

Farklı hızlara sahip heyelan bloklarının Bulanık Çıkarım Sistemleri ile belirlenmesi

Mustafa ACAR*, Tevfik AYAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Heyelanların izlenmesi araştırmalarının en önde gelen amacı, heyelanın önceden haber alınmasıdır. Bunu izleyen amaç ise önlem geliştirmektir. Bu amaçlar için, hareket edecek kitlenin büyüklüğü ile birlikte hareket yönünün saptanması gereklidir. Heyelan gerçekleşmeden, kontrol noktalarındaki kanıtlanmış küçük zemin hareketlerini gösteren deformasyon vektörleri bir ölçüde heyelanın yönünü göstermektedir. Hareket edecek zemin kitlesinin (heyelan bloklarının) belirlenmesi için, sezginin ötesinde matematik modellerin geliştirilmesi gereklidir. Bu bağlamda, mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelere kullanan Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) elverişli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Heyelan bloklarının belirlenmesi 2D (yatay) + 1D (düşey) konum bileşenlerinin kombinasyonu ile (Quasi) 3D bir sistemde gerçekleştirilmiştir. Blok sınırlarının belirlenmesi amacıyla; kontrol noktalarının deformasyon vektörleri, afin koordinat dönüşümü ile irdelenmekte ve farklı bloklardaki kontrol noktalarının belirlenmesi iteratif bir çözümle yapılmakta ve çözüm algoritmasının bazı adımları Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) ile gerçekleştirilmektedir. Ölçme kampanyaları arasında gerçekleştirilen afin transformasyonundan elde edilen karesel ortalama hata (s_0), gerilme (strain) parametresi bileşenleri (e_1, e_2), iqr değeri, deformasyon vektörlerinin yönü ve büyüklüğü ile kontrol noktalarına ait düşey konum değişimi gibi veriler BÇS'nin girdi değişkenleridir. Bu çalışmada, Marmara Denizi kıyısındaki Büyükçekmece-Gürpınar (İstanbul) heyelan bölgesinde gerçekleştirilen, GPS ölçmeleri ile heyelan izleme projesinin verileri kullanılarak bölgedeki heyelan blokları BÇS ile belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afin dönüşümü, heyelan, gerilme, Bulanık Çıkarım Sistemleri, heyelan blokları.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mustafa ACAR. acarmusta@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 60.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Heyelanların izlenmesinde esnek hesaplama yöntemleri" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 26.02.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 10.03.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir

Determination of landslide blocks with different velocities by Fuzzy Systems

Extended abstract

Landslides are serious geologic disasters that threaten human life and property in every country. On account of their negative consequences, landslides loom large among natural hazards. They not only cause life and property losses where they occur but also harm economically important structures such as transportation lines (highways, railways) and agricultural fields or arable land. In addition, landslides are one of the most important natural phenomena, on which directly or indirectly effect countries' economy. Turkey is also the country that is under the threat of landslides. Landslides frequently occur in all of the Black Sea region as well as in many parts of Marmara, East Anatolia, and Mediterranean regions. Since these landslides resulted in destruction, they are ranked as the second important natural phenomenon that comes after earthquake in Turkey. Therefore it is needed to monitor the landslides.

Landslide areas can be divided into different blocks moving in different directions with different velocities. Determination of block boundaries provides important information that can be useful in implementing more effective landslide monitoring studies and in the studies aiming at reducing landslide effects. Information regarding the relative movements of the blocks is a very important indicator for future movement of the blocks.

Coordinate transformation is one of the widely applied issues in geodesy. Coordinates in one coordinate system can be determined in another system through transformation. Transformation type in geodetic studies is decided upon the objective of transformation and the number of common points available. In order to determine the block boundaries, displacement vectors of observation points are analysed employing affine transformations. The determination of observation points on different blocks can be achieved in an iterative solution. Some steps in the solution algorithm can be accomplished by Fuzzy Inference Systems (FIS). In the fuzzy logic approach such parameters as the strain parameters obtained from transformations and the standard deviation of unit weight and iqr value and deformation vector and height changes are used as input parameters.

Fuzzy Systems was developed by Lotfi Zadeh in the mid 1960's as an alternative to conventional reasoning and probability theory. Most of the conventional methods employed for modelling and reasoning are straight-forward, numerical and yield exact solutions. However, real cases are somehow uncertain and fuzzy in many respects. As a result of the lack of information, future position of a system cannot be properly predicted. So there are two problems for the outside world applications. (1) Real cases are mostly rigorous, non-numerical and cannot be defined in a certain way. (2) For the definition of a real system much more information than instantaneous definition and understanding of a person is needed. In such cases, human decisions are based on uncertainties and insensitivities that can be expressed orally. Fuzzy logic is one of the methods used for modelling such decision making processes

The data collected at Buyukcekmece Gurpinar Village, where a landslide monitoring project for the determination of ground movements was carried out between 1996 and 1998, was used for landslide block determination through Fuzzy Logic Method.

In this research, an alternative methodology for 3D determination of landslide blocks was applied. When 3D affine transformation between measurement periods is applied, the number of unknown parameters is twelve. For the solution of unknown parameters at least four common points are needed. In the least squares estimation of transformation parameters, generally more common points than required are used. Affine transformation, therefore, requires at least five common points. This may be a problem in geodetic deformation monitoring, because generally there are not so many points in such studies. In order to overcome this drawback, this problem could be solved by the combination of 2D coordinate transformation and vertical components. In block determination algorithm, fuzzy inference systems can also be employed. The input values in FIS application are strain parameters, directions of displacement vectors, displacement values, root mean square error, and the mean value of height changes. The results show that fuzzy logic approach in the determination of landslide block boundaries could be employed as a powerful tool.

Keywords: Affine transformation, landslide, strain, fuzzy inference systems, landslide blocks.

Giriş

Depremler, heyelanlar, kaya düşmeleri, su basıncı global ve geniş bir zaman kesitinde gözlemlendiğinde doğa olaylarıdır. Bu olaylar bizleri etkilemediği sürece dünyadaki dinamik sürecin basit birer parçası olarak kalmış; ekonomik, sosyal vb. zararlara yol açınca afet adını almıştır. Heyelan da insan hayatını tehdit eden bir jeolojik afettir ve ülkelerin ekonomilerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen en önemli doğa olaylarından biridir.

Türkiye’de heyelanlar, mal ve can kayıpları açısından yarattıkları zararların büyüklüğüne göre depremlerden sonra gelen ikinci önemli doğa olayıdır. Ülkemizde, oluşma sıklığı ve verdiği zararlar açısından heyelandan en fazla etkilenen bölgeler Karadeniz ve Marmara’dır. Marmara bölgesi, tortul jeolojisi ve yeraltı suyu koşulları nedeniyle heyelandan kaynaklı hareketlere uygun bir ortama sahiptir. Bu bölgede yamaç hareketleri en fazla Büyükçekmece Gölü kıyıları, İstanbul Boğazı ve Yalova çevresinde görülmektedir (Acar vd., 2003).

İnsan hayatını da riske sürükleyen bu tür afetlerin etkilerinin azaltılması ve ortadan kaldırılabilmesi için heyelan ve benzeri afetlerin meydana gelebileceği bölgelerdeki zemin hareketlerinin izlenmesi bir gerekliliktir. Günümüzde, özellikle GPS tekniği başta olmak üzere uzay bazlı konum belirleme teknolojileri sağladıkları yüksek doğruluk, ölçme hızı ve konfor nedeniyle deformasyonların saptanması projelerinde etkin ve verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

Heyelanların izlenmesi araştırmalarının en önde gelen amacı, heyelanın önceden haber alınmasıdır. Bunu izleyen amaç ise önlem geliştirmektir. Bu iki amacın da hem teker teker, hem de ikisinin birlikte gerçekleşmesi için, hareket edecek kitlenin büyüklüğü ile birlikte hareket yönünün saptanması gereklidir. Heyelan gerçekleşmeden, kontrol noktalarındaki kanıtlanmış küçük zemin hareketlerini gösteren deformasyon vektörleri bir ölçüde heyelan yönünü göstermektedir. Hareket edecek zemin kitlesinin (heyelan bloklarının) belirlenmesi için sezginin ötesinde matematik modellerin geliştirilmesi gereklidir. Bu ama-

cın gerçekleştirilmesi için Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) elverişli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Bulanık küme teorisine dayalı BÇS, presizyon düşüklüğü, anlaşılabilirlik, eksik bilgi vb. belirsizliklerin bulunduğu problemlerin çözümü için alternatif bir yöntemdir. BÇS genel olarak mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden, çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan sistemlerdir. Bulanık sistemlerin en büyük avantajı insan deneyimlerinin ve sözel verilerin modele katılması ile çözüme ulaşılmasıdır.

Heyelan izleme çalışmalarının GPS ölçmeleri ile gerçekleştirilmesi durumunda GPS kontrol noktalarına hassas üç boyutlu konum, yön ve zaman belirleyebilen bir sistem olması heyelan bloklarının doğrudan 3 Boyutlu (3D) bir sistemde belirlenmesine olanak verir. Ancak GPS ölçmeleri ile konum belirlemede, yatay konum doğruluğu ile yükseklik doğrulukları farklıdır. Bu nedenle, 3D gerilme (strain) tensörü elemanları yerine 2 Boyutlu (2D) yatay gerilme tensörü elemanları belirlenerek yüksekliğin ayrıca ele alınması gerekir. Ayrıca, 3D blok belirlemede kullanılan olacak olan gerilme parametrelerini de içeren 3D Afin Dönüşümü denklem sistemini çözmek için çok sayıda noktaya ihtiyaç duyulur. Bu sakıncaları ortadan kaldırabilmek için, bu çalışmada heyelan bloklarının belirlenmesi 2D (yatay) + 1D (düşey) konum bileşenlerinin kombinasyonu ile (Quasi) 3D bir sistem olarak oluşturulmuştur. Heyelan bloklarının (Quasi) 3D’lu bir sistemde belirlenmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Marmara Denizi kıyısındaki Büyükçekmece-Gürpınar heyelan bölgesinde gerçekleştirilen, GPS ölçmeleri ile heyelan izleme projesinin verileri kullanılarak bölgedeki heyelan blokları BÇS ile belirlenmiştir.

Bulanık çıkarım sistemleri

Bulanık Çıkarım Sistemleri 1960’ların ortalarında Lotfi Zadeh tarafından mantık ve olasılık teorisine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bulanık Çıkarım Sistemleri ilkelerinin klasik küme-

lerden temel farkı, bir elemanın herhangi bir kümeye ait olması konusunda verilecek yanıtın klasik kümelerdeki gibi ‘evet’ ya da ‘hayır’ gibi kesin olmayıp, bu elemanın ilgili kümeye ait olma olasılığının 0 ile 1 arasında değerler alabilen sürekli bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilmesidir. Herhangi bir elemanın üyelik fonksiyonundan aldığı değer üyelik derecesi olarak adlandırılır. Bulanık küme teorisinde üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değerler alması, sözel bilgilerin, problemlerin çözümü sırasında sayısal verilerle birlikte kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Sözel ifadelerin bulanık modellere katılması bulanık mantığın diğer yöntemlerden en büyük farklılığıdır (Acar vd., 2008).

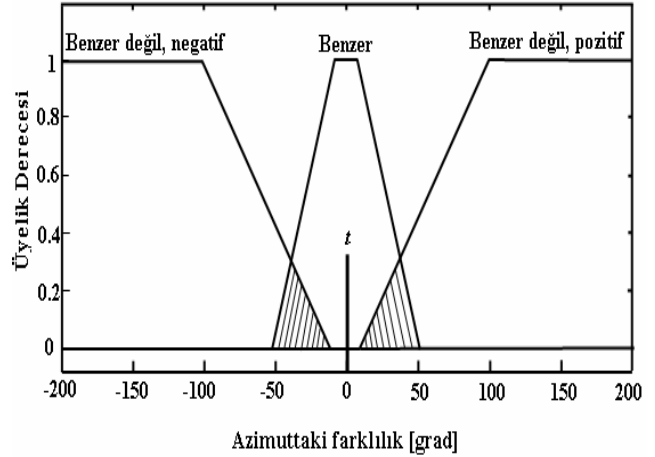
BÇS genel olarak, mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan sistemlerdir. Bulanık sistemlerin en büyük avantajı insan deneyimlerinin ve sözel verilerin bulanık modele katılması ile çözüme ulaşılmasıdır.

Bulanık sistemler (bulanık çıkarım sistemleri), bulanık **Eğer İse** kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan sistemlerdir. Bulanık sistemin temeli, bulanık **Eğer İse** kurallarından anlaşılacağı üzere öncül ve soncul kısımlardan oluşmaktadır. Öncül kısımda sonuca sebep olan giriş değişkenleri ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, soncul kısımda ise bu giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç değişkenleri yer alır. Genel olarak bulanık kurallar aşağıdaki formdadır (Haberler-Weber 2005; Yılmaz, 2005; Yılmaz ve Arslan, 2007);

- **Eğer** Deformasyon vektörlerinin yönü benzer **İse** blok kalitesi çok yüksek
- **Eğer** Deformasyon vektörlerinin yönü benzer değil (negatif) **İse** blok kalitesi çok düşük
- **Eğer** Deformasyon vektörlerinin yönü benzer değil (pozitif) **İse** blok kalitesi çok düşük.

Yukarıda verilen örneğe ait yön değişkenlerinin BÇS ile modellenmesi Şekil 1’ de gösterilmektedir. Çalışma bölgesinde, noktalara ait defor-

masyon vektörlerinin yönleri $\pm 15^\circ$ aralığında (taralı bölge) ise bu durum BÇS’nde noktaların “benzer” yönde hareket ediyor olarak değerlendirilir (Acar vd., 2008).



Şekil 1. Hareket vektörü yönünün BÇS üyelik ilişkisi

Bulanık Çıkarım Sistemleri ile, uzmanlık gerektiren karar süreci modellenebilir. Girdi ve Çıktı değişkenlerinin ve bunların ilişkilendirildiği kuralların tanımlanmasıyla insani düşünme biçimi yeniden üretilebilir. Bu sistemler, özellikle insan deneyimlerinin ve sözel verilerin modele katılmasında büyük yarar sağlamaktadırlar (Akyılmaz, 2005). Bulanık Çıkarım Sistemindeki ilk önemli adım, uygun girdi değişkenlerinin ve üyelik fonksiyonlarının bulunmasıdır. Sonraki adım ise, girdi ve çıktı değişkenlerini bağlayan deneysel olarak kurulan kuralların uygulanmasıdır (Haberler-Weber, 2005; Haberler, 2004).

Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanmasının genel olarak nedenleri özetlenecek olursa;

- Bulanık mantığın anlaşılması kolaydır ve dayandığı matematiksel teori basittir.
- Bulanık mantık esnekler.
- Eksik ya da yetersiz verilerle işlemler yapılabilmektedir.
- Bulanık mantık karmaşık lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilir.
- Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanır.

- Bulanık mantık insanların sıradan günlük işlerinde kullandığı dili kullanır. Bu da bulanık mantığın en büyük avantajıdır (Yılmaz ve Arslan, 2007, Yılmaz ve Arslan, 2006, Xuegong, 2000).

Afin dönüşümü ve gerilme analizi

Bir kontrol ağında deformasyona uğramış noktalara ait koordinat vektörü $x'^T = [x' \ y']$ önceki koordinatları $x^T = [x \ y]$ vektörleri ile gösterilerek, tüm noktalardaki ortak hareket t ile ifade edilirse, iki kampanyanın nokta koordinatları arasındaki lineer bağıntı

$$x' = F \cdot x + t \quad (1)$$

olur.

Burada, rotasyon ve distorsiyonu içeren, F deformasyon matrisi;

$$F = \begin{pmatrix} \frac{dx'}{dx} & \frac{dx'}{dy} \\ \frac{dy'}{dx} & \frac{dy'}{dy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{yx} & f_{yy} \end{pmatrix} \quad (2)$$

adlandırılır. F matrisi içindeki köşegen terimler (f_{xx}, f_{yy}): eksenler yönündeki birim uzunluktaki değişmeyi verirken, çapraz terimler (f_{xy}, f_{yx}): kesme gerilmesi (shear strain) olarak adlandırılmaktadır.

Buradan deformasyon vektörü u için,

$$u = x' - x = F \cdot x + t - x = dF \cdot x + t \quad (3)$$

yazılır. dF , deformasyon gradyentidir.

Literatürdeki çalışmalarda genellikle öteleme bilinmeyen parametreleri t ihmal edilir. Genel olarak, hem sabit hem de deformasyona uğramış çalışma bölgelerini içeren heyelan izleme çalışmalarında distorsiyon parametreleri ile birlikte öteleme parametrelerinin de kestiriminin yararlı olacağı görülür. Öteleme parametrelerinin (t_y, t_x) kullanılmamasını öneren Welsch'in (1982) aksine, burada öteleme parametrelerinin entegras-

yonunun bir bloğun hareket modelinin tam olarak tanımlanmasında faydalı olabileceği görülmüştür.

Heyelan hareketlerinde bir noktanın ya da noktalar kümesinin hareketi öteleme ve dönüklük bölümleri ile tanımlanır. Birçok durumda hareket yönündeki distorsiyon diğer yönlerdekinden daha büyüktür. Bu nedenle anizotropik gerilme koşullarını tam olarak tanımlamak için ikinci bir ölçek parametresi gereklidir (Haberler, 2004).

Deformasyon matrisi F , simetrik değildir ancak regülerdir ve $\det(F) > 0$ 'dır. Bu nedenle deformasyon matrisi,

$$F = R V \quad (4)$$

olarak iki matrisin çarpımı biçiminde gösterilebilir. Burada; R : ortogonal rotasyon matrisi, V : simetrik distorsiyon matrisidir. (4) eşitliğinden,

$$V = R^{-1} \cdot F = R^T \cdot F \quad (5)$$

olur. Eğer rotasyon açısı ω ise,

$$R^T = \begin{pmatrix} \cos\omega & \sin\omega \\ -\sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix} \quad (6)$$

bu eşitlikten,

$$V = \begin{pmatrix} f_{xx}\cos\omega + f_{yx}\sin\omega & f_{xy}\cos\omega + f_{yy}\sin\omega \\ f_{yx}\cos\omega - f_{xx}\sin\omega & f_{yy}\cos\omega - f_{xy}\sin\omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{xx} & v_{xy} \\ v_{yx} & v_{yy} \end{pmatrix} \quad (7)$$

olarak bulunur. Distorsiyon matrisinin simetrik olması nedeniyle,

$$f_{yx}\cos\omega - f_{xx}\sin\omega = f_{xy}\cos\omega + f_{yy}\sin\omega \quad (8)$$

eşitliğinden

$$\tan\omega = \frac{f_{xy} - f_{yx}}{f_{xx} - f_{yy}} \quad (9)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi, deformasyon matrisi F belli ise R ve V bulunabilir. V distorsiyon mat-

risi gerilme bişenlerini çok iyi bir biçimde tanımlar ve herhangi sonlu büyüklükteki homojen distorsiyonlar için geçerlidir. Eğer distorsiyonlar küçük ise, sonsuz küçük gerilmeler söz konusudur ve bu durumda aşağıdaki basitleştirmeler yapılabilir.

Distorsiyon matrisinden yararlanarak,

$$C = F^T F = V^T R^T R V = V^T V \quad (10)$$

Cauchy tensörü ve buradan,

$$G = \frac{1}{2}(C - I) = \frac{1}{2}(F^T F - I) \quad (11)$$

eşitliği ile Green tensörü bağıntısı yazılabilir. (10) ve (11) eşitliklerinden,

$$V^T V = I + 2G \quad (12)$$

bulunur. Eğer $G \leq I$ ise, ikinci dereceden terimler ihmal edilerek, sonsuz küçük distorsiyon matrisi V_i ,

$$V_i = I + G_i = I + E \quad (13)$$

olarak alınabilir. Burada E : gerilme tensörüdür ve

$$E = \begin{pmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{pmatrix} \quad (14)$$

eşitliğiyle verilir. Gerilme tensörü bileşenleri; e_{xx} : x eksenini doğrultusundaki birim uzunluktaki değişme, e_{yy} : y eksenini doğrultusundaki birim uzunluktaki değişme, e_{xy} : kesme gerilmesi (shear strain) olarak adlandırılır.

(3), (11) ve (12) eşitliklerinden,

$$E = \frac{1}{2}(dF + dF^T) \quad (15)$$

olarak bulunabilir. Buradan gerilme tensörü E 'nin $e_{xy} = e_{yx}$ ile simetrik olduğu görülür. Rotasyon açısının küçük olması durumunda, rotasyon matrisi,

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \omega_i \\ -\omega_i & 1 \end{pmatrix} = I + dR_i \quad (16)$$

olacaktır. Bu durumda, (13) ve (16) eşitliklerinden sonsuz küçük gerilmeler için deformasyon matrisi F_i ,

$$F_i = R_i V_i = R_i + E \quad \text{veya} \quad dF_i = dR_i + E \quad (17)$$

olarak elde edilir. Sonsuz küçük dönme açısı ise

$$\omega_i = \frac{1}{2}(f_{xx} - f_{yy}) \quad (18)$$

eşitliğinden bulunur. Eğer jeodezik verilerden sonsuz küçük gerilmeler için deformasyon gradyenti dF_i hesaplanırsa, (16) ve (17) eşitliklerinden gerilme tensörü E bulunabilir (Deniz, 1990).

Deformasyon gradyentinin hesaplanması

Gerilme kavramı, yerdeğiştirme (displacement) kavramı ile sıkı sıkıya ilgilidir. Koordinat değişimi ile açıklamak gerekirse, eksenler yönündeki koordinat değişimlerinin ilk koordinatlara oranıdır. Birimsiz olması ve temelde bir oranı ifade etmesi sebebiyle “*normal birim deformasyon*” olarak da bilinir (Acar vd., 2008). Heyelan bloklarını belirlemede pratik nedenler için, dönüşüm parametreleri yerine gerilme parametreleri ile çalışmak daha iyi olacaktır. Gerilme analizi Afin Koordinat Dönüşümü ile benzer olduğu için, parametreler kolaylıkla çok küçük gerilme (infinitesimal strain) bileşenlerine (e_{xx} , e_{yy} , e_{xy}) dönüştürülebilir.

Gerilme parametrelerinin, çözüm için gerekli olan veri sayısından daha fazla sayıda veriye sahip olduğu durumlarda aşağıdaki formülasyon kullanılır.

$$\begin{aligned} u_{x_i} &= x'_i - x_i = t_x + e_{xx}x_i + e_{xy}y_i + \omega y_i \\ u_{y_i} &= y'_i - y_i = t_y + e_{yx}x_i + e_{yy}y_i - \omega x_i \end{aligned} \quad (19)$$

Problemin bilinmeyen parametreleri

$$p = (t_x \quad t_y \quad e_{xx} \quad e_{xy} \quad e_{yy} \quad \omega)^T \quad (20)$$

ve katsayılar matrisi

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x & y & 0 & y \\ 0 & 1 & 0 & x & y & -x \end{pmatrix} \quad (21)$$

ile

$$u = \begin{bmatrix} dx_1 \\ dy_1 \end{bmatrix} = H \cdot p \quad (22)$$

olur.

Gerilme parametreleri koordinat sistemine bağlı olduğu için, gerilme elipsi ile temsil edilen ana gerilme eksenlerine dönüşüm ile gerilme parametrelerinin daha iyi yorumlanabilmesi mümkün olmaktadır. Gerilme elipsinin bileşenleri (yarı eksenler e_1 , e_2 ve maksimum gerilme oranının yöneltmesi θ) jeodezik nokta hata elipsleriyle benzeşen gerilme bileşenlerinden hesaplanır (Haberler-Weber 2003).

$$e_1 = \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy} + e) \quad (23)$$

$$e_2 = \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy} - e) \quad (24)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2e_{xy}}{e_{xx} - e_{yy}} \quad (25)$$

$$e = \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2} \quad (26)$$

- e : kesme gerilmesi
- e_1 : en büyük asal gerilme değeri
- e_2 : en küçük asal gerilme değeri
- θ : en büyük asal gerilme doğrultusunun azimutunu ifade etmektedir.

Gerilme tensörü parametreleri e_1 , e_2 , θ distorsiyon durumunu tanımlamak için gerekli olan bütün bilgileri içerir. Gerilme tensörünün köşegen elemanları pozitif veya negatif değerler olabilir. Söz konusu eksen doğrultuları için, pozitif değer ($e_1, e_2 > 0$) uzamayı ve negatif değer ($e_1, e_2 < 0$) büzülme gösterir. Gerilme, jeodezik

ağın her noktası için hesaplanan, en büyük ve en küçük gerilme değerleri ile ifade edileceği gibi grafik olarak da gösterilebilir. Söz konusu noktada, hesaplanan azimutuna göre en büyük gerilme doğrultusu çizilir. Bu doğrultuda, nokta merkez olacak biçimde en büyük gerilme miktarı ve buna dik doğrultuda en küçük gerilme miktarı, çizilecek gerilme elipsinin büyük ve küçük eksenlerini oluşturur. Gerilme elipsinin eksenleri, uzama durumunda devamlı çizgi ve büzülme durumunda kesikli çizgi olarak çizilirler (Deniz, 1990).

Kartiller arası fark

İstatistikte, değişim aralığının (bir serideki en büyük değer ile en küçük değer arasındaki fark) serinin iki ucunda yer alan aşırı değerlerden etkilenmemesi için Kartiller Arası Farktan (KAF/interquartile range/ iqr) yararlanılır.

Bir veri grubunun iqr değeri, üçüncü çeyrek kartil ve birinci çeyrek kartil değerleri arasındaki fark alınarak hesaplanır (Url-1).

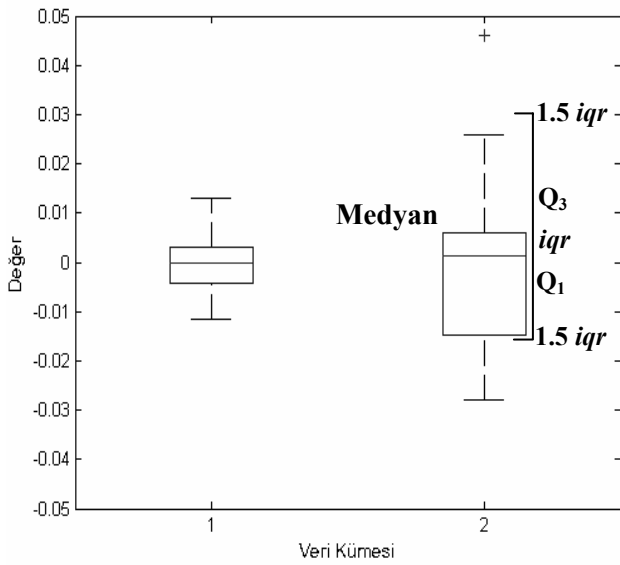
$$iqr = KAF = Q3 - Q1 \quad (27)$$

iqr , verilerin ortasındaki %50'sinin yer aldığı intervalin genişliğidir. Bu fark, küçükten büyüğe doğru sıralanmış gözlem değerlerinden yarısının ne genişlikte bir kısmını kapladığını belli eder ve değeri ne kadar büyük olursa değişkenliğin o kadar fazla olduğunu, ne kadar az ise orta %50 lik gruptaki değişkenliğin o kadar az olduğunu gösterir.

iqr değeri, olasılık dağılımının basit grafik gösterimleri olan kutu grafiklerinin çizilmesinde kullanılır. Kutu Grafiği (Boxplot / Box and Whisker Plot), bir örneklemin dağılımının grafikte gösterilmesidir. Kutu grafiği, veri yığınının ne kadar simetrik olduğunu, sayıların yayılımının ne olduğunu, diğerlerinden uzakta olan verilerin varlığını, verilerin yoğunluğunun nerede toplandığını, verilerin aralarında boşluklar olup olmadığını ve aykırı gözlem değerleri hakkında bilgi verir. Tukey (1977) verilerin nasıl dağıldığını gösterebilmek için beş-sayı özet (five-number summary) önermiştir (Url-2). Bu

beş sayı, en düşükten en yükseğe sıralı bir biçimde, Minimum değer, Birinci kartil (% 25'lik değer = Q1), İkinci kartil (%50'lik değer= Q2 = medyan), Üçüncü kartil (% 75'lik değer = Q3), Maksimum değer olmaktadır (Şekil 2).

Kutu grafiğinde, kutunun uzunluğu *iqr* değeri kadardır. *Medyan* değeri kutu üzerinde çizgi olarak gösterilir ve kutunun ortasında değildir. Bununla birlikte dağılımdaki kaba hataları tanımlamak için Alt Sınır Değer (ASD) = $Q1 - 1.5 \cdot iqr$ ve Üst Sınır Değer (ÜSD) = $Q3 + 1.5 \cdot iqr$ olarak belirlenir.



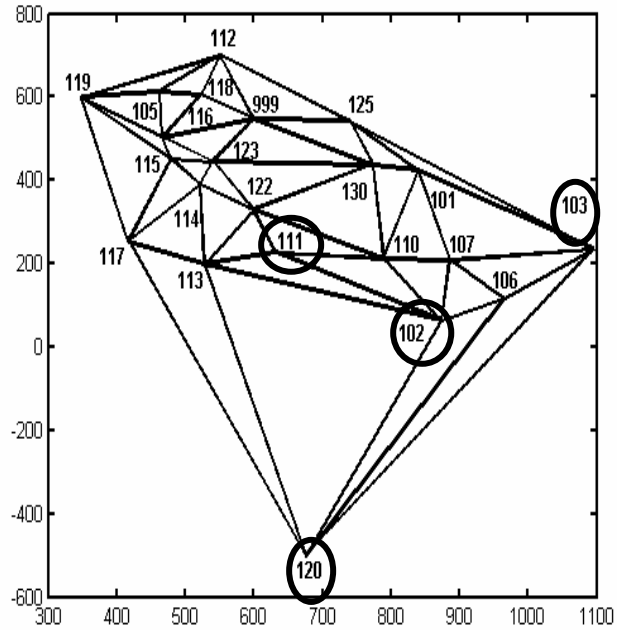
Şekil 2. Bir kutu grafiği bileşenlerinin gösterimi

Alt ve üst sınır değerleri içerisinde kalmayan veriler kaba hatalı değerler olarak düşünülür. Şekil 2' de örnek olarak verilen iki veri setinde iki farklı durum söz konusudur. Birinci durumda verilerin, homojen dağılım gösterdiğini, Alt ve Üst sınır değerleri aralığının yaklaşık eşit uzunlukta olduğunu ve uyumsuz ölçü olmadığını, ikinci durumda verilerin daha heterojen bir yapı gösterdiği Alt ve Üst sınır değerleri aralığının farklı uzunlukta olduğunu ve (+) işareti ile gösterilen ölçünün uyumsuz ölçü olduğu şeklinde yorumlanır.

Blok belirleme algoritması

Heyelan bloklarının belirleme algoritmasına geçilmeden önce noktalar arasındaki koordinat

değişimi ilişkilerinin kurulabilmesi için Delaunay üçgenlemesi yönteminden yararlanır. Şekil 3'te bu yöntemle oluşturulmuş bir kontrol ağı verilmektedir. Bu yöntemin kullanılmasını gerektiren amaç rasgele dağılmış olan ağ noktaları arasında mümkün olduğunca eşkenar üçgene yakın üçgenlerle çalışma bölgesini kaplamak ve böylece çok dar açılı üçgenlerin oluşumu, dolayısıyla, birbirlerine uzak olan ve direkt ilişkisi bulunmayan noktalar arasında doğrusal bir ilişki kurulmasını engellemek olacaktır.



Şekil 3. Gürpınar heyelan bölgesi kontrol ağının Delaunay üçgenlemesi

Bundan sonra kullanılacak olan kontrol noktaları arasındaki "Komşu nokta" terimi, kontrol ağı noktalarından oluşan yüzeyin üçgenlerle kaplanmasından (Delaunay üçgenleme yöntemi kullanılarak) sonra birbirleri ile ortak kenara sahip olan kontrol noktalarının durumu olarak açıklanır.

Blok belirleme yapılacak olan ölçme kampanyaları arasında, dönüşüm parametreleri değerlerinin gerilme analizi değerlerinin de kolaylıkla elde edilebildiği Afın Dönüşümü ile gerçekleştirilir. Afın Dönüşümünde altı dönüşüm parametresini çözmek için, her iki ölçme kampanyasında da koordinatı bilinen üç nokta gereklidir.

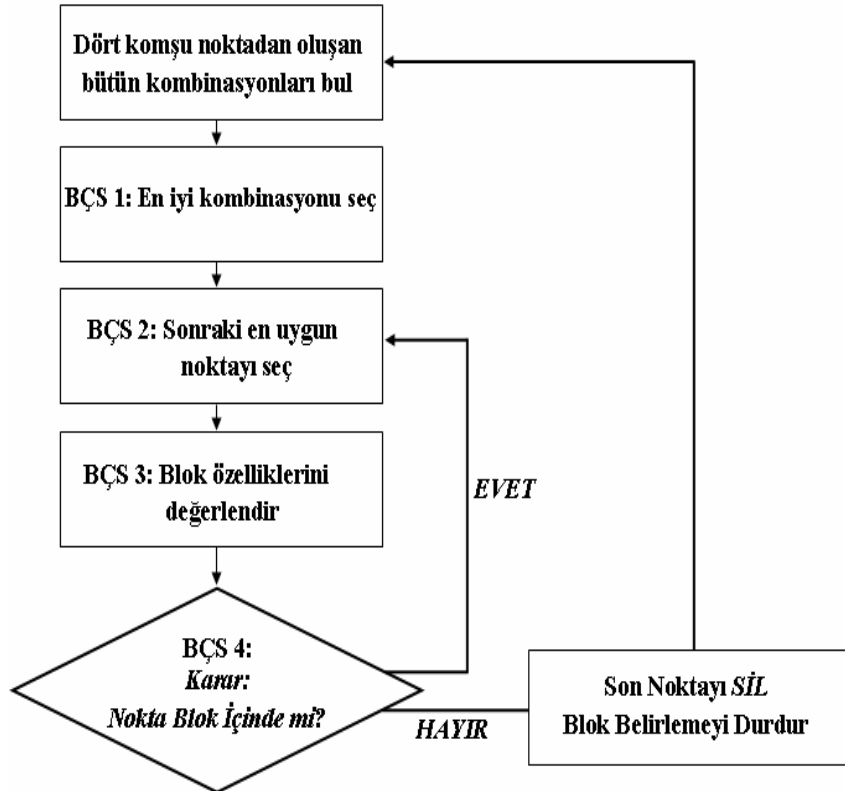
Dönüşüm parametrelerinin En Küçük Kareler (EKK) yöntemine göre kestirimi için dönüşümde genellikle yeterinden fazla sayıda ortak nokta kullanılır. Afın koordinat dönüşümünde bu durumda en az ortak dört noktaya ihtiyaç vardır. Bu nedenle, blok belirleme algoritmasında en küçük blok boyutu dört nokta olarak seçilir.

Blok belirleme algoritması, dört komşu noktadan oluşan tüm olası blokların bulunması ile başlar (Haberler, 2003; Haberler ve Kahmen, 2003) (Şekil 4) ve BÇS’nde girdi parametresi olarak kullanılacak olan parametrelerin hesaplanması ile devam eder. Başlangıç bloğunun belirlenmesinde kullanılacak olan BÇS girdi parametreleri için, belirlenen olası tüm dört noktalı kombinasyonların her biri için Afın Dönüşümü yapılarak karesel ortalama hata (s_0) değerinin yanında, gerilme parametresi değerleri (e_1, e_2), iqr değeri, deformasyon vektörlerinin büyüklüğü ve yönü ile noktalara ait düşey konum değişimleri hesaplanır.

Sonraki adımda, elde edilen veriler; mevcut verilerden seçilen *girdi* değişkenlerinden *çıkıtı* de

ğişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) ile veriler değerlendirilir. BÇS girdi parametrelerinin değerlendirilmesi ile en büyük BÇS çıktı değerini veren dört komşu nokta kombinasyonu başlangıç bloğu olarak seçilir. “BÇS çıktı değeri” blok kalitesi olarak adlandırılır. 1 (bir) değerine yakın olan değerler “blok kalitesi yüksek” dört komşu nokta kombinasyonları olarak değerlendirilir. En uygun dört noktalı bloğun seçilmesinden sonra, bu bloğa Delaunay üçgenlemesi sonucunda ortak kenarı olan diğer komşu noktalar birer birer eklenerek bu bloğa ait bütün 5 noktalı kombinasyonlar hesaplanır.

Blokla uyuşan, Afın Dönüşümü sonucunda minimum standart sapmaya (birim ağırlık) ve uygun gerilme parametrelerine (e_1, e_2) sahip nokta bloğa aday olarak alınır. Aynı anda, noktanın bu bloğa dahil olup olmadığı BÇS ile analiz edilir. Analiz işlemi sonucunda noktanın bu blokta olduğuna karar verilmişse, sonraki adım tüm komşu noktalar arasında bir sonraki en uygun noktayı bulmak olacaktır. Bu işlem BÇS ile



Şekil 4. Blok belirleme akış diyagramı

noktanın blok için uygun nokta olmadığı redde dilinceye kadar sürdürülür. Bu durumda reddedilen nokta bloktan silinir ve kalan noktalar arasında diğer en uygun blok belirlmesine geçilir.

Blok belirleme algoritması mevcut parametreler ve görevlerine göre dört farklı BÇS kullanır:

- Algoritmanın ilk adımında, 4 noktalı olası bütün kombinasyonlar oluşturulur. Birinci Bulanık Çıkarım Sistemi “BÇS 1”, oluşturulan her kombinasyon için Afin Dönüşü sonucunda elde edilen karesel ortalama hata (s_0), gerilme elipsinin eksenleri e_1 ve e_2 , dört yer değiştirme vektörünün yönü, büyüklüğünü ve düşey hareket bileşenini değerlendirir. En uygun kombinasyon başlangıç bloğu olarak seçilir.
- Bu başlangıç bloğu temel alınarak, iteratif bir değerlendirme ile sonraki en uygun nokta bloğa dahil edilmek için seçilir. Algoritma, başlangıç bloğuna komşu bütün noktaları bulmak için uğraşır. “BÇS 2” (iteratif) bütün olasılıklardan; s_0 , e_1 , e_2 , iqr değeri, deformasyon vektörlerinin büyüklüğü, yönü ve düşey hareket bileşeni parametrelerinin tekrar değerlendirilmesi ile en uygun noktayı seçmek zorundadır.
- “BÇS 2” sadece birkaç olasılığın dışında en uygun kombinasyonu seçer. Eğer “Madde 2”de sağlanan en uygun çözüm hala geçerli bir blokta, “BÇS 3”, iterasyonun her bir adımını belirler. Bu, sadece yukarıda belirtilen parametrelerin değerlendirilmesi ile değil, aynı zamanda iterasyonun sonraki adımları arasında s_0 , e_1 , e_2 parametrelerinin değişim oranı gibi ilave edilen ek parametrelerle yapılır. Bunun altında yatan fikir çerçevesinde eğer bir nokta bloğa ait değilse, bloğa eklendiği zaman, s_0 , e_1 , e_2 , parametreleri büyüyecektir. Öyle ki, iterasyonun sonraki adımları arasında değişim oranı belirleyici olacaktır.
- “BÇS 4” (Karar aşaması) bloğun sonlandırılması hakkındaki son kararı verir. Kesin bir evet/hayır kararı verilmelidir. Burada tekrar sadece “BÇS 3”ün çıktı değeri değil, aynı zamanda bu değerlerin değişimi son karar değerinin hesaplanması için kullanılır

(Acar vd., 2008; Haberler-Weber, 2005; Haberler, 2004).

(Quasi) 3D sistemde blok hareketlerinin belirlenmesi

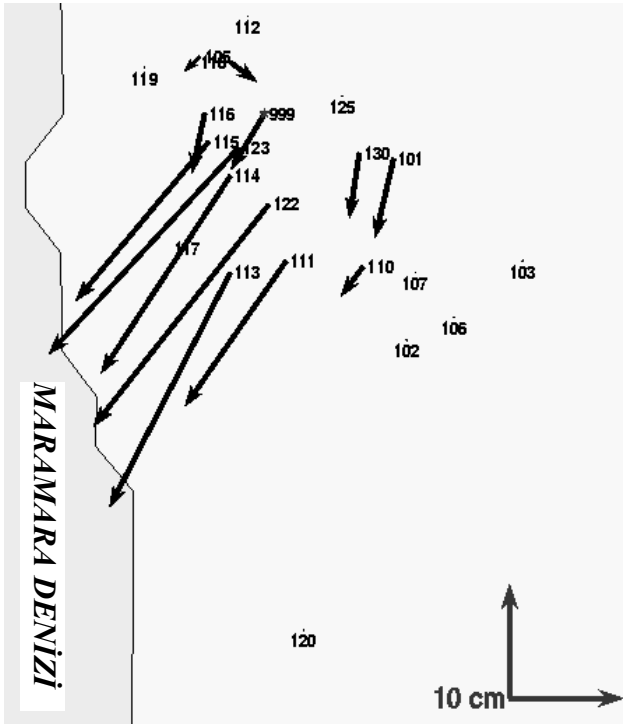
GPS, uzayda konumları belli olan GPS uydularından gönderilen radyo sinyalleri yardımıyla karada, denizde, havada ve uzaydaki, konumları belli olmayan noktalara ait hassas üç boyutlu konum, yön ve zaman belirleyebilen bir sistemdir. Bu nedenle uzun zaman aralıkları ile farklı periyotlarda GPS ölçmeleri ile elde edilen koordinatlar arasında datum birliğini sağlamak için periyotlar arasında 3D dönüşüm modelleri uygulanmalıdır. Blok belirleme algoritmasında kullanılan BÇS girdi değerleri 3D Afin Dönüşümü ile elde edilmek istenirse aşağıda açıklanan problemlerle karşılaşılması olasılıkları vardır. Bunlar :

- GPS ölçmeleri ile konum belirlemede, yatay konum doğruluğu ile yükseklik doğrulukları farklı olduğundan, genellikle üç boyutlu gerilme tensörü elemanları yerine iki boyutlu yatay gerilme tensörü elemanları belirlenerek yüksekliğin ayrıca ele alınması gerekir (Denli, 1998).
- Üç boyutlu Afin Dönüşümü ile gerilme parametrelerini içeren transformasyon parametreleri, $x=[t_x, t_y, t_z, R_x, R_y, R_z, e_{xx}, e_{yy}, e_{zz}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}]$ olarak ifade edilirler. Bunlar; t_x, t_y, t_z : öteleme bilinmeyenleri, R_x, R_y, R_z : sırasıyla x, y, z eksenlerinin dönüklüklerini, e_{xx}, e_{yy}, e_{zz} : normal gerilmeleri, $\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$: kesme gerilmeleri anlamına gelmektedir. Bu denklem sistemini çözmek için her iki koordinat sisteminde koordinatla bilinen dört noktaya ihtiyaç duyulur. Dengelemeli bir dönüşüm yapabilmek için en az beş nokta gerekmektedir. Bu durumda blok belirleme algoritmasında oluşturulacak olan en küçük blok nokta sayısı beş olmaktadır. Bu nedenle blok belirleme işlemlerinde fazla sayıda noktaya ihtiyaç duyulacağından çoğu jeodezik çalışmalarda nokta sayısı problemi ile karşılaşılabilir.

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen problemlerle karşılaşılmasında noktalara ait üç boyutlu

konum bilgilerini doğrudan 3D kullanmak yerine, yatay (2 Boyut) ve düşey (1 Boyut) kombinasyonu ile aşılabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, (Quasi) üç boyutlu bir sistem oluşturularak blok hareketleri belirlenmiştir.

Blok hareketlerini belirlemek için kontrol nokta sayısının fazla olması o bölgedeki farklı özelliklere sahip blok hareketlerini belirlemede kolaylık sağlayacaktır. Bu nedenle Büyükçekmece-Gürpınar heyelan bölgesinde GPS ölçmeleri ile gerçekleştirilen heyelan izleme projesinin 1. ve 2. kampanyalarının değerlendirilerek analizi yapılan 18 noktaya ilaveten aynı bölgede Çelik vd. (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın 122, 123 ve 130 numaralı noktaları da bu çalışmaya dahil edilmiştir. Deformasyon analizinin sonucunda elde edilen deformasyon vektörlerinin büyüklükleri ve yönleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Deformasyon vektörlerinin gösterimi

Blok belirleme algoritmasında girdi verileri olarak kullanılacak bu değerlere bakıldığında, 3 farklı nokta grubu göze çarpmaktadır. Bunlar:

- 1. Noktalar Grubu: proje alanını çevreleyen ve proje alanı dışında bulunan noktalardır.

Bu noktalarda statik deformasyon analizi sonucunda anlamlı hareket bulunmamıştır.

- 2. Noktalar Grubu: orta büyüklükte deformasyon vektörlerine sahip olan noktalardan oluşmaktadır. Bunlar stabil bölge ile büyük deformasyon vektörleri arasında yer alan bölgedeki noktalardır ve hareket yönü denize doğrudur. Deformasyon vektörlerinin büyüklükleri 2 – 6 cm arasında değişmektedir.
- 3. Noktalar Grubu: büyük deformasyon vektörlerine sahip olan noktalardır. Denize yakın bölgedeki yamaç noktalardan oluşmaktadır ve hareket yönü denize doğrudur. Deformasyon vektörlerinin büyüklükleri 15 – 26 cm arasında değişmektedir.
- Büyük deformasyon vektörleri ile deniz arasında kısmen düzlük alanda hareketlilik gözlenmediği daha önceki çalışmalarda kanıtlanmıştır. Bu nedenle bu bölgede yer alan ve tahrip olan noktaların yerine yeni noktalar tesis edilmiştir.

Orta büyüklükteki deformasyon vektörleri üzer noktadan oluşan 2 farklı bölgede toplanmışlardır. Bu noktaların tek bir blok üzerinde olup olmadığını belirlemek ve 999 numaralı nokta bloklar arasında komşuluk oluşturması için, tarafımızdan türetilmiş ve ağa dahil edilmiştir.

Blok belirleme, en küçük blok boyutu (başlangıç bloğu) olan dört nokta ile başlamış ve dört komşu noktadan oluşan dört noktalı bütün kombinasyonlar hesaplanmıştır. Hesaplanan kombinasyonlar sonucunda, s_0 , gerilme parametreleri e_1 ve e_2 değerleri, iqr değeri, deformasyon vektörlerinin yönü, büyüklüğü ve düşey hareket değişimleri gibi değerler de dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda en iyi BÇS çıktısı değerini veren iki kombinasyon Tablo 1'de verilmektedir.

Elde edilen kombinasyon değerleri incelendiğinde 2. kombinasyonun dönüşümden elde edilen s_0 değerinin küçük olmasına rağmen, 1. kombinasyona göre gerilme parametresi bileşenleri değerleri ve noktalara ait yükseklik değişimleri daha büyük, deformasyon vektörlerinin yönü ve vektörlerin büyüklüklerinin benzerliği daha uyumsuz olması nedeniyle daha iyi BÇS

çıkı değerini veren 103- 102- 117- 120 numaralı noktalardan oluşan birinci kombinasyon, başlangıç bloğu olarak seçilir.

Başlangıç bloğunun seçilmesi ile bundan sonraki adımda bu bloğa dahil olabilecek komşu aday noktaların araştırmasına geçilmiş ve bloğa sırasıyla dahil olan noktalar Tablo 2’de verilmiştir. 118 numaralı noktanın dahil edilmesi durumunda $s_0 = \pm 2.68$ mm’den ± 7.6 mm’ye, *iqr* değerinin 0.01’den 0.19’a , gerilme parametresi değerlerinden e_1 değerinin 7.50’den 14.23’e çıkması, noktalara ait yükseklik değişimi ortalamasının -2.4 mm’den -10.2 mm olarak değişmesi, deformasyon vektörlerinin yönlerinin yaklaşık 55° değişmesi, deformasyon vektörlerinin büyüklüğü arasındaki korelasyonun düşmesi ve BÇS çıktı değerinin 0.8613’den 0.4689’a düşmesi nedeniyle artık başlangıç bloğuna eklenecek nokta kalmadığı görülmektedir.

Başlangıç bloğunun tamamlanmasından sonra, yükseklik değişimlerinin de dikkate alındığı algoritma ile kalan noktalar arasında 2. başlangıç bloğunun belirlenmesi için dört noktali kombinasyonlar oluşturulmuş ve elde edilen en iyi kombinasyon değeri Tablo 3’te verilmiştir.

Kombinasyon değerlerine bakıldığında ikinci kombinasyonun s_0 değeri, *iqr* ve deformasyon vektörleri arasındaki korelasyon daha iyi olmasına rağmen diğer BÇS girdi ve çıktı değerlerinin daha uyumlu olması nedeniyle 110- 130-

101- 999 noktalardan oluşan blok 2. başlangıç bloğu olarak seçilmiştir. Daha sonra ikinci bloğa dahil olabilecek noktaların araştırmasına geçilerek sırasıyla bu bloğa dahil olan noktalar ve onlara ait BÇS çıktı değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Son adımda bloğa dahil edilmeyen 115 ve bir önceki adımda bloğa dahil edilen 118 numaralı noktaların BÇS çıktı değeri hemen hemen eşit görünse de, 115 numaralı nokta bloğa dahil edilmiş olsa $s_0 = \pm 39.71$ mm’ye, gerilme parametresi değerlerinden e_1 değerinin ise 437.431’e çıkması nedeniyle nokta bu bloğa dahil edilmemiş ve blok sonlandırılmıştır.

Geriye kalan altı nokta arasında üçüncü başlangıç bloğunu oluşturmak için tekrar dört noktali kombinasyonlar oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlara göre belirlenen en iyi üçüncü başlangıç blokları Tablo 5’te verilmiştir.

Sonuçlara göre en iyi birinci kombinasyon, ikinci kombinasyona göre *dh* değeri haricindeki diğer bütün BÇS girdi parametreleri değerlerinin daha uyumlu olması nedeniyle daha iyi BÇS çıktı değerine sahip olmaktadır. Bu nedenle (113- 114- 115- 122) nolu noktalardan oluşan blok üçüncü başlangıç bloğu olarak seçilmiştir. Bu bloğa dahil olabilecek noktalar Tablo 6’da verilmektedir. 123 nolu noktanın bloğa dahil olmasından sonra, son olarak 111 numaralı noktanın da bloğa dahil edilmesi ile bloğa dahil olabilecek başka nokta kalmaması nedeniyle blok belirleme işlemi sonlandırılmıştır.

Tablo 1. Başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri

Kombinasyonlar	s_0 (mm)	<i>iqr</i>	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı (Cos) (°)	Deformasyon vektörlerinin oranı	<i>dh</i> (mm)	BÇS Çık- tı Değeri
103- 102- 117- 120	2.68	0.0117	7.5041	0.1026	0.9140	1.0138	-2.48	0.8613
106-119- 117- 120	1.29	0.0107	7.917	6.978	0.892	0.9120	-2.98	0.8576

Tablo 2. Başlangıç bloğuna dahil olan noktalar

	Adım 1	Adım 2	Adım 3	Adım 4	Adım 5	Adım 6
Bloğa Dahil Olan Noktalar	106	125	119	112	107	118
BÇS Çıktı Değeri	0.6491	0.6352	0.6081	0.6221	0.6251	0.4689

Tablo 3. İkinci başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı (Cos) (°)	Deformasyon vektörlerinin ora- nı	dh (mm)	BÇS Çıktı Değeri
110- 130- 101- 999	21.33	0.05	65.338	17.836	0.976	1.048	-13.8	0.7218
105-116- 130- 999	0.78	0.01	202.586	171.94	0.948	0.973	-15.78	0.7114

Tablo 4. İkinci başlangıç bloğuna dahil olan noktalar

	Adım 1	Adım 2	Adım 3	Adım 4
Bloğa Dahil Olan Noktalar	116	105	118	115
BÇS Çıktı Değeri	0.53106	0.4620	0.4388	0.4335

Tablo 5. Üçüncü başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı (Cos) (°)	Deformasyon vek- törlerinin Oranı	dh (m)	BÇS Çıktı Değeri
113- 114- 115- 122	10.42	0.19	42.50	300.37	0.991	0.991	-20.17	0.5837
113- 115- 122- 123	19.42	0.44	68.26	418.81	0.987	0.954	-19.27	0.5690

Tablo 6. Üçüncü başlangıç bloğuna dahil olan noktalar

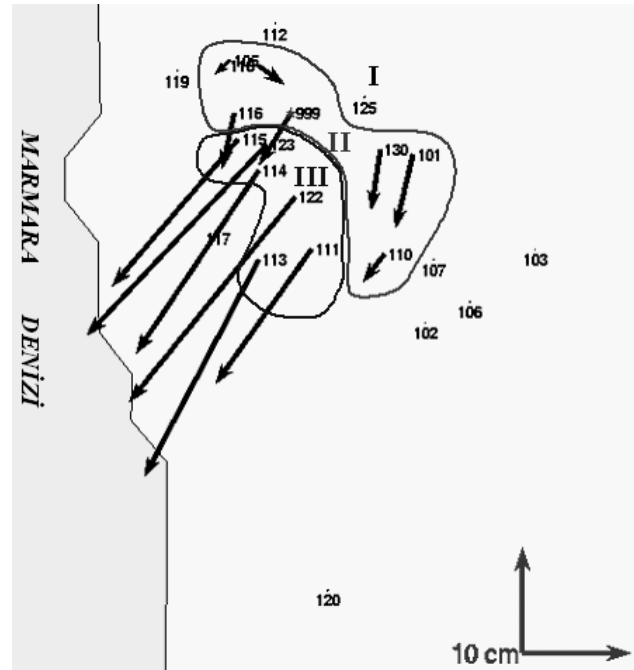
	Adım 1	Adım 2
Bloğa Dahil Olan Noktalar	123	111
BÇS Çıktı Değeri	0.6121	0.4657

Yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen bloklar Şekil 6'da gösterilmektedir.

Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Heyelanlara karşı geliştirilen önlemlerin geçerliliği ve ekonomisi için heyelan bloklarının sınırları ile blokların hareket yönleri ve hareket hızları çok önem arz etmektedir. Bu çalışmada, heyelan bloklarının BÇS ile belirlenebildiği ortaya konmuştur. Heyelanların izlenmesi konusundaki çalışmalar için bu yöntem çok uygun gözükmemektedir. Heyelan önlemeye yönelik girişimler ancak bu yolla gerçekçi ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilecektir. Geliştirilen ve uygulanan önlemlerin geçerliliği de heyelan bloklarının belirlenmesi yoluyla test edilecektir.



Şekil 6. Belirlenen blokların gösterimi

- Bu çalışmada BÇS başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Belirsizlikler içeren doğa olaylarının matematik modellemesine çok uygun bir yöntem olduğu saptanmıştır.
- GPS, hassas üç boyutlu konum, yön ve zaman belirleyebilen bir sistemdir. Heyelan

bloklarını GPS ile doğrudan 3D'lu bir sistemde belirleme olanağı bulunmaktadır. Ancak GPS ölçmeleri ile konum belirlemede, yatay konum ve yükseklik doğrulukları farklıdır. Bu durum, 3D gerilme tensörü elemanları yerine 2D yatay gerilme tensörü elemanlarının belirlenmesi ve yüksekliğin ayrıca ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bunun yanında 3D blok belirlemede gerilme parametrelerini de içeren 3D Afin Dönüşümü için çok sayıda noktaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sakıncaları ortadan kaldırabilmek düşüncesiyle 2D (yatay) + 1D (düşey) sistemlerin kombinasyonu olarak heyelan bloklarını (Quasi) 3D belirleme yöntemi geliştirilmiştir.

- Son yıllarda, yerkaşu deformasyonları, depremler, heyelanlar, derin kütle hareketleri vb. olgulara yönelik çalışmalar açısından, yeryüzünün gerilim (stress) alanı hakkında bilgi sahibi olunabilen gerilme konusu, BÇS ile heyelan bloklarının ayrıştırılmasında etkin bir rol üstlenmiştir. Gerilme parametresi bileşenleri e_1 ve e_2 değerlerinin deformasyon beklenmeyen bölgelerde deformasyona uğramış bölgelere oranla çok daha küçük değerler alması farklı blokların belirlenmesinde belirleyici bir unsur olmuştur. Bu nedenle, gerilme parametreleri heyelan ve fay hattı bloklarını belirleme çalışmalarında dikkate alınması gereken önemli parametreler olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, gerilme parametrelerinin, jeolojik tekniklere göre jeodezik yöntemlerle çok daha kısa zamanda elde edilebildiği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Kaynaklar

- Acar, M., Haberler-Weber, M. ve Ayan, T., (2008). Bulanık çıkarım sistemleri ile heyelan bloklarının belirlenmesi: Gürpınar örneği, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, **98**, 28- 35.
- Acar, M., Özlüdemir, M.T., Çelik, R.N., Erol, S. ve Ayan, T., (2003). Investigation of deformations on landslides with kinematic model, *Proceedings, Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World*, Sofia, Bulgaria, 6- 7 November, 89-98.
- Akyılmaz, O., (2005). Esnek hesaplama yöntemlerinin jeodezide uygulamaları, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Çelik R.N., Ayan, T., Denli, H.H., Özlüdemir, T., Erol, S., Groten, E. ve Leinen, S., (1999). Land sliding monitoring using GPS and conventional techniques in Gürpınar, *Proceedings, Third International Symposium Turkish- German Joint Geodetic Days*, İstanbul, Turkey, 1-4 June, 839-624.
- Denli, H.H., (1998). GPS ile Marmara Bölgesindeki yerkaşu hareketlerinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deniz, R., (1990). Jeodezik ölçmelerden yerkaşudaki lokal gerilmelerin belirlenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, **48**, 4, 15- 22.
- Haberler, M., (2003). A Fuzzy System for the assessment of landslide monitoring data; A Window on the Future of Geodesy, *Proceedings, International Association of Geodesy, IAG General Assembly*, Sapporo, 95 – 100.
- Haberler, M. ve Kahmen, H., (2003). Detection of Landslide Block Boundaries by means of an Affine Coordinate Transformation, *Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements*, Santorini, Greece, 355-361.
- Haberler, M., (2004). A Fuzzy System for the Analysis of Geodetic Landslide Monitoring Data, *Proceedings, Third European Conference on Structural Control*, Vienna University of Technology, Vienna, 33-36.
- Haberler-Weber, M., (2005). Analysis and interpretation of geodetic landslide monitoring data based on fuzzy systems, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **5**, 755–760.
- Tukey, J.W., (1977). Exploratory data analysis, Addison-Wesley, Reading, Mass, ISBN 0-201-07616-0. OCLC 3058187.
- Xuegong, Z., (2000). Takagi-Sugeno Fuzzy Logic versus Mamdani Fuzzy Logic, Intelligent & Adaptive Systems course Report, <http://www.cems.uwe.ac.uk/~xzhang/PDF/MSc/Fuzzy%20Logic.pdf>, (10.11.2006).
- Yılmaz, M. ve Arslan, E., (2006). *Application of Fuzzy Logic Theory to Geoid Height Determination*, in Kılıçoğlu, A. ve Forsberg, R., eds, *Gravity Field of the Earth*, Spec. Publ. Journal of Mapping, 18, 66-71, General Commander of Mapping, Ankara.
- Yılmaz, M. ve Arslan, E., (2007). Geoit Yüksekliğinin ANFIS ile Adım Adım Hesaplanması, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Ankara, **96**, 31-38.

Url-1: <http://ansiklopedi.turkcebilgi.com/Kantiller>, (13.05.2008).

Url-2: <http://www.anadoluarastirma.com/?p=118>, (15.05.2008).