

Bulanık Çıkarım Sistemleri ile Heyelan Bloklarının Belirlenmesi: Gürpınar Örneği

Mustafa ACAR¹, Michaela HABERLER-WEBER², Tevfik AYAN³

Özet

Heyelanlar, yaratmakta olduğu olumsuz etkilerden dolayı doğal afetler içinde önemli bir yer tutarlar. Etkin oldukları bölgede yerleşim yerlerine can ve mal kaybı şeklinde zarar vermekle beraber aynı zamanda ulaşım yolları (karayolları, demiryolları), bahçe veya ekili alanlar gibi ekonomik yapıları da etkilemeleri bakımından önemlidirler. Bu nedenle, heyelan hareketlerinin izlendiği deformasyon çalışmaları jeodezik çalışmalarda son derece önemli bir yer tutmaktadır.

Heyelan bölgeleri farklı yönlerde, farklı hızlarla hareket eden bloklara ayrılabilirler. Blok sınırlarının belirlenmesi, heyelan izleme çalışmalarının daha etkili bir biçimde gerçekleştirilmesinde ve heyelanların etkilerinin azaltılması çalışmalarında kullanılacak önemli bilgileri sağlar. Blokların bağıl hareketleri hakkındaki bilgi, blokların gelecekteki hareketlerinin çok önemli bir göstergesidir.

Koordinat dönüşümü haritacılıkta çok yaygın olarak kullanılan işlemlerden biridir. Dönüşümle bir koordinat sistemindeki noktaların koordinatları bir diğer sistemde elde edilebilir. Jeodezik çalışmalarda dönüşümün türü, dönüşümün amacına ve her iki sistemde koordinatları bilinen ortak nokta sayısına göre belirlenir. Blok sınırlarını belirlemek için, gözlem noktalarının yer değiştirme vektörleri afin dönüşümü ile analiz edilir. Farklı bloklardaki gözlem noktalarının belirlenmesi iteratif bir çözümle yapılır. Çözüm algoritmasının bazı adımları Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) ile gerçekleştirilebilir. BÇS'de girdi parametreleri olarak dönüşümden hesaplanan strain parametreleri, ve birim ağırlıklı standart sapma gibi veriler kullanılır.

Bu makalede, heyelan bloklarının BÇS ile belirlenmesinde izlenen yöntem açıklanmakta ve gerçekleştirilen bir uygulama örneğinin sonuçları verilmektedir.

Anahtar Sözcükler

Heyelanlar, Bulanık Çıkarım Sistemleri, Afin koordinat dönüşümü

Abstract

Determination of Landslide Blocks with Fuzzy Inference Systems: A Case Study: Gürpınar

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. Therefore deformation studies focusing on monitoring landslide movements are very important in geodetic investigations.

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 are used as input parameters.*

In this paper, the method for the determination of landslide blocks by FIS is explained and the results of a case study carried out using this method are discussed.

Keywords

Landslides, Fuzzy Inference System, Affine coordinate transformation

1. Giriş

Heyelanlar, vermiş olduğu zararlar nedeni ile yüksek maddi kayıplara yol açan ve pek çok insanın zarar görmesine neden olan başlıca doğal afetlerden bir tanesidir (HABERLER 2003). Bu yönüyle, heyelanlar, doğrudan ya da dolaylı olarak ülkelerin ekonomisini etkileyen en önemli doğa olaylarının başında gelmektedir. Türkiye de heyelan tehlikesi altında olan ülkelerden bir tanesidir. Heyelanlar çoğunlukla Karadeniz bölgesinin tamamında, Marmara, Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinin bir çok kesiminde meydana gelmektedir. Yol açtıkları zarar ve kayıplar göz önünde bulundurulduğunda heyelanlar ülkemizde depremlerden sonraki ikinci önemli doğa olayı konumundadır. Bu nedenle, heyelan hareketlerinin izlenmesi ülkemiz açısından önem taşımaktadır. Yüzey deformasyonları üzerindeki araştırmalar, heyelan sınırlarının ve büyüklüğünün belirlenmesi, hareketin seviyesinin tespiti, hareketin yönü ve kayan ana kütle üzerinde bireysel olarak hareket eden blokların belirlenmesi konularına odaklanmaktadır (ACAR vd. 2003).

¹Araş. Gör, acarmusta@itu.edu.tr

²Dr., michaela.haberler-weber@tuwien.ac.at, Viyana Teknik Üniversitesi, Jeodezi – Jeofizik Enstitüsü, Mühendislik Jeodezisi Çalışma Grubu, Viyana/Avusturya

³Prof. Dr., ayan@itu.edu.tr, İTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi Anabilim Dalı, Maslak/İstanbul

Heyelan izlenme çalışmalarında, farklı yönlerde hareket eden ve farklı hızlara sahip olan heyelan bloklarını belirlemek, bölgedeki hareketin geleceği hakkında bilgiye sahip olmak açısından çok önemlidir.

Blok sınırlarının belirlenmesi amacıyla; gözlem noktaları, afin koordinat dönüşümü ile irdelenir ve farklı bloklardaki gözlem noktaları yinelemeli çözümlerle değerlendirilir. Bu çalışmada uygulanan yaklaşım kapsamında, bu çözümün bazı adımları için başlangıç değerleri Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) ile hesaplanmaktadır. BÇS’de kullanılacak girdi parametrelerine dönüşümden hesaplanan strain (gerilme) parametreleri ile dönüşümün standart sapması örnek olarak verilebilir (HABERLER 2003).

Bu çalışmada, genellikle yazlık evlerin bulunduğu, Marmara denizi kıyısındaki Gürpınar (İstanbul) heyelan bölgesinde gerçekleştirilen, GPS ölçmeleri ile heyelan izleme projesinin verileri kullanılarak bölgedeki heyelan blokları BÇS ile belirlenmiştir.

2. Afin Koordinat Dönüşümü

Blok belirleme algoritması gözlem noktalarının deformasyon büyüklüklerine bağlıdır. Temel düşünce, ardışık iki ölçü periyodu arasında noktaların hareketlerini değerlendirmektir. Burada amaç benzer yönde harekete sahip olan noktalar grubunu bulmaktır (HABERLER 2003). Jeodezik deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde serbest ağ dengelemesi kullanılır. Her periyot ölçülerinde ağın datum parametreleri dengeleme hesabı içinde belirlendiğinden iki farklı periyot ölçüsünden elde edilen koordinatlar doğrudan doğruya birbiri ile karşılaştırılmaz (AKYILMAZ 2001). Bunun için periyotlar arasında afin koordinat dönüşümü uygulanarak k epoğundaki noktaların koordinatları, $k+1$ epoğundaki aynı noktaların koordinatlarına dönüştürülür. Aynı yönde hareket eden noktalar grubu (bir ortak blok üzerinde oldukları varsayılarak), afin dönüşümünde birbirleri arasında uyumlu olarak küçük düzeltme değeri ve küçük standart sapma (s_0) değerlerine sahip olacaklardır. Noktaların farklı bloklarda bulunması halinde ise, aynı anda standart sapma değerinin büyüyeceği dikkate alınmıştır.

Afin koordinat dönüşümünde, birinci sistem x_k, y_k eksenlerinin birbirine dik olmayabileceği varsayımı yapılır (AYAN 2003) ve iki koordinat sistemi arasındaki matematiksel ilişki (Şekil 1),

$$\begin{aligned} y_{k+1} &= ay_k + bx_k + c \\ x_{k+1} &= dy_k + ex_k + f \end{aligned} \quad (1)$$

eşitlikleriyle ifade edilir (HABERLER 2003). Burada,

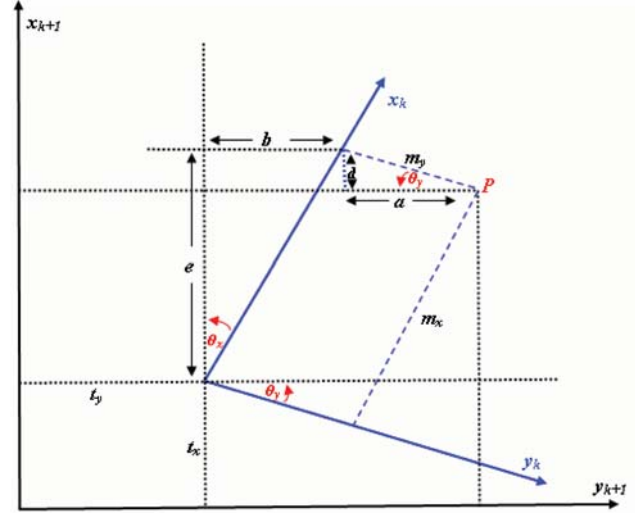
y_k, x_k : k epoğundaki koordinatlar

y_{k+1}, x_{k+1} : $k+1$ epoğundaki koordinatlar

a, b, c, d, e, f : dönüşüm parametreleridir.

Bu denklem sistemini çözmek için, her iki koordinat sisteminde koordinatı bilinen üç nokta gereklidir. Dönüşüm parametrelerin

En Küçük Kareler (EKK) yöntemine göre kestirimi için dönüşümde genellikle yeterinden fazla sayıda ortak nokta kullanılır. Afin koordinat dönüşümünde bu durumda en az ortak dört noktaya ihtiyaç vardır. Bu nedenle, çözüme en küçük blok boyutu olan dört nokta ile başlanır.



Şekil 1: İki boyutlu afin dönüşümü

Altı dönüşüm parametresi (a, b, c, d, e, f), iki öteleme (t_x, t_y), iki dönüklük (θ_x, θ_y) ve iki ölçek parametresi (m_x, m_y) olarak isimlendirilir:

$$\begin{aligned} a &= m_y \cos \theta_y, b = m_x \sin \theta_x, c = t_y \\ c &= -m_y \sin \theta_y, e = m_x \cos \theta_x, f = t_x \end{aligned} \quad (2)$$

Altı parametrelilik yaklaşım heyelanların özel niteliklerinden dolayı seçilmiştir. Blok hareketi, bir öteleme ve bir dönme ile tanımlanabilir. Genellikle, hareket yönündeki distorsiyon diğer yönlerden daha büyüktür. Bu nedenle, ikinci bir ölçek parametresi, tam olarak anizotropik gerilme (strain) durumunu tanımlamak için gereklidir (HABERLER 2003, HABERLER ve KAHMEN 2003).

Küçük yer değiştirmeler (displacement) nedeniyle, altı dönüklük parametresi genellikle anlamlı olmayabilir. Örneğin bu parametreler dışında birkaç bloğun arasında belirgin fark olması olası değildir. Öte yandan, afin dönüşümü aynı yapıda (homojen) ve çok küçük gerilmelerin (infinitesimal strain) varsayıldığı bir gerilme (strain) analizine benzerdir. Strain 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 (AKTUĞ 2007). Dönüşüm parametreleri, strain parametresi bileşenleri e_{xx}, e_{yy} (sırasıyla x ve y ekseninde birim uzunluktaki değişim oranı) ve türetilen dönme açısı (\dot{u}) arasında doğrudan bir ilişki vardır:

$$d_{x_{k+1}} = x_{k+1} - x_k = t_x + e_{xx} \cdot x_k + e_{xy} \cdot y_k + \omega \cdot y_k \quad (3)$$

$$d_{y_{k+1}} = y_{k+1} - y_k = t_y + e_{yx} \cdot x_k + e_{yy} \cdot y_k - \omega \cdot x_k$$

$$d = A \cdot x \quad (4)$$

bu eşitlikte;

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x & y & 0 & y \\ 0 & 1 & 0 & x & y & -x \end{pmatrix}$$

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

Strain parametreleri koordinat sistemine bağlı olduğu için,

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy} + e) \\ e_2 &= \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy} - e) \\ \tan 2\theta &= \frac{2e_{xy}}{e_{xx} - e_{yy}} \\ e &= \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2} \end{aligned} \quad (5)$$

Gerilme (strain) parametrelerinin daha güzel bir açıklaması, strain elipsleri (Tissot indicatrix) olarak ifade edilen, temel strain eksen sistemindeki dönüşüm ile sağlanır. Strain elipsinin bileşenleri (yarı eksenler e_1 , e_2 ve maksimum strain oranının yönü ω) jeodezik nokta hata elipsleriyle benzeşen strain bileşenlerinden hesaplanır (HABERLER 2003).

3. Bulanık Çıkarım Sistemleri

Bulanık Çıkarım Sistemleri 1960'ların ortalarında Lotfi Zedah tarafından mantık ve olasılık teorisine alternatif olarak geliştirilmiştir (URL 2). Bulanık Çıkarım Sistemleri ilkelerinin klasik kümelerden 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.

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, YILMAZ 2005, YILMAZ ve ARSLAN 2007);

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

Son yıllarda, Bulanık Çıkarım Sistemleri ve Yapay Sinir Ağları gibi bilgiye dayalı (knowledge-based) modern teknikler jeodezide de kullanılmaya başlanmıştır. Bu tekniklerin en önemli avantajı daha esnek bir hesap algoritmasına sahip olması ve dolayısıyla daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesini sağlamalarıdır. Jeodezide bugüne dek üzerinde durulmamış ya da çözülememiş problemler, günümüzde bu yeni teknikler kullanılarak daha ileri düzeyde araştırılmaktadır (HABERLER 2004).

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 (AKYILMAZ 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 2004, HABERLER-WEBER 2005).

3.1 Jeodezik Parametreler

Afın dönüşümünün sonuçları, BÇS'de girdi değişkeni (belirleyici) olarak kullanılır. Bu belirleyicilerin bazıları aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir:

- Birim ağırlığın standart sapması s_0 , blok özelliklerinin ilk değerlendirmesi için kullanılır. Araştırmalar göstermiştir ki, özellikle bir adımdan diğer adıma geçişte s_0 'nın değişim oranı, bloğun doğru olup olmadığının değerlendirilmesi için çok önemli ve kaliteli bir belirleyicidir.
- BÇS'de kullanılacak diğer parametreler strain elipslerinin iki yarı eksenleridir (TISSOT endikatris e_1 , e_2). Bir nokta araştırılan bloğa ait olmadığı takdirde, e_1 ve e_2 anlamlı olarak daha da büyük olur. Burada, mutlak değerler ve iterasyonun sonraki iki adımı arasındaki değişim oranı kullanılmıştır.
- Araştırmalar, doğru ve doğru olmayan blokları birbirinden ayırmak için düzeltmelerin iyi bir gösterge olduklarını göstermiştir. Burada doğru blok ile kastedilen bütün noktaların tek bir bloğa ait olmaları, yanlış blok olarak

kastedilen ise komşu bloğa ait bir noktanın belirlenen blokta bulunması durumudur. *Interquartile range* (çeyrek değerler genişliği) (araştırma ile ilgili veri analizinde kullanılan) dönüşümün her adımında düzeltmelerin değişiminin bir kestirimini verir (ayrıntılı bilgi için HABERLER 2003 ve HABERLER ve KAHMEN 2003'e bakınız). Örnek olarak Şekil 2'de, beş sözel ifadeli BÇS'nde girdi değişkeni e_1 'in modellenmesi gösterilmektedir (HABERLER-WEBER 2004, HABERLER-WEBER 2005)

3.2 Görsel Parametreler

Uzman olmayan insanlar dahi, kolay bir şekilde yer değiştirme vektörü grafiklerine bakarak, benzer hareket modeli bloklarını belirleyebilirler. Bir taraftan yer değiştirme vektörlerinin büyüklüğü ve yönlerinin benzerlikleri, diğer taraftan ise komşuluk özellikleri değerlendirilir. Bu yetenek, blok belirleme algoritması için kullanılır. Jeodezik parametrelerin yanında, iki sezgisel belirleyici, BÇS'de kullanılır

- Yer değiştirme vektörlerinin yönü ilk önemli bir girdi değişkeni olarak kullanılır. Açıkça görülmektedir ki, insan

düşüncesine göre, sadece benzer yönlere sahip vektörler ortak bir bloğa ait olabileceklerdir.

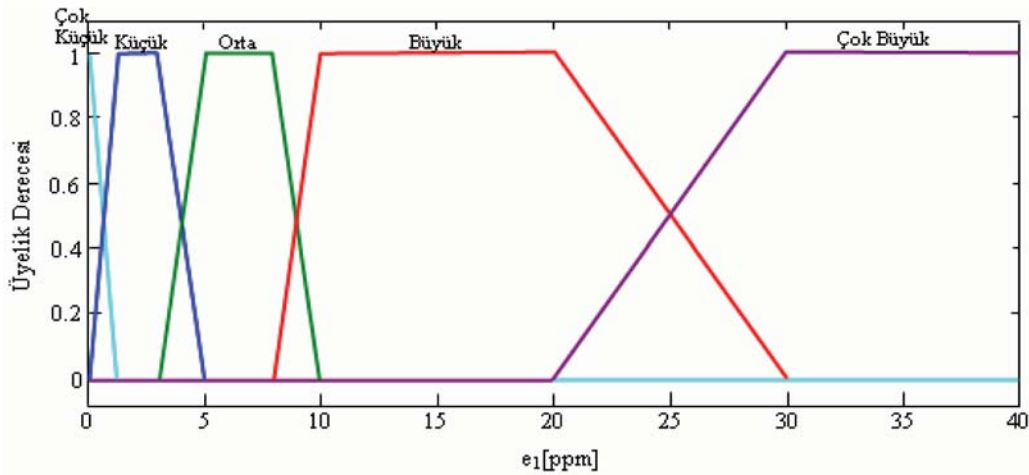
- Yer değiştirme vektörlerinin büyüklüğü de önemli bir belirleyicidir. Daha önce olduğu gibi, eğer yer değiştirme vektörlerinin uzunlukları benzer ise iki ya da daha fazla vektörün benzer oldukları söylenir.

Vektörlerin yön ve uzunluklarının kombinasyonu hangi noktaların aynı hareket tarzına sahip olduklarını belirlemek açısından belirleyici bir unsurdur.

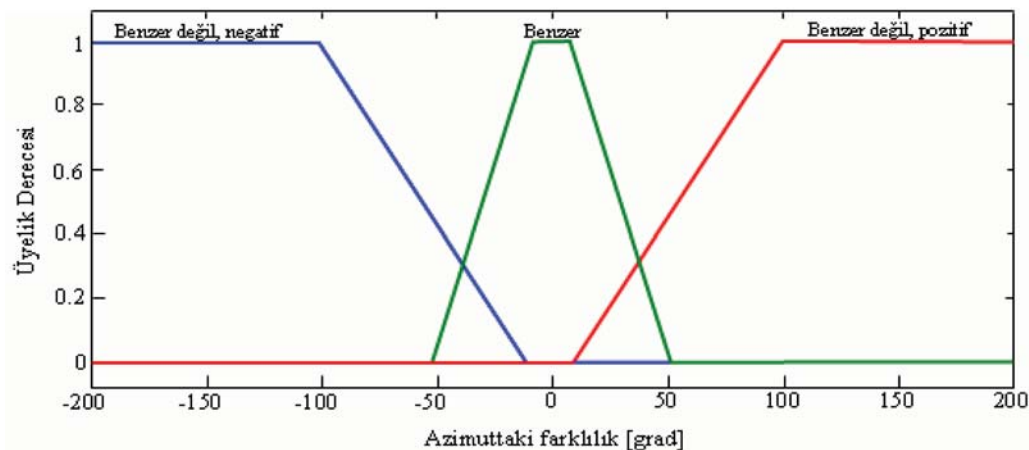
Aşağıdaki örnek yön değişkenlerinin modellenmesini göstermektedir (Şekil 3). Çalışma bölgesinde, noktalara ait deformasyon vektörlerinin yönleri $\pm 15^\circ$ aralığında ise bu durum Bulanık Mantık Yöntemi BMY'de noktaların "benzer" yönde hareket ediyor olarak değerlendirilir (HABERLER 2004, HABERLER-WEBER 2005).

3.3 Blok Belirleme Algoritması

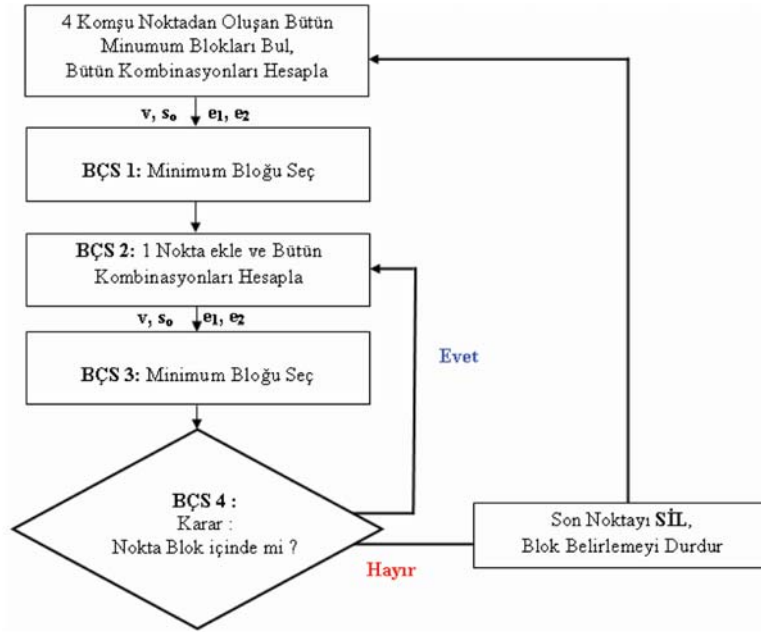
Blok belirleme algoritması, dört komşu noktadan oluşan tüm olası blokların bulunması ile başlar (Şekil 4). Noktalar arasındaki komşuluklar Delaunay üçgenleme yöntemi ile belirlenir.



Şekil 2 : 5 Sözel terimli BMY'de girdi değişkeni e_1 'in modellenmesi (HABERLER-WEBER 2004)



Şekil 3 : 3 Sözel terimli BMY'de girdi değişkeni "deformasyon vektörünün yönü"nü modellenmesi (HABERLER-WEBER 2004)



Şekil 4: Blok belirleme algoritmasının genel şeması (HABERLER 2003)

Her bir blok belirlemesi için en az dört nokta gereklidir. En uygun 4 noktalı bloğun seçilmesinden sonra, bu bloğa komşu en uygun noktalar birer birer eklenerek bu bloğa ait bütün 5 noktalı kombinasyonlar hesaplanır. Blokla uyuşan, minimum standart sapmaya (birim ağırlık) ve uygun strain 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 noktanın blok için uygun nokta olmadığı reddedilinceye kadar sürdürülür. Bu durumda reddedilen nokta bloktan silinir ve kalan noktalar arasında diğer en uygun blok belirlemesine geçilir. Algoritma, mevcut parametreler ve görevlerine göre dört farklı BÇS kullanır:

1) Algoritmanın ilk adımında, 4 noktalı kombinasyonlar oluşturulur. BÇS “1” karesel ortalama hata (s_0) parametresi ile farklı olasılıklarını, strain elipsleri e_1 ve e_2 ’nin eksenlerini, dört yer değiştirme vektörünün yön ve büyüklüğünü değerlendirir. En uygun kombinasyon başlangıç bloğu olarak seçilir.

2) 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 , yer değiştirme vektörlerinin büyüklüğü ve yönü parametrelerinin tekrar değerlendirilmesi ile en uygun noktayı seçmek zorundadır.

3) BÇS “2” sadece birkaç olasılığın dışında en uygun kombinasyonu seçer. Eğer “Adım 2”de sağlanan en uygun çözüm hala geçerli bir blokta, BÇS “3” “Değerlendirme”, 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. 4) 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 (HABERLER-WEBER 2004, HABERLER-WEBER 2005).

4. Sayısal Uygulama

Heyelan izleme projesi, İstanbul’un güneybatısında bulunan Gürpınar Beldesi sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Proje alanında, geoteknik araştırmalar yapılmaksızın binalar ve çoğunlukla yazlık evler inşa edilmiş fakat binaların tamamlanmasından sonra heyelanın bir sonucu olarak binalarda önemli hasarlar meydana gelmiştir. Heyelanın etkilerini araştırmak için, yerleşim alanlarının içinde ve çevresinde, bir heyelan izleme projesi gerçekleştirilmiştir (ACAR vd. 2003, ACAR vd. 2004).

Heyelan alanında noktaların deformasyon bileşenlerini belirlemek için 21 noktadan oluşan bir deformasyon ağı kurulmuştur. Kontrol noktaları, heyelan bölgesinin dışındaki sabit alanlarda tesis edilmiştir. Deformasyon noktalarının yerleri heyelan bölgesindeki geoteknik araştırmalara göre belirlenmiştir.

Anılan projede kullanılan jeodezik ölçmeler, Temmuz 1996 ile Mart 1998 tarihleri arasında 4 periyot olarak gerçekleştirilen GPS ölçmeleridir.

Bu çalışmada anılan proje kapsamında gerçekleştirilen ölçülerden Temmuz 1996 ve Mart 1997 GPS ölçüleri değerlendirilmiştir. GPS verileri 6 Leica SR399 ve 4 Trimble SSI alıcısı ile hızlı statik yöntemle toplanmıştır. GPS gözlemleri

her periyotta 10 dakikalık 2 oturum (session) olarak gerçekleştirilmiştir (ACAR vd. 2004). Veriler Leica Geo-Office (LGO) ticari yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Önceki bölümlerde açıklanan blok belirleme algoritmasını test etmek için, Temmuz 1996 ve Mart 1997 yıllarındaki GPS ölçmelerinin değerlendirme ve dengelemesinden sonra, statik deformasyon analizi, CODEKA 3D statik deformasyon analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deformasyon analizinin sonucunda elde edilen yer değiştirme vektörlerinin büyüklükleri ve yönleri Şekil 5'te görülmektedir. 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 analiz sonucunda anlamlı hareket bulunmamıştır.
- 2. Noktalar Grubu: orta büyüklükte yer değiştirme vektörlerine sahip olan noktalardan oluşmaktadır. Büyük deformasyon vektörlerinin arka kısmındaki bölgedeki noktalardır ve hareket yönü karadan denize doğrudur. Deformasyon vektörlerinin büyüklükleri 2 – 6 cm arasında değişmektedir
- 3. Noktalar Grubu: büyük yer değiştirme vektörlerine sahip olan noktalardır. Denize yakın bölgedeki noktalardan oluşmaktadır ve hareket yönü karadan denize doğrudur. Deformasyon vektörlerinin büyüklükleri 15 – 26 cm arasında değişmektedir.

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

Daha önce de vurgulandığı gibi, blok belirleme algoritmasında kullanılan afin dönüşümü için dört nokta gereklidir. Bu nedenle, çözüm algoritması, en küçük blok boyutu olan dört nokta ile başlamıştır. Birinci en küçük bloğu bulmak için, dört komşu noktadan oluşan dört noktalı bütün kombinasyonlar hesaplanmıştır. Bu kombinasyonlar içinde karesel ortalama hata, strain parametreleri e_1 ve e_2 değerleri, deformasyon vektörlerinin yönü gibi değerler de dikkate alınarak ilk en küçük blok, (102-103-120-125) numaralı noktalardan oluşan (Tablo 1) karesel ortalama hatası ± 2.58 mm, e_1 (ppm) = 5.57, e_2 (ppm) = 0.04, ve BÇS çıktı değeri = 0.8590 olan blok olarak belirlenmiştir. Bir sonraki adımda, bu bloğa dahil olabilecek beşinci en uygun komşu nokta

araştırmasına geçilmiştir. Hesaplamalar sonunda bloğa dahil edilebilecek en uygun komşu nokta ± 1.90 mm karesel ortalama ve 0.7104 BÇS çıktı değerine sahip olan 117 numaralı nokta olarak belirlenmiştir. Aynı algoritma kullanılarak, sırası ile 112, 106, 119, 107 noktaları daha sonra bu bloğa dahil olan noktalardır. Bu noktaların dahil edilmesinden sonra bu bloğa dahil olabilecek komşu noktalar araştırıldığında, bloğa 118 numaralı nokta dahil edildiğinde karesel ortalama hata, ± 2.59 mm'den ± 7.96 mm'ye çıkmakta, deformasyon vektörlerinin yönü yaklaşık 55° farklılaşmakta, BÇS çıktı değeri 0.8590'dan 0.4976'a düşmektedir ve bloğa 105 numaralı nokta dahil edildiğinde ± 2.59 mm'den ± 10.20 mm'ye yükseldiği, deformasyon vektörlerinin yönünün yaklaşık 125° farklılaştığı, BÇS çıktı değerinin 0.8590'dan 0.4774 düşmekte olduğu görülmüştür. Bu da ilk bloğa eklenecek uygun nokta kalmadığını göstermektedir.

Birinci blok artık tamamlanmıştır. Kalan noktalar arasında, ikinci en küçük blok araştırmasına başlanmış ve hesaplamalar sonunda, ± 0.78 mm karesel ortalama hata e_1 (ppm) = 202.586, e_2 (ppm) = 171.94, ve BÇS çıktı değeri = 0.7331 ile (105-116-130-999) noktalardan oluşan blok belirlenmiştir (Tablo 2). Bu bloğun karesel ortalama hata değeri küçük olmasına rağmen, noktalardaki deformasyon vektörlerinin büyüklüğünün 2- 6 cm arasında değişmesi nedeniyle strain parametresi bileşenleri e_1 ve e_2 değerlerinin büyük ve BÇS ile elde edilen çıktı değerinin küçük olması, noktalardaki deformasyonların büyük olması nedeni ile ilk adımda en uygun blok olarak seçilmeme nedenidir. Bu bloğa dahil olabilecek en uygun nokta araştırması sonucunda, sırasıyla 110, 101 ve 118 nolu noktaların bu bloğa dahil edilebilecekleri sonucu elde edilmiştir. 118 numaralı noktadan sonraki en uygun noktayı hesaplamak için komşu noktalardan 115 numaralı nokta dahil edildiğinde karesel ortalama hata değeri ± 17.85 mm'den ± 39.71 mm'ye deformasyon vektörlerinin büyüklüklerinin yaklaşık 15 cm değiştiği, vektörlerin yönünün yaklaşık 75° farklılaştığı, strain parametre değerleri e_1 (ppm) = 437.42, e_2 (ppm) = 0.59 olarak büyüdüğü, BÇS çıktı değerinin 0.7331'den 0.4558'e düşmekte olduğu görülmüştür. Bloğa, 123 numaralı nokta dahil edildiğinde ise karesel ortalama hata ± 60.50 mm'ye çıkmakta, deformasyon vektörlerinin büyüklüğü bir önceki noktadaki gibi aynı oranda artmakta, deformasyon vektörlerinin yönü farklılaşmakta, e_1 (ppm) = 523.17, e_2 (ppm) = 1.41 olarak büyüdüğü, BÇS çıktı değerinin 0.7331'den 0.4197'ye düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlardan da ikinci blok nokta seçimi tamamlanmış olmaktadır.

Tablo 1: Dört noktalı minimum blok ile başlayan iterasyonun farklı adımlarının sonuçları (Birinci blok için)

Iterasyon Sayısı	Asıl Bloğa Eklenen Noktalar									s_0 (mm)	BÇS Çıktı Değeri
1	102	103	120	125						2.58	0.8590
2	102	103	120	125	117					1.90	0.7104
3	102	103	120	125	117	112				1.97	0.6937
4	102	103	120	125	117	112	106			2.28	0.7063
5	102	103	120	125	117	112	106	119		2.06	0.6912
6	102	103	120	125	117	112	106	119	107	2.59	0.6750

Tablo 2: Dört noktalı minimum blok ile başlayan iterasyonun farklı adımlarının sonuçları (İkinci blok için)

İterasyon Sayısı	Asıl Bloğa Eklenen Noktalar							s_0 (mm)	BÇS Çıktı Değeri
1	105	116	130	999				0.78	0.7331
2	105	116	130	999	110			17.58	0.5861
3	105	116	130	999	110	101		16.42	0.4783
4	105	116	130	999	110	101	118	17.85	0.4627

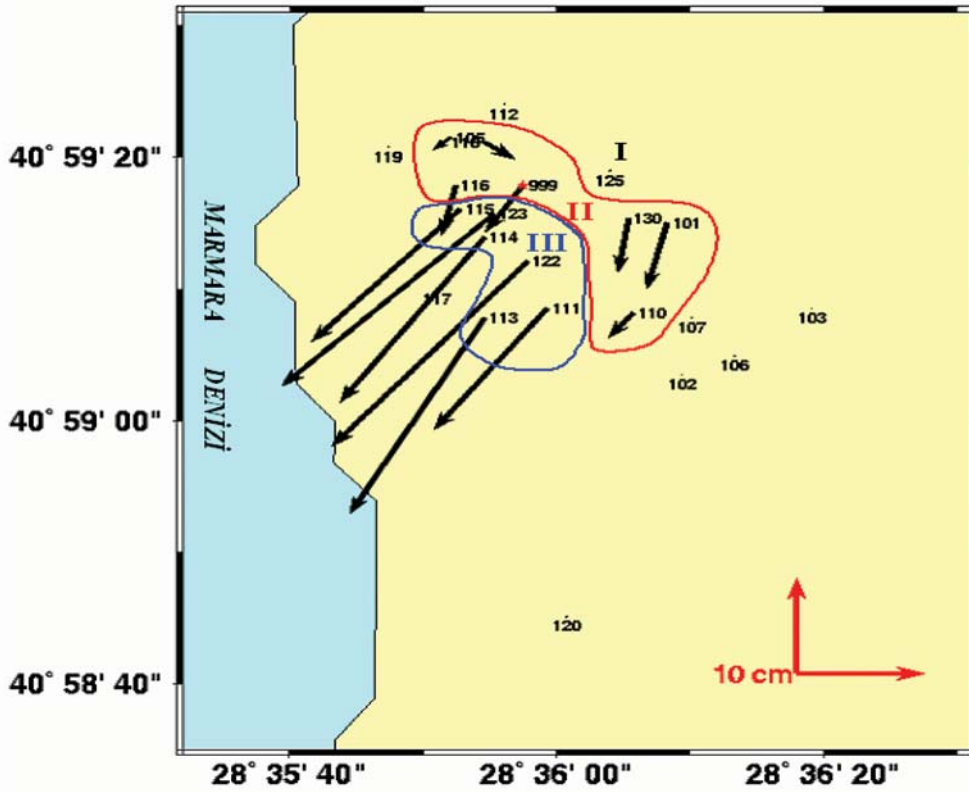
Birinci ve ikinci blokların tamamlanmasından sonra, kalan noktalar arasında üçüncü en uygun blok araştırmasına geçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre (113-114-115-122) numaralı noktalardan oluşan ± 10.42 mm karesel ortalama hata, e_1 (ppm) = 42.50, e_2 (ppm) = 300.37 ve 0.6291 BÇS çıktı değerine sahip olan blok üçüncü blok olarak belirlenmiştir.

Bu bloğa eklenecek sonraki uygun nokta 123 numaralı nokta ve kalan son nokta olan 111 numaralı noktadır. Bundan sonra başka nokta kalmadığı için bu işlem sonlandırılmıştır (Tablo 3).

Değerlendirme sonucunda bulunan bloklar ve yer değiştirme büyüklükleri vektörel olarak Şekil 5'te gösterilmektedir.

Tablo 3: Dört noktalı minimum blok ile başlayan iterasyonun farklı adımlarının sonuçları (Üçüncü blok için)

İterasyon Sayısı	Asıl Bloğa Eklenen Noktalar						s_0 (mm)	BÇS Çıktı Değeri
1	113	114	115	122			10.42	0.6291
2	113	114	115	122	123		16.89	0.6688
3	113	114	115	122	123	111	34.83	0.5029

**Şekil 5:** Deformasyon vektörlerinin grafik gösterimi

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, heyelan bloklarını belirlemek için, afin koordinat dönüşümünden elde edilen değerler, BÇS’de girdi değişkeni olarak kullanılmış ve çıktı parametresi sonuçlarına göre çalışma alanındaki heyelan blokları belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre belirlenen ilk blok; proje alanını çevreleyen ve proje alanı dışında bulunan (6, 102, 103, 106, 107, 112, 117, 119, 120, 125) numaralı noktalardan oluşmuştur. Bu noktalar bloğu, daha öncede belirtildiği şekilde statik deformasyon analizi sonucunda anlamlı hareket bulunmayan noktalardır. Belirlenen ikinci blok ise farklı iki bölgede toplanmış olan (105, 116, 118) ve (101, 110, 130) numaralı noktalar ile komşuluk oluşturması için türetilen 999 numaralı noktalardan oluşmaktadır. 999 numaralı nokta yardımıyla oluşturulmuş komşuluk ilişkisi ile bu noktaların tek bir blok üzerinde olduğu belirlenmiştir. Belirlenen son blok ise, denize yakın bölgede ve en büyük yer değiştirme vektörlerine sahip olan (111, 113, 114, 115, 122, 123) numaralı noktalardan oluşmuştur. Çalışmada kullanılan algoritma, klasik deformasyon analizinin daha da geliştirilmiş bir halidir. Algoritma, hem strain analizi hem de görsel değerlendirmeler geometrik olduğu için sadece geometrik bir analizdir. Zemin mekaniği gibi fiziksel parametreler dikkate alınmamıştır. Fiziksel ve jeolojik parametrelerin dikkate alınması BÇS’nin genişletilmesi ile mümkündür. Bu tür verilerin kullanımının heyelanın karakterinin belirlenmesi açısından önemli katkı sağlayacağı açıktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın Viyana Teknik Üniversitesi’nde gerçekleşmesi için birinci yazar Mustafa ACAR’ı Yurt Dışı Araştırma Burs Programı kapsamında destekleyen Türkiye Bilimsel Teknik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz. Ayrıca, CODEKA 3D deformasyon analizi yazılımını, İTÜ Jeodezi anabilim Dalı’nın kullanımına izin veren Karlsruhe Üniversitesi Jeodezi Enstitüsü ve Gürpınar deformasyon ölçmeleri projesinin ortağı olan Darmstadt Teknoloji Üniversitesi, Fiziksel Jeodezi Enstitüsü’nde teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- ACAR M., ÖZLÜDEMİR M.T., ÇELİK R.N., EROL S. ve AYAN, T., **Investigation of Deformations on Landslides with Kinematic Model**, Proceedings of Modern Technologies, Education and Professional Practice in The Globalizing World, Sofia, Bulgaria, 6- 7 November 2003, s.89-98, 2003.
- ACAR M., ÖZLÜDEMİR M.T., ÇELİK R.N., EROL S. ve AYAN, T., **Landslide Monitoring Through Kalman Filtering: A Case Study in Gürpınar**, XXth ISPRS Congress, Vol. VII, s. 682-685, İstanbul, Turkey, 12- 23 July 2004.
- AKYILMAZ O., **Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- AKYILMAZ O., **Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları**, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- AYAN T.: **Dengeleme hesabı**, Lisans ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2001.
- HABERLER M., **A Fuzzy System for the Assessment of Landslide Monitoring Data**; A Window on the Future of Geodesy, Proceedings of the International Association of Geodesy, IAG General Assembly, s. 95 – 100, Sapporo, 30 June- 11 July 2003.
- HABERLER M., KAHMEN H., **Detection of Landslide Block Boundaries by means of an Affine Coordinate Transformation**, Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece, 25-28 May 2003, s. 355-361, 2003.
- HABERLER M., **A Fuzzy System for the Analysis of Geodetic Landslide Monitoring Data**, Proceedings of the Third European Conference on Structural Control, s. 33-36, Vienna University of Technology, Vienna, 12-15 July 2004.
- HABERLER-WEBER M., **Analysis and interpretation of geodetic landslide monitoring data based on fuzzy systems**, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5 (2005), s. 755–760.
- TURGUT B., İNAL C., **Nokta Konum Duyarlıklarının İki ve Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümüne Etkisi**, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, s.155-161, Konya, 24- 26 Eylül 2003.
- UZUN S., **Grid Bölmeli Paftalarda, Sayısallaştırma Modelleri ve Sayısallaştırılmış Harita Bilgilerinin Güvenirlik Analizleri**, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- YILMAZ M., **İstanbul Metropolitan Alanında Geoit Araştırması**, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- YILMAZ M., ARSLAN E., **Geoit Yüksekliğinin ANFIS ile Adım Adım Hesaplanması**, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 96 (2007), s. 31-38, Ankara.
- URL1: Bahadır Aktuğ web sayfası, <http://www.bahadiraktug.com>, Ekim 2007.
- URL2: WİKİPEDİ (Özgür Ansiklopedi) web sayfası, http://tr.wikipedia.org/wiki/Matematiksel_mant%C4%B1k, Temmuz 2007.