. Söz konusu radyal bileşenlerin çiziminden koordinat eksenini boyunca olan gerinimlerin, asal gerinim bileşenlerinin, kesme geriniminin ve ortalama gerinimin kolayca elde edilebildiği gösterilmiştir. Ayrıca ilgili çizimden genişleme ve küçülme bölgelerine geçiş, yani sıfır gerinimin oluştuğu doğrultu, genişleme ve küçülme bölgelerinin genişliği vb. bilgiler de rahatlıkla görülebilmektedir. Söz konusu bileşenler, Marmara Bölgesindeki GPS hızları mevcut noktalardan oluşan bazı bloklar için hesaplanmış ve bu blokların radyal gerinim bileşenleri interpolate edilerek gösterilmiştir.

Sonuç olarak, radyal gerinim bileşenlerinin deformasyonun gösterimi için kullanılabilir olduğu görülmüştür. İleride bu bileşenlerin istatistik analizi üzerinde çalışmalar yapılacaktır.

#### Kaynaklar

- Araszkiwicz A., Figurski M., Jarosinski M. (2016) Erroneous GNSS strain rate patterns and their application to investigate the tectonic credibility of GNSS velocities. *Acta Geophysica*, DOI: 10.1515/acgeo-2016-0057.
- Aydın C. (2014) Geodetic Deformation Analysis, Short Lecture Notes for Graduate Students, YTÜ, İstanbul (<https://avesis.yildiz.edu.tr/caydin/dokumanlar>)
- Aydın C. (2017) Effects of displaced reference points on deformation analysis. *Journal of Surveying Engineering* 143(3).
- Ergintav S., Doğan U., Gerstenecker C., Çakmak R., Belgen A., Demirel H., Aydın C., Reilinger R. (2007) A snapshot (2003–2005) of the 3D postseismic deformation for the 1999, Mw=7.4 İzmit earthquake in the Marmara Region, Turkey, by first results of joint gravity and GPS monitoring. *Journal of Geodynamics* 44(1–2), 1-18.
- Poyraz F., Hastaoğlu K.O., Koçbulut F., Tiryakioğlu I., Tatar O., Demirel M., Duman H., Aydın C., Ciğer A.F., Gursoy O., Turk T., Sığırcı R. (2019) Determination of the block movements in the eastern section of the Gediz Graben (Turkey) from GNSS measurements. *Journal of Geodynamics* 123, 38-48.
- Prescott W.H., Savage J.C., Kinoshita W.T. (1979) Strain accumulation rates in the Western United States Between 1970-1978. *Journal of Geophysical Research* 84(B10), 5423-5435.
- Stiros S., Kontogianni V. (2009) Mean deformation tensor and mean deformation ellipse of an excavated tunnel section. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 46, 1306-1314.
- Terzaghi K. (1942) Shield tunnels of the Chicago Subway. *J Boston Soc Civ Eng* 1942 29(3), 163–210.
- Ulukavak M., Yalçınkaya M., Kayıkçı Tanır E. (2013) TUSAGA Aktif (CORS-TR) saatlik verileri ile alansal ve noktasal gerinim analizi: Van depremi örneği. *HKMO, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye.