

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HEYELANLARIN İZLENMESİNDE
ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

**DOKTORA TEZİ
Mustafa ACAR**

Anabilim Dalı : Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Programı : Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

ŞUBAT 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HEYELANLARIN İZLENMESİNDE
ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

**DOKTORA TEZİ
Mustafa ACAR
(501012188)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Şubat 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tevfik AYAN
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Rahmi N. ÇELİK (İTÜ)
Prof. Dr. Tamer ÜNAL (YTÜ)
Prof. Dr. Rasim DENİZ (İTÜ)
Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL (YTÜ)**

ŞUBAT 2009

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince bilgi ve deneyimiyle bana yön veren, bu eserin ortaya çıkmasında büyük katkı sağlayan değerli hocam sayın Prof. Dr. Tevfik AYAN'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca bana olan yapıcı eleştiriler ve önerilerinden dolayı sayın Doç. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK'e, Prof. Dr. Rasim DENİZ'e, Prof. Dr. Tamer Ünal'a ve Doç. Dr. Orhan AKYILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın bir kısmını gerçekleştirdiğim Viyana Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Jeofizik Enstitüsü, Mühendislik Jeodezisi Çalışma Grubunda, bana rahat bir çalışma ortamı sağlayan Prof. Dr. Harald SCHUH'a, Heyelen Bloklarının Bulanık Çıkarım Sistemleri ile Belirlenmesi ve (Quasi) 3D blok belirleme yazılımının geliştirilmesinde bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen sayın Dr. Michaela HABERLER-WEBER'e, çalışmalarımı gerçekleştirdiğim süreçte bana gülyüzlerini ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Dr. Emine TANIR, Yük. Müh. Kamil TEKE ve Dr. Robert HEINKELMANN'a da teşekkür ederim.

Ayrıca, her konuda desteğini ve yardımını gördüğüm Yrd. Doç. Dr. Tevfik ÖZLÜDEMİR'e, pek çok anıyı paylaştığımız oda arkadaşlarım Dr. Serdar EROL'a ve Araş. Gör. Hüseyin MERCAN'a da çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan ve bana her konuda destek olan anne ve bugün hayatta olmayan babama, çalışmalarım boyunca desteğini ve sabrını esirgemeyen değerli eşim Yıldız'a, sevinç kaynağımız kızımız Ceren'e şükranlarımı sunarım.

Aralık 2008

Mustafa ACAR
Araştırma Görevlisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. MATEMATİK TEMELLER	5
2.1 Gauss-Markoff Modeli	5
2.2 Toplam En Küçük Kareler Kestirimi	7
2.3 Dönüşüm	15
2.3.1 Üç boyutlu Helmert (benzerlik) dönüşümü	15
2.3.2 Afin dönüşümü	19
2.4 Gerilme Analizi	21
2.4.1 Genel bilgiler	21
2.4.2 Gerilme analizi yöntemi	22
2.4.3 Afin dönüşümü ve gerilme analizi	22
2.4.4 Deformasyon gradyentinin hesaplanması	27
2.5 Voronoi Diyagramı Ve Delaunay Üçgenlemesi	28
2.6 Bulanık Sistem İle Modelleme	31
2.6.1 Genel Bilgiler	31
2.6.2 Üyelik fonksiyonları	33
2.6.3 Bulanıklaştırma	34
2.6.4 Üyelik derecesi ataması	34
2.6.5 Bulanık aritmetik	35
2.6.6 Durulaştırma	36
2.6.7 Bulanık çıkarım sistemleri (BÇS)	37
2.6.8 Bulanık çıkarım sistemi modelleri	39
2.6.8.1 Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemleri	39
2.6.8.2 Takagi-Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemleri	40
2.6.9 Uyarlanabilir bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)	40
2.7 Kartiller Arası Fark	43
3. DEFORMASYON ANALİZİ	49
3.1 Genel Bilgiler	49
3.2 En Küçük Kareler Kestirimi İle Deformasyon Analizi	54
3.2.1 Global uygunluk testi	54
3.2.2 Deformasyon büyüklüklerinin bulunması ve lokalizasyon	55
3.3 Toplam En Küçük Kareler Kestimi İle Deformasyon Analizi	56
3.3.1 Toplam en küçük kareler kestirimi ile 3D koordinat dönüşümü	56
3.3.2 Üç boyutlu dönüşümde hata yayılması	59
3.3.3 Deformasyon büyüklüklerinin belirlenmesi	60

4. UYGULAMALAR	63
4.1 Çalışma Alanı ve Kontrol Ağı	63
4.1.1 Genel bilgiler	63
4.1.2 Bölgenin jeolojik özellikleri	65
4.1.3 Kontrol Ağı	68
4.2 Ölçmeler	70
4.2.1 Yersel ölçmeler	70
4.2.2 GPS ölçmeleri	72
4.2.3 GPS kampanya değerlendirmeleri	73
4.3 Deformasyon Analizi	76
4.3.1 En küçük kareler kestirimi ile analiz	76
4.3.2 Toplam en küçük kareler kestirimi ile analiz	81
4.3.3 EKK ve TEKK yöntemlerinin karşılaştırılması	86
4.4 Analiz Yöntemi Olarak Heyelan Bloklarının Saptanması	86
4.4.1 Genel bilgiler	86
4.4.2 Blok Belirleme Algoritması	91
4.4.3 Yatay hareket blokları	96
4.4.4 Düşey hareketler blokları	104
4.5 Heyelan Yorumları	109
4.5.1 Kaymalar	109
4.5.2 Gürpınar bölgesinde heyelan tipi belirleme çalışmaları	111
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	127
EKLER	137
ÖZGEÇMİŞ	161

KISALTMALAR

ANFIS	: Uyarlanabilir Bulanık Çıkarım Sistemi
BÇS	: Bulanık Çıkarım Sistemleri
BÇSÇD	: Bulanık Çıkarım Sistemleri Çıktı Değeri
EKK	: En Küçük Kareler
EMÖ	: Elektronik Mesafe Ölçer
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GTEKK	: Genelleştirilmiş Toplam En Küçük Kareler
1D	: Bir Boyutlu
2D	: İki Boyutlu
3D	: Üç Boyutlu
KAF	: Kartiller Arası Fark
GPS	: Global Konum Belirleme Sistemi
LGO	: Leica Geo Office
QR	: QR Factorization
RINEX	: Receiver INdependent EXchange
TDA	: Tekil Değer Ayrıştırması
TEKK	: Toplam En Küçük Kareler
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Yersel ölçme sonuçlarının özeti.	72
Çizelge 4.2 : GPS ölçmelerinin özeti.....	73
Çizelge 4.3 : GPS ölçmeleri dengelemesi istatistiksel değerleri.	76
Çizelge 4.4 : I. ve II. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.	77
Çizelge 4.5 : I. ve II. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.	77
Çizelge 4.6 : I. ve II. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.....	77
Çizelge 4.7 : II. ve III. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.	78
Çizelge 4.8 : II. ve III. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.	78
Çizelge 4.9 : II. ve III. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.....	79
Çizelge 4.10 : III. ve IV. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.	80
Çizelge 4.11 : III. ve IV. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.	80
Çizelge 4.12 : III. ve IV. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi. .	80
Çizelge 4.13 : I. ve II. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.	82
Çizelge 4.14 : I. ve II. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.	82
Çizelge 4.15 : I. ve II. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.	83
Çizelge 4.16 : II. ve III. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.	83
Çizelge 4.17 : II. ve III. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.	84
Çizelge 4.18 : II. ve III. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.	84
Çizelge 4.19 : III. ve IV. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.	85

Çizelge 4.20 : III. ve IV. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.	85
Çizelge 4.21 : III. ve IV. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.	85
Çizelge 4.22 : Başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri.	98
Çizelge 4.23 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 1. aday noktalara ait hesaplamalar.	98
Çizelge 4.24 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 2. aday noktalara ait hesaplamalar.	99
Çizelge 4.25 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 3. aday noktalara ait hesaplamalar.	99
Çizelge 4.26 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 4. aday noktalara ait hesaplamalar.	100
Çizelge 4.27 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 5. aday noktalara ait hesaplamalar.	101
Çizelge 4.28 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 6. aday noktalara ait hesaplamalar.	101
Çizelge 4.29 : İkinci başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri.	102
Çizelge 4.30 : İkinci başlangıç bloğuna dahil olabilecek 1. aday noktalara ait hesaplamalar.	102
Çizelge 4.31 : Üçüncü başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri.	103
Çizelge 4.32 : Üçüncü başlangıç bloğuna dahil olabilecek 1. aday noktalara ait hesaplamalar.	103
Çizelge 4.33 : Üçüncü başlangıç bloğuna dahil olabilecek 2. aday noktalara ait hesaplamalar.	103
Çizelge 4.34 : Başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri. ..	105
Çizelge 4.35 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 1. aday noktalara ait hesaplamalar.	105
Çizelge 4.36 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 2. aday noktalara ait hesaplamalar.	106
Çizelge 4.37 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 3. aday noktalara ait hesaplamalar.	107
Çizelge 4.38 : İkinci başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri.	107
Çizelge 4.39 : İkinci başlangıç bloğuna dahil olan noktalar.	108
Çizelge 4.40 : Üçüncü başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri.	108
Çizelge B.1 : I. Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.	143
Çizelge B.2 : II. Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.	144
Çizelge B.3 : III. Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.	145
Çizelge B.4 : IV. Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları.	146

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 3D benzerlik dönüşümü.....	16
Şekil 2.2 : Afın dönüşüm elemanları.....	19
Şekil 2.3 : Afın dönüşümünde ölçek farklılığı ve öteleme elemanlarının gösterimi.	20
Şekil 2.4 : F deformasyon matrisi bileşenlerinin geometrik anlamı.	24
Şekil 2.5 : a) Rastgele dağılmış noktalar b) Voronoi diyagramı c) Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenlemesi d) Delaunay üçgenlemesi.....	29
Şekil 2.6 : a) α ve γ açılarının toplamının 180° den büyük olması b) Çemberlerin 3'ten daha fazla nokta içermesi c) Uygun olan Delaunay üçgenlemesi..	30
Şekil 2.7 : Bulanık sayılar (a) Üçgen, (b) Yamuk.	36
Şekil 2.8 : Bulanık karar verme sisteminin yapısı.	38
Şekil 2.9 : Bulanık VE ve VEYA işlemleri için sırasıyla minimizasyon ve maksimizasyon operatörlerini kullanan Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi, Akyılmaz (2005) ten uyarlanmıştır.....	40
Şekil 2.10 : İki girdili ve bir çıktılı ANFIS yapısı.	41
Şekil 2.11 : Bir kutu grafiği bileşenlerinin gösterimi.	45
Şekil 2.12 : Bir kutu grafiği ve Normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonunun karşılaştırılması.	46
Şekil 2.13 : Dört noktalı 537 kombinasyona ait düzeltme değerlerine göre <i>iqr</i> değerleri. Aynı blokta olan noktalar mavi renk, farklı blokta olan noktalar kırmızı renk.	47
Şekil 3.1 : Deformasyon analizi akış şeması, Ayan (2001) den derlenmiştir.....	50
Şekil 4.1 : Heyelan bölgesinden görüntüler.....	64
Şekil 4.2 : Büyükçekmece bölgesi heyelan modeli	66
Şekil 4.3 : Çalışma bölgesinin litoloji istifi.	67
Şekil 4.4 : Heyelan bölgesi formasyon haritası.	68
Şekil 4.5 : Gürpınar heyelan bölgesi ve çevresinde deformasyonların belirlenmesi için tesis edilen jeodezik kontrol ağı(Url-11).....	71
Şekil 4.6 : Jeodezik kontrol ağı GPS gözlem planı (I. Kampanya).	74
Şekil 4.7 : GPS ağı ve değerlendirmesi sırasında çözülen baz bileşenleri.	75
Şekil 4.8 : İki farklı durumda s_0 , e_1 , e_2 parametreleri. Deformasyon büyüklükleri (italik, mm), gerilme ellipsi parametreleri e_1 and e_2 (koyu, ppm).....	89
Şekil 4.9 : Beş sözel terimli BÇS'de girdi değişkeni e_1 'in modellenmesi.....	90
Şekil 4.10 : Hareket vektörü yönünün BÇS üyelik ilişkisi.....	91
Şekil 4.11 : Gürpınar heyelan bölgesi kontrol ağının Delaunay üçgenlemesi.....	92
Şekil 4.12 : Blok belirleme akış diyagramı, Acar ve diğ. (2008) den derlenmiştir...	95
Şekil 4.13 : Deformasyon vektörlerinin gösterimi	97
Şekil 4.14 : Belirlenen blokların gösterimi.....	104
Şekil 4.15 : Dairesel kaymalar.....	110
Şekil 4.16 : Blok kaymaları	110

Şekil 4.17 : Heyelan bölgesindeki sondaj yerlerinin kesit üzerinde gösterimi ve toprak yapısı.	112
Şekil 4.18 : Aralık (1990)-Kasım (1991) tarihleri arasında belirlenen yatay deformasyonlar.	113
Şekil 4.19 : Aralık (1990)-Kasım (1991) tarihleri arasında belirlenen düşey deformasyonlar.	113
Şekil 4.20 : Yersel ağ kontrol noktaları, Sondaj ve özdirenç noktaları, Kesit çizgisi.	114
Şekil 4.21 : Kesit üzerinde kontrol noktaları ve deformasyon vektörleri.	115
Şekil 4.22 : Olası heyelan blokları ve heyelan merkez noktaları.	116
Şekil 4.23 : Heyelan kesişim merkezlerinin bulunması.	117
Şekil A.1 : Jeodezik kontrol ağı GPS ölçme Planı (I. Kampanya)	138
Şekil A.2 : Jeodezik kontrol ağı GPS ölçme Planı (II. Kampanya)	139
Şekil A.3 : Jeodezik kontrol ağı GPS ölçme Planı (III. Kampanya)	140
Şekil A.4 : Jeodezik kontrol ağı GPS ölçme Planı (4. Kampanya)	141
Şekil E.1 : 1937- 2007 yılları arasında Florya gözlemine ait yıllık toplam yağış miktarı	159

HEYELANLARIN İZLENMESİNDE ESNEK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

ÖZET

Global ve geniş bir zaman kesitinde gözleendiğinde depremler, heyelanlar, kaya düşmeleri, su baskınları, sunulan birer 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 bölgesinin bazı bölümleri, 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.

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.

Jeodezide en eski ve en yaygın kullanılmakta olan En Küçük Kareler (EKK) kestirimi, deformasyon analizinde de kullanılmaktadır. 1980’li yıllarda, EKK kestirim yönteminin bir eksiğini gidermek üzere ortaya atılan ve Toplam En Küçük Kareler (TEKK) adı verilen kestirim yöntemi de deformasyon analizine uygulanabilir. EKK, bilinmeyen parametreler ve gözlemler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi gösteren fonksiyonel model ve gözlemler arasındaki bağıl doğrulukları temsil eden stokastik modelden meydana gelmektedir. Bazı durumlarda, örneğin koordinat dönüşümünde, hem gözlem vektörü hem de dizayn matrisinin bazı elemanları stokastik özellikler taşır. Klasik EKK yaklaşımında bu genellikle göz ardı edilir ve bu durum çözüm sonuçları içinde bir belirsizlik olarak kalır. Diğer taraftan, TEKK yöntemi, ölçülerin yanında dizayn matrisi elemanlarının tümünün ya da bir bölümünün hata içerdiği problemlerin çözümü için önerilmiş yeni ve güçlü bir yöntemdir.

Heyelanların izlenmesi araştırmalarının en önde gelen amacı, heyelanın önceden haber alınmasıdır. Bunu izleyen amaç ise önlem geliştirmektir. Bu iki amacında 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 blokları) belirlenmesi bunun için, sezginin ötesinde matematik modellerin geliştirilmesi gereklidir. Bu amacının gerçekleştirilmesi için Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) elverişli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Bulanık küme teorisine dayalı BÇS, presizyon düşüklüğü, anlaşılmaızlık, 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. BÇS yaklaşımı heyelan bloklarının sistematik bir şekilde ve objektif olarak belirlenmesi için de uygulanabilir. Jeologlar için heyelan mekanizmasının çözümü için önemli bir veri olan bu bilgi, heyelanların daha erken önceden kestirimi ve önleyici önlemlerin alınması açısından da çok değerlidir.

Bu tezin amaçları ve jeodezik deformasyon analizine sağlayacağı katkı çerçevesinde, Büyükçekmece-Gürpınar heyelan bölgesinde 1996-1998 yılları arasında dört periyot olarak gerçekleştirilen GPS gözlemleri nümerik uygulama bölümünde kullanılmıştır. Bu uygulamanın adımlarına GPS ölçülerinin değerlendirilmesi, zemin hareketlerinin 3 Boyutlu (3D) deformasyon analizi ile saptanması, deformasyon analizinde, zemin hareketlerinin EKK ve TEKK kestirimleri kullanılarak bulunması ve sonuçların karşılaştırılması, heyelan bloklarının BÇS ile belirlenmesi ve heyelan tipinin saptanmasıdır.

Bu tez çalışmasının içeriği aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir:

Bölüm 1’de, afetler, EKK ve TEKK yöntemleri ile deformasyon analizi, heyelan bloklarının ve tipinin belirlenmesi ile BÇS hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Bölüm 2’de, 3D deformasyon analiz çalışmaları için EKK, TEKK kestirim yöntemleri 3D benzerlik dönüşüm modeli, heyelan bloklarının belirlenmesi çalışmaları için Delaunay üçgenlemesi, afin dönüşümü, gerilme analizi, BÇS ait ayrıntılı bilgiler ve matematiksel temeller anlatılmıştır.

Bölüm 3’te, deformasyon analizi hakkında genel bilgilerin verilmesinden sonra EKK ve TEKK yöntemleri ile 3D deformasyon analizi matematiksel temelleri ile birlikte anlatılmıştır.

Bölüm 4’te, uygulamanın gerçekleştirildiği bölge, bölgenin jeolojisi ve bölgedeki deformasyon ölçmeleri hakkında bilgiler verilmiştir. Sonra, EKK ve TEKK yöntemleri ile ardışık kampanyalar arasında 3D deformasyon analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra, bölgede oluşan heyelan blokları BÇS ile hem 2D (yatay) hem de (Quasi) 3D olarak belirlenmiştir. Son olarak, bölgedeki heyelanın tipi jeodezik veriler yardımıyla belirlenmiştir.

Bölüm 5’te, kullanılan yöntemlerin ve hesaplamalardan elde edilen sonuçların yorumları, ülkemizde afet konusunda dile getirilen sorun ve öneriler ile tezde elde edilen sonuçlar doğrultusunda uygulayıcılara öneriler ayrıntılı olarak verilmiştir. Ekler bölümünde sayısal uygulamalara ait sonuçlar verilmiştir.

Sayısal uygulama sonuçları, TEKK yönteminin deformasyon analiz çalışmalarında kullanılabilirliğini, BÇS'nin heyelan bloklarının belirlenmesi özellikle heyelanlara önlem geliştirilmesi çalışmalarında kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

INVESTIGATION OF LANDSLIDES WITH SOFT COMPUTING METHODS

SUMMARY

When observed globally in a long time period, earthquakes, landslides, rock falls, floods etc. are natural phenomenon. Unless affecting the lives of human beings, these phenomena become a simple part of the dynamic processes on the earth; and when causing economic and social losses they called as disaster. As one of the most important natural phenomena having direct or indirect effects on countries' economies, landslides are also geological disasters threatening human lives. In terms of the amount of life and property losses, landslides rank the second among the natural disasters in Turkey. If happening frequency and resulting cost of landslides are considered, the most affected regions of Turkey are Black Sea and Marmara regions. Because of its sedimentation geology and conditions of underground water, some parts of Marmara region has a proper environment for landslides. In this region, slope movements are mostly seen in Büyükçekmece coast, Bosphorus and the vicinity of Yalova.

In order to mitigate and end up the effects of such disasters threatening human lives, it is necessary to monitor ground movements in the possible disaster regions where landslides or other disasters may happen. Today, space-based positioning techniques, particularly GPS technique, provide high-precision positional information in a fast and comfortable way. Because of these advantages, these techniques are also used effectively and properly in deformation monitoring projects.

In geodesy, the oldest and the most commonly applied parameter estimation technique is the least squares (LS) method. This method is also applied in deformation analysis applications. Total least squares (TLS) method, first introduced in the 1980's to overcome some deficiencies of the LS method, can also be applied in deformation analysis. TLS consists of functional model that forms the functional relationship between unknown parameters and observations, and stochastic model that represents the relative accuracies of observations. In some cases, for example in coordinate transformation, observations vector and some elements of design matrix have stochastic properties. In classical LS approach this fact is neglected resulting in uncertainty in solutions. On the other hand, TLS method is a new and powerful method suggested for the solution of problems where not only the observations but also some or all elements of design matrix contain errors.

Primary objective of landslide monitoring investigations is to predict the happening of them. The following objective is then to find preventive measures against landslides. In order to achieve these objectives, the amount of the moving masses and the directions of the movements should be determined. To a certain extent, deformation vectors on the ground control points show small ground motions and give an idea about the directions of landslides. In order to determine the possibly moving ground masses (landslide blocks), mathematical models should be developed besides instinctive approaches. To achieve this goal, fuzzy logic systems are proper methodology to have suitable solutions.

Fuzzy Inference Systems (FIS) is based on fuzzy set theory. FIS is an alternative method for the solution of problems when such cases as low precision, uncertainty, lack of information etc. exist. In FIS method fuzzy set rules are implemented and regarding these rules, output variables are obtained using the present input variables. The most important advantage of fuzzy systems is that the solution is obtained using human experiences and verbal information. FIS approach can also be applied for the determination of landslide blocks in a systematic and objective way. This information that is an important data for geologists to solve the landslide mechanisms is also quite valuable in terms of predicting landslides earlier and taking preventive measures against them.

Regarding the objectives and the contribution of this dissertation to the geodetic deformation analysis applications, GPS data collected in Büyükçekmece-Gürpınar region in four periods between 1996 and 1998 was used for the numerical application part. The steps of the application part are the processing of GPS observations, determination of ground movements by 3D deformation analysis, comparison of solutions by LS and TLS approaches, FIS solution for the determination of landslide blocks and the determination of landslide type.

The content of this dissertation is arranged as follows:

In Chapter 1, fundamentals of disasters, deformation analysis by LS and TLS methods, determination of landslide blocks and types and FIS methodology are briefly explained.

In Chapter 2, LS and TLS approaches in 3D deformation analysis, 3D similarity transformation model, Delaunay triangulation algorithm for the determination landslide blocks, affine transformation, strain analysis, detailed information about FIS and mathematical foundations are considered.

In Chapter 3, following the general information about the deformation analysis, LS, TLS and 3D deformation analysis are explained with their mathematical background.

In Chapter 4, initially information about the landslide region, where the evaluated data is collected, the geology of that region, and deformation observations are given. In the following parts of this chapter, the results 3D deformation analyses using LS and TLS methods and their comparisons are given. 2D (horizontal) and 3D (quasi) landslide block determination by FIS are also given in this chapter. In the final part of this chapter, determination of landslide type in the region using geodetic data is discussed.

In Chapter 5, the introduced methods and obtained solutions were discussed in terms of pointed out problems and suggestions about disasters in Turkey. Regarding these evaluations some detailed remarks are made in this chapter.

In the appendices, results of numerical applications are given. Numerical application results show that the TLS method can be employed in deformation analysis effectively, and FIS approach is a suitable way to determine landslide blocks especially in works to develop landslide prevention measures.

1. GİRİŞ

Depremler, heyelanlar, kaya düşmeleri, su baskınları vb. global ve geniş bir zaman kesitinde gözlenen doğa olaylarıdır. Bunlar gezegenimizin oluşumundan bugüne kadar geçen yaklaşık 5 milyar yıl boyunca sayılamayacak sayıda tekrarlanmıştır. Bu olayların sanki gezegenimize bugünkü görünümünü verme, bozulan dengeyi bir sonrakine kadar yeniden kurma işlevi vardır. Bu olaylar bizleri etkilemediği sürece dünyadaki dinamik sürecin basit birer parçası olarak kalmış; ekonomik, sosyal vb. zararlara yol açınca *afet* adını almıştır. Kelime anlamı olarak afet, insanlara zarar veren olay ya da mal ve can kaybına yol açan doğa olayı olarak tanımlanır. Afetlerin en önemli özellikleri;

- 1-) Doğal olması,
- 2-) Can ve mal kaybına neden olması,
- 3-) Çok kısa zamanda meydana gelmesi,
- 4-) Başladıktan sonra insanlar tarafından engellenememesidir (Url-1).

Türkiye, doğal afetlere sık uğrayan bir ülkedir. Sık olarak meydana gelen afetler köprüler, baraj, yollar, bina, liman gibi mühendislik yapılarında ve bu yapıların çevresinde büyük zararlara ve çevrelerinde değişimlere yol açabilmekte, ayrıca topografyada derin izler bırakabilmektedir.

Heyelan da insan hayatını tehdit eden bir jeolojik afettir ve ülkelerin ekonomilerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen en önemli doğa olaylarından biridir (Url-2). Ayrıca, 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 kara ve demiryolu geçkilerini, bahçe veya ekili alanlar gibi ekonomik yapıları da etkilemeleri bakımından önemlidirler. Türkiye’de heyelanlar, mal ve can kayıpları açısından yarattıkları zararların büyüklüğüne göre depremlerden sonra gelen ikinci önemli doğa olayıdır (Acar ve diğ., 2008a; Acar ve diğ., 2004; Bayrak, 2003; Acar ve diğ., 2003).

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 (Bayrak, 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. Bu konu, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği mesleğinin önemli bir çalışma alanını oluşturmuştur. Tektonik levha hareketleri, yer çekirdeğinin yer değiştirmesi, gel-git olayları, atmosferdeki olaylar ve nüklüer denemeler gibi insan eliyle oluşturulan yapay olaylar nedeniyle yerkabuğunun bazı bölgelerinde oluşan şekil değişimleri ile barajlar, köprüler, yollar v.b. gibi büyük mühendislik yapılarında ya da bunların yakın çevrelerinde meydana gelen şekil değişimlerine genel anlamda *deformasyon* denilmektedir. Bu şekil değişimlerinin jeodezik olarak belirlenmesi ve izlenmesi için zaman aralıkları ile yinelenen ya da sürekli kayıtlarla gerçekleştirilen ölçmelere ise *deformasyon ölçmeleri* denir. Farklı periyotlara ilişkin ölçüleri değerlendirilerek yer, zaman, ve değişik fiziksel parametrelere göre şekil ve form değişimlerinin belirlenmesi ve yorumlanması çalışmalarına *deformasyon analizi* denilmektedir (Tanır, 2000; Ayan, 1981).

Jeodezik deformasyon izleme çalışmalarının başlangıcı 20. yüzyılın başlarına kadar gider. Ölçme ve hesaplama tekniklerindeki gelişmeler, deformasyon izleme çalışmalarını, jeodezide önde gelen uygulamalardan biri konumuna getirmiştir. Günümüzde, özellikle Global Positioning System (GPS) başta olmak üzere uzay bazlı konum belirleme teknolojileri sağladıkları yüksek doğruluk, ölçme hızı ve konfor nedeniyle yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, heyelanların izlenmesi, maden işletmeleri ve büyük hafriyatlarda zemin hareketlerinin kontrolü ve baraj, köprü, otoyol, demiryolu, liman v.b. mühendislik yapılarındaki deformasyonların saptanması projelerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde, deformasyon analizi çalışmalarında yaygın olarak, parametre kestirimi, koordinat dönüşümleri ve çoğunlukla ikisi birden iç içe kullanılır. Ayrıca deformasyon analizinin bir diğer olmazsa olmazı matematik istatistik testlerdir.

Jeodezide en eski ve en yaygın kullanılmakta olan En Küçük Kareler (EKK) kestirimi, deformasyon analizinde de kullanılmaktadır. 1990 lı yıllarda deformasyon analizi için EKK ya alternatif olarak robust kestirim yöntemi ileri sürüldü. Bunun oldukça iyi sonuçları da görüldü.

1980 li yıllarda, EKK kestirim yönteminin bir eksiğini gidermek üzere ortaya atılan ve Toplam En Küçük Kareler (TEKK) adı verilen kestirim yöntemi, deformasyon analizinde uygulanması ve EKK ile karşılaştırılması bu çalışmanın hedefleri arasında yer almaktadır.

EKK, bilinmeyen parametreler ve gözlemler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi gösteren fonksiyonel model ve gözlemler arasındaki bağıl doğrulukları temsil eden stokastik modelden meydana gelmektedir. Bazı durumlarda, örneğin koordinat dönüşümünde, hem gözlem vektörü hem de dizayn matrisinin bazı elemanları stokastik özellikler taşır. Klasik EKK yaklaşımında bu genellikle göz ardı edilir ve bu durum çözüm sonuçları içinde bir belirsizlik olarak kalır (Akyılmaz ve diğ., 2007).

Diğer taraftan, dönüşüme altlık olan her iki sistemdeki ortak noktalar (kaba hata olmadığı varsayıldığında) belirli rastlantısal hatalara sahiptir. Örneğin, iki ayrı GPS kampanyasında yapılan gözlemlerin ayrı ayrı değerlendirilmesi sonucu elde edilen nokta koordinatları varyans-kovaryans bilgileri ile birlikte mevcuttur. Dolayısıyla dönüşümde kullanılacak ortak noktalar da bu şekilde varyans-kovaryans değerleri ile mevcuttur. Bu durumda, sonraki bölümlerde de gösterileceği gibi dönüşümde kullanılacak dizayn matrisinin bazı sütunlarındaki elemanları stokastik büyüklükler olarak ortaya çıkmaktadır. Söz konusu bu durumun ele alınmasında sadece Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği'nde değil aynı zamanda matematik bilimlerinde de oldukça yeni olan Toplam En Küçük Kareler yöntemi kullanılabilir. TEKK yöntemi, ölçülerin yanında dizayn matrisi elemanlarının tümünün ya da bir bölümünün hata içerdiği problemlerin çözümü için önerilmiş yeni ve güçlü bir yöntemdir. Bu tür problemlere değişkenlerin hata içerdiği (Errors-in-Variables) modeller denir (Acar ve diğ., 2006d; Akyılmaz ve diğ., 2007).

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 ki bu çalışmada heyelan blokları olarak anılacaktır, belirlenmesi bunun için, sezginin ötesinde matematik modellerin geliştirilmesi bu çalışmanın önde gelen hedefini oluşturmaktadır. Çalışmanın bu amacının gerçekleştirilmesi için Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) elverişli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Bulanık küme teorisine dayalı BÇS, presizyon düşüklüğü, anlaşılmazlık, eksik bilgi vb. belirsizliklerin bulunduğu problemlerin çözümü için klasik Boolean mantığına bir alternatif olmuştur. Bu tür belirsizlikler ölçmelerin ve gözlemlerin yapıldığı hemen hemen tüm gerçek dünyaya ilişkin süreçlerde bulunmaktadır. Bunlar çoğunlukla ölçme donanımlarındaki yetersizliklerden veya insan duyularındaki algılama sınırlılığında ve sürecin bileşenleri hakkındaki bilgiler eksikliklerinden kaynaklanır. Klasik kümelerin aksine bulanık kümeler kullanıcıya, bir kümenin elemanının başka bir kümenin de ondalık bir üyelik derecesi ile elemanı olması anlamına gelen, kümeler arası keskin olmayan sınırlar tanımlama olanağı sunmaktadır (Akyılmaz, 2005). Bu özellikleri içeren BÇS, pek çok mühendislik probleminde olduğu gibi, heyelan bloklarının, bir matematik model ve yazılımla belirlenmesinde kullanılabilir.

Bu çalışmanın amaçları ve çalışmadan beklenen katkılar,

- Büyükçekmece- Gürpınar heyelan bölgesinde 1996- 1998 yılları arasında dört periyot olarak gerçekleştirilen GPS gözlemlerinin değerlendirilerek,
- Zemin hareketlerinin 3 Boyutlu (3D) deformasyon analizi ile saptanması,
- Deformasyon analizinde, dönüşüm parametrelerinin EKK ve TEKK kestirimlerini kullanarak, TEKK in etkinliğinin sınanması
- Heyelanın önceden haber alınmasını kolaylaştıracak, heyelanlara etkin önlemler alınmasına olanak hazırlayacak ve heyelan mekanizmasının çözümünde jeologlara kaynak olmak üzere, heyelan bloklarının sistematik ve objektif olarak belirlenmesi problemine BÇS ile çözüm üretilmesi,
- Çözümlere ilişkin yazılımın geliştirilmesi,
- ve heyelanlara etkin önlemler alınmasına olanak hazırlayacak diğer önemli bir bilgi olan heyelan tipinin belirlenmesi,

olarak özetlenebilir.

2. MATEMATİK TEMELLER

2.1 Gauss-Markoff Modeli

Jeodezik ölçmeler, lineer raslantı olayı ve bunun sonucu olan ölçü değerleri de raslantısal örnekleme değerleri olarak ele alınır. Raslantısal ölçü değerleri, önündeki raslantısal sıfatının ifade ettiği gibi, kesinlik arzetmez. Klasik bakış açısından da jeodezik ölçü değerlerinin raslantısal hata içerdikleri kabul edilir.

Raslantısal ölçü değerlerinden, ölçülerin ve bilinmeyen parametrelerin ümit değere sadık kestirimlerinin elde edilmesi Gauss- Markoff modeli uygulamasıyla elde edilir. Bu modelde ölçülerle bilinmeyenler arasındaki lineer model, sadeleştirilmiş şekliyle,

$$\tilde{\ell} = A \tilde{x} \quad (2.1a)$$

$$\Sigma_{\ell\ell} = \sigma_0^2 \cdot Q_{\ell\ell} \quad (2.1b)$$

ile ifade edilir. $\tilde{\ell}$ n sayıda ölçünün ümit değeri vektörünü, \tilde{x} u sayıda bilinmeyenlerin ümit değerini, A da katsayılar matrisini ifade etmektedir. ℓ ölçülerinin varyans-kovaryans matrisi $\Sigma_{\ell\ell}$ ise $\tilde{\ell} = \ell + \varepsilon$ ile tanımlanan raslantısal hataları ile

$$\Sigma_{\ell\ell} = E(\varepsilon\varepsilon^T) \quad (2.2)$$

olarak tanımlanmaktadır. σ_0^2 birim ölçünün varyansı, $Q_{\ell\ell}$ ölçülerin kofaktörler matrisi

$$Q_{\ell\ell} = P^{-1} \quad (2.3)$$

ölçülerin ağırlık matrisinin tersidir.

Gauss- Markoff modelinden ümit değere sadık kestirimler \hat{x} , $\hat{\ell}$ ve ε gerçek hatalar yerine v düzeltmeleri konularak

$$\ell + \mathbf{v} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} \quad (2.4a)$$

$$\Sigma_{xx} = \hat{\sigma}_0^2 \mathbf{Q}_{\ell\ell} \quad (2.4b)$$

ile EKK yöntemiyle

$$\mathbf{v}^T \mathbf{Q}_{\ell\ell}^{-1} \mathbf{v} = \min \quad (2.5)$$

ilkesiyle

$$\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\ell\ell}^{-1} \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\ell\ell}^{-1} \ell = 0 \quad (2.6)$$

denkleminin çözümüyle

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\ell\ell}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\ell\ell}^{-1} \ell \quad (2.7)$$

ile elde edilir. Buradan gözlemlerin düzeltmeleri,

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} - \ell \quad (2.8)$$

bulunur. (2.7) denklemine göre bilinmeyen parametrelerin kestirimi, normal dağılımlı ℓ ölçülerinden \mathbf{x} bilinmeyenlerinin ümit değere sadık en iyi lineer kestirimdir. Bu kestirim $\hat{\sigma}_0^2$ yi de minimum yapar. (2.7) denkleminde verilen EKK çözümü sadece bilinmeyen parametre sayısının gözlem (denklem) sayısından daha az ya da eşit olduğu zaman ($\text{rank}(\mathbf{A})=m \leq n$) geçerlidir. Bazı durumlarda gözlemler birbirine bağımlıdır. Bu durumda, \mathbf{A} katsayılar matrisi rank düşüklüğüne sahiptir ve normal denklemler matrisinin Cayley tersi (inversi) yoktur. Bu tür modeller rank düşüklüğü olan Gauss Markoff modeli olarak adlandırılır. Bu durumda, $(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$ ile Cayley inversi yerine, bir genelleştirilmiş invers olan Moore-Penrose'ye göre pseudo invers adı verilen $(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+$ kullanılır. Bu yöntem, EKK problemlerinde tek anlamlı Öklit çözümünü elde etmek için kullanılır. Bu nedenle, lineer modellerdeki rank düşüklüğü durumlarında, parametreler aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+ \mathbf{A}^T \mathbf{P} \ell \quad (2.9)$$

Moore-Penrose tersi $()^+$, örneğin normal denklemin Tekil Değerlerinin Ayrıştırması (TDA) yöntemi kullanılarak hesaplanabilir.

2.2 Toplam En Küçük Kareler Kestirimi

Eşitlik (2.1a) ve (2.1b) de verilen dengelemenin matematiksel modelinde (Gauss-Markoff) sadece gözlemler stokastik büyüklükler olarak ele alınmakta ve gerekli lineerleştirme işlemlerinden sonra parametre tahmini gerçekleştirilmektedir. Bu durum genellikle geçerli olmasına karşın, bazı durumlarda gözlemlerin yanı sıra katsayılar matrisi A da tümüyle ya da belli bir bölümüyle hata içerir. Böyle durumlarda artık Gauss-Markoff tipinde olmayan bir model söz konusudur. Bu tür modellere, değişkenlerin hata içerdiği (Erros-in-Variables) genişletilmiş modeller adı verilir. Bu modeller çok uzun yıllardan beri bilinmektedir ve hatta Helmert (1872) tarafından bile dile getirilmiştir. Bu tip problemler için en yaygın yaklaşım, bilinmeyenler arasındaki koşul denklemleriyle genişletilmiş modelin gözlem eşitliklerinin Taylor serisi ile lineerleştirilerek elde edilen Gauss-Helmert modelinin örneğin Gauss-Newton yöntemi ile iteratif olarak çözülmesidir. Bu yaklaşım “Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (GEKK)” yöntemi olarak da anılır (Wolf ve Ghilani, 1997). Yoğun ve biraz da karmaşık hesaplar gerektiren GEKK yönteminin yanlış uygulanmasına ve sakıncalarına Pope (1972) bir uyarılar listesi vermiştir. Bunlardan biri, sadece bilinmeyen vektörünün güncellenmesi, gözlem (\mathbf{v}) ve katsayılar matrisi A nın iterasyonlarda güncellenmemesidir. Genelleştirilmiş EKK çözümü yapmak hesap yükü bakımından oldukça ağırdır (her iterasyon adımında geniş matris inverslerinin hesabını gerektirir) ve de zaman zaman doğru çözüme yakınsamayabilir.

TEKK kestirim yöntemi, Golub ve Van Loan tarafından ilk olarak 1980 yılında ortaya atılmış, hem gözlemlerin hem de katsayılar matrisinin elemanlarının hatalı olması durumundaki problemler için EKK yaklaşımına bir tamamlayıcı olarak sunulmuştur. Katsayılar matrisi elemanlarının hataları da raslantısal niteliktedir. Başka bir deyişle bunların ümit değerleri de sifıra eşittir. Katsayılar matrisi elemanları ile ölçülerin varyansı aynı kabul edilir. TEKK’in fonksiyonel modeli aşağıdaki gibidir.

$$\ell + \mathbf{v} = (\mathbf{A} + \mathbf{V}) \mathbf{x} \quad \ell + \mathbf{v} = \tilde{\ell} \quad (2.10a)$$

$$\Sigma_{\ell\ell} = \Sigma_{AA} = \sigma_0^2 [\mathbf{I}] \quad \mathbf{A} + \mathbf{V} = \tilde{\mathbf{A}} \quad (2.10b)$$

\mathbf{V} : katsayılar matrisi \mathbf{A} nın elemanlarının $n \times m$ boyutlu hata matrisi

\mathbf{v} : gözlemlere ait $n \times 1$ boyutlu hata vektörüdür.

Gözlemlerin hata vektörü \mathbf{v} ve katsayılar matrisinin hata matrisi \mathbf{V} 'nin birbirlerinden bağımsız ve aynı varyansa sahip oldukları kabul edilir.

(2.10a) ve (2.10) formülleri ile Gauss-Markoff modeline benzer olarak tanımlanan TEKK modelinin çözümü, \mathbf{V} nin \mathbf{v} sütun vektörü ile genişletilmesiyle elde edilen \mathbf{H} matrisi

$$\mathbf{H} = [\mathbf{V} \mid \mathbf{v}] \quad (2.11)$$

olmak üzere bunun aşağıdaki şekilde hesaplanan Frobenius normu

$$\|\mathbf{H}\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h_{ij}^2} = \sqrt{\text{iz}(\mathbf{H}^T \mathbf{H})} \quad (2.12)$$

$\|\mathbf{H}\|_F$ i *minimum* yapan $\hat{\mathbf{x}}$ kestirim değerlerinin hesaplanması olarak özetlenebilir (Leon, 2002; Felus 2004). Böylece hesabın fonksiyonel modeli, ölçü düzeltmeleri \mathbf{v} ve katsayılar matrisi düzeltmeleri matrisi \mathbf{V} ile

$$\ell + \mathbf{v} = (\mathbf{A} + \mathbf{V}) \hat{\mathbf{x}} \quad (2.13)$$

olur. Başka bir deyişle, verilen hatalı değerler içeren $[\mathbf{A}; \ell]$, $[\mathbf{V}; \mathbf{v}]$ Frobenius normuna göre en az çaba ile değiştirilir (modifiye edilir). Bu değişiklik, $[\mathbf{A}; \ell]$ genişletilmiş matrisinin sütunları arasında bir lineer ilişki yaratır. Hem ölçülerin hem de \mathbf{A} katsayılar matrisinin düzeltmeleri (değişim miktarları)'nin kareleri toplamı minimize edilir. Kestirim sonucunda

$$\hat{\ell} = \ell + \mathbf{v} \quad (2.14a)$$

$$\hat{\mathbf{A}} = \mathbf{A} + \mathbf{V} \quad (2.14b)$$

ile düzeltilmiş (dengelenmiş) ölçü ve katsayılar matrisinin kestirim değerleri elde edilir. Ancak bu hesaplamalar sırasında \mathbf{A} ile ℓ arasındaki ilişkiden bir korelasyon oluşur. Burada $\hat{\cdot}$ üst indisi ise kestirim değerini göstermektedir.

Bu çözüm modeli genişletilmiş $[\mathbf{A}; \ell]$ matrisinin, Tekil Değer Ayrıştırması (TDA) yöntemiyle gerçekleştirilir. Bunun için $[\mathbf{A}; \ell]$ matrisinin üç özel matrisin çarpımı

biçiminde yazılması yoluna gidilir. (Buradaki, Σ , V matrisleri literatüre uygun olarak seçilmiş matrislerdir. Σ 'nin daha önce kullanılan varyans-kovaryans matrisi ve V 'nin düzeltme matrisi ile ilgisi yoktur).

$$[A, \ell] = U \Sigma V^T \quad (2.15)$$

$$U = [u_{1,1}, \dots, u_{1,n}, \dots, u_{n,1}, \dots, u_{n,n}] \in R^{n \times n}$$

$$V = [v_{1,1}, \dots, v_{1,m}, v_{1,m+1}, \dots, v_{m,m+1}, v_{m+1,1}, \dots, v_{m+1,m+1}] \in R^{(m+1) \times (m+1)}$$

$$\Sigma = [\delta_{1,1}, \dots, \delta_{1,m+1}, \dots, \delta_{m+1,m+1}, \dots, \delta_{n,1}, \dots, \delta_{n,m+1}] \in R^{n \times (m+1)}$$

Burada $U [A; \ell] \cdot [A; \ell]^T$ çarpımının n sayıdaki özvektörleri, $V [A; \ell]^T \cdot [A; \ell]$ çarpımının $(m+1)$ sayıdaki özvektörleridir. Σ matrisinin köşegen elemanları tekil değerlere, köşegen olmayan elemanları sıfıra eşittir. Kolaylık sağlaması bakımından bundan sonra $\Sigma = \text{diag}(\delta_1, \dots, \delta_m, \delta_{m+1})$ olarak Σ matrisinin köşegen elemanları kullanılacaktır.

Teorem 1:

(2.15) denkleminin $[A; \ell]$ genişletilmiş matrisinin TDA'sı, $\delta_m > \delta_{m+1}$ ve $v_{m+1,m+1} \neq 0$ olduğunu varsayalım. Böylece $[A; \ell]$ 'nin TEKK kestirimi aşağıdaki formül ile verilir:

$$[\hat{A}, \hat{\ell}] = U \hat{\Sigma} V^T \quad \hat{\Sigma} = \text{diag}(\delta_1, \dots, \delta_m, 0) \quad (2.16)$$

$\delta_m > \delta_{m+1}$ ve $v_{m+1,m+1} \neq 0$ koşulları, A tam rank a sahip ise, genellikle sağlanır. Bu nedenle $\hat{A} = (A - V)$ ve $\hat{\ell} = \ell + v$ tanımları kullanılarak (2.10a) denkleminin yeniden düzenlenmiş hali aşağıdaki şekilde olur:

$$[\hat{A}, \hat{\ell}] \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ -1 \end{bmatrix} = 0 \quad (2.17)$$

$[\mathbf{x}; -1]^T$ vektörü $[\hat{A}, \hat{\ell}]$ 'nin soldan sıfır uzayıdır ve bu nedenle TEKK çözümü TDA özellikleri kullanılarak elde edilebilir. Buna göre çözüm vektörü v_{m+1} (V 'nin son sütununun son bileşeni) -1 oluncaya kadar ölçeklendirilmesi ile $[\mathbf{x}; -1]$ vektörü elde edilir (Felus, 2004).

Teorem 2: (Ölçeklendirme)

$[\mathbf{A}, \ell] = \mathbf{U} \Sigma \mathbf{V}^T$ ve $\|\mathbf{H}\|_F = \min$ şartlarını sağlayan \mathbf{x} bilinmeyenleri v_{m+1} öz vektöründen

$$\hat{\mathbf{x}} = -\frac{1}{v_{m+1, m+1}} [v_{1, m+1}, v_{2, m+1}, \dots, v_{m, m+1}]^T \quad (2.18)$$

eşitliği ile hesaplanır. Diğer bir ifadeyle, TEKK probleminin tek çözümü; en küçük tekil değer ve $[\mathbf{A}; \ell]$ genişletilmiş matrisinin sağ tekil vektörüdür.

$[\mathbf{x}; -1]^T$ vektörü, aşağıdaki özvektör denklemini üreten $[\mathbf{A}; \ell]^T [\mathbf{A}; \ell]$ 'nin özdeğeri ile ilişkili özvektördür:

$$[\mathbf{A}, \ell]^T [\mathbf{A}, \ell] \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{A} & \mathbf{A}^T \ell \\ \ell^T \mathbf{A} & \ell^T \ell \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}} \\ -1 \end{bmatrix} = \delta_{m+1}^2 \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}} \\ -1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Denklem (2.19)'in ilk satırı göz önünde tutulursa, bilinmeyen parametrelerin kestirimi olan $\hat{\mathbf{x}}$ için aşağıdaki denklem (TEKK hesabının normal denklemleri olarak düşünülebilir) yazılabilir.

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{A} - \delta_{m+1}^2 \mathbf{I}) \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A}^T \ell \quad (2.20)$$

$\delta_m > \delta_{m+1}$ ve $v_{m+1, m+1} \neq 0$ olduğundan, $(\mathbf{A}^T \mathbf{A} - \delta_{m+1}^2 \mathbf{I})$ pozitif tanımlı bir matristir ve bu nedenle \mathbf{x} 'in $\hat{\mathbf{x}}$ kestirim değeri

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A} - \delta_{m+1}^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{A}^T \ell \quad (2.21)$$

ile elde edilir. Şu ana kadar verilen formülasyonlar hem gözlem vektörü hem de katsayılar matrisinin aynı varyansa sahip olduğu ve \mathbf{A} katsayılar matrisinin tüm elemanlarının rastlantısal hatalar içerdiği varsayılan durumlardaki problemlerin TEKK çözümü için geçerlidir. Pratikte gözlemlerin ve katsayılar matrisinin varyansları çoğunlukla aynı olmazlar. Keza katsayılar matrisindeki tüm sütunların hatalı olması da az karşılaşılan bir konudur. Aşağıda, TEKK yönteminde katsayılar matrisinin sabit sütunları, gözlemler için farklı varyansların katkısı ve katsayılar matrisinin hatalı bileşenleri formüle edilmektedir.

TEKK yönteminde katsayılar matrisinin sabit sütunları

Yukarıdaki denklemlerde A matrisinin bütün bileşenlerinin hatalı olduğu düşünülmesine rağmen, bazı durumda kimi sütunlar hesabı gerekmeyen skaler katsayılar olabilir. Bunlar TEKK dengelemesi sonrasında değişmeden korunması gereken sabit değerlerdir. Bu durumun jeodezik uygulamalardaki tipik bir örneği, Helmert dönüşümü gibi geometrik koordinat dönüşümlerinde öteleme parametrelerine karşılık olan bilinmeyenlerin katsayılarıdır. Bu durumun hesaplara yansıtılması, A matrisinin ve bilinmeyen vektörü \mathbf{x} 'in alt matrislere ayrılmasını gerektirir. Şöyle ki,

$$A = [A_1, A_2]; A_1 \in R^{n \times m_1} \text{ ve } A_2 \in R^{n \times m_2} \quad (2.22)$$

$$\mathbf{x} = [\mathbf{x}_1^T, \mathbf{x}_2^T]; \mathbf{x}_1 \in R^{m_1 \times 1} \text{ ve } \mathbf{x}_2 \in R^{m_2 \times 1} \quad (2.23)$$

Burada A_1 ve A_2 , A matrisinin sırasıyla sabit ve sabit olmayan sütunlarından oluşan alt matrisleri, \mathbf{x}_1 ve \mathbf{x}_2 ise bu alt matrislerce kontrol edilen bilinmeyenler vektörünün parçalarıdır.

A_1 matrisinin sütunlarının hatasız olduğu varsayımına dayalı olarak TEKK kestirim yöntemi aşağıdaki şekilde ortaya konur:

$$\ell + \mathbf{v} = [A_1; \hat{A}_2] \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_1 \\ \hat{\mathbf{x}}_2 \end{bmatrix} \quad (2.24a)$$

$$iz \left([V_{A_2} | \mathbf{v}]^T [V_{A_2} | \mathbf{v}] \right) = \min \quad (2.24b)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &\approx N(0, \sigma_0^2, \mathbf{P}^{-1}) \\ \mathbf{V} &\approx N(0, \sigma_0^2, \mathbf{P}^{-1}) \end{aligned} \quad (2.24c)$$

Bu problemi çözmek için katsayılar matrisinin hatasız sütunlarıyla diğerlerini ayırmak gerekir. Bu da $[A_1; A_2; \ell]$ genişletilmiş matrisin QR çarpanlara ayırma yöntemi ile gerçekleştirilir. QR , çarpanlara ayırma yöntemi kullanılarak her dörtgen matris, bir ortogonal matris \mathbf{Q} ($\mathbf{Q}^T \mathbf{Q} = \mathbf{I}$) ve bir üst üçgen matris \mathbf{R} 'nin çarpımı olarak ifade edilir. Genişletilmiş matrisin QR çarpanlara ayrılması $[A_1; A_2; \ell] = QR$ şeklinde ya da farklı şekilde

$$\mathbf{Q}^T \cdot [\mathbf{A}_1; \mathbf{A}_2; \ell] = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} & \mathbf{R}_{12} & \mathbf{R}_{1b} \\ 0 & \mathbf{R}_{22} & \mathbf{R}_{2b} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

ile gerçekleştirilir. Buradaki alt matrislerin boyutları aşağıda verildiği gibidir:

$$\mathbf{R}_{11} = m_1 \times m_1$$

$$\mathbf{R}_{12} = m_1 \times m_2$$

$$\mathbf{R}_{22} = (n - m_1) \times m_2$$

$$\mathbf{R}_{1b} = m_1 \times 1$$

$$\mathbf{R}_{2b} = (n - m_1) \times 1$$

\mathbf{Q} matrisi, öklit normu 1'e eşit olan birim uzunluklu sütunlara, Frobenius normu ise \sqrt{n} 'e sahiptir.

Bu karma problemin çözümü iki adımlıdır.

1) Önce bilinmeyenler vektörü $\hat{\mathbf{x}}_2$, indirgenmiş sistem için Teorem 2 kullanılarak hesaplanır:

$$\mathbf{R}_{22} \mathbf{x}_2 \cong \mathbf{R}_{2b} \quad (2.26)$$

2) İkinci adım olarak aşağıdaki denklem sistemlerinde, hesaplanan $\hat{\mathbf{x}}_2$ yerine konularak $\hat{\mathbf{x}}_1$ hesaplanır:

$$\mathbf{R}_{11} \hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{R}_{1b} - \mathbf{R}_{12} \hat{\mathbf{x}}_2 \quad (2.27)$$

Buraya kadar, karma modelin (model, katsayılar matrisi içinde hem sabit hem de hatalı sütunları içermektedir) TEKK çözümü formüle edilmiştir. Gözlemlerin ve katsayılar matrisinin sütun elemanlarının varyansları arasındaki farklar ihmal edilebilir, öyle ki onların aynı olduğu varsayılır, ancak genellikle gözlem vektörlerinin ve katsayılar matrisi bileşenlerinin varyans değerleri farklıdır. Her iki gerçek göz önünde tutulduğunda “Genelleştirilmiş TEKK (GTEKK)” yöntemi aşağıdaki açıklandığı gibi uygulanır.

$n \times n$ boyutlu D matrisi, gözlem denklemlerinin köşegen ağırlık matrisi olsun. Bir başka deyişle, bu matris denklemler sisteminin satırlarını ölçeklendiren matristir. C matrisi ise, $(m_2+1 \times m_2+1)$ boyutlu ve denklemler sisteminin kolonlarını ölçeklendiren köşegen ağırlık matrisidir. Bu matris, A_2 'nin sütunlarının ve de gözlem vektörünün birbirlerine göre olan bağıl doğruluklarını yansıtır. C matrisi kullanılarak A_2 'nin sütunlarına göre gözlemlerin ağırlıkları belirlenir. Bu tanımlara göre GTEKK yönteminin modeli aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\ell + \mathbf{v} = [A_1; A_2 + V_{A_2}] \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_1 \\ \hat{\mathbf{x}}_2 \end{bmatrix} \quad (2.28a)$$

$$iz \left((D [V_{A_2} | \mathbf{v}] C)^T (D [V_{A_2} | \mathbf{v}] C) \right) = \min \quad (2.28b)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &\approx N(0, \sigma_0^2, \mathbf{P}_1^{-1}) \\ V &\approx N(0, \sigma_0^2, \mathbf{P}_2^{-1}) \end{aligned} \quad (2.28c)$$

Burada $D = \mathbf{P}_1$ gözlemlerin ağırlıkları olmasına karşın, \mathbf{P}_2 , A_2 matrisinin yani dönüştürülen sistemdeki ortak noktaların koordinatlarının ağırlıklarıdır. A_2 'nin sütunlarının ve de gözlem vektörünün birbirlerine göre olan bağıl doğruluklarını yansıtan C matrisi;

$$C = \begin{bmatrix} \frac{tr(\mathbf{P}_2^{xyz})}{tr(D)} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{tr(\mathbf{P}_2^{yz})}{tr(D)} & 0 & 0 & 0 \\ & & \frac{tr(\mathbf{P}_2^{xz})}{tr(D)} & 0 & 0 \\ & & & \frac{tr(\mathbf{P}_2^{xy})}{tr(D)} & 0 \\ & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

olarak hesaplanır. eşitlikte verilen $(\mathbf{P}_2^{xyz}, \mathbf{P}_2^{yz}, \mathbf{P}_2^{xz}, \mathbf{P}_2^{xy})$ \mathbf{P}_2 matrisinin üst indisle belirtilen elemanlarına ilişkin alt matrislerdir. Van Huffel (1991)'de gözlem vektörü ve A_2 matris bileşenlerinin dolu varyans-kovaryans matrisine sahip GTEKK problemlerinin çözümü için görece karmaşık bir çözüm verilmesine karşın, jeodezik uygulamalarda ölçülerin kovaryans matrisleri genelde köşegen matrislerdir ve bu

özellikten yararlanılarak bilinmeyen parametrelerin hesaplanması için problem korelasyonsuz ölçülerle GTEKK problemine indirgenebilir.

Hem gözlemler hem de A_2 matrisinin elemanları için köşegen ağırlıklar dikkate alındığında, problemin GTEKK çözümü üç adımdan oluşur.

1) $D [A_1; A_2; \ell]$ genişletilmiş matrisi QR çarpanlarına ayrılır.

$$Q^T D [A_1, A_2, \ell] = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{1b} \\ 0 & R_{22} & R_{2b} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

2) (2.30) denkleminin ikinci satırı kullanılarak, indirgenmiş sistem için klasik TEKK çözümü aşağıdaki gibi elde edilir:

$$[R_{22}; R_{2b}] C \left(C^{-1} \begin{bmatrix} \hat{x}_2 \\ -1 \end{bmatrix} \right) \approx 0 \quad (2.31)$$

(2.31) denkleminin çözümü için, tekrar $[R_{22}; R_{2b}] C = U \Sigma V^T$ eşitliğinin tekil değer ayrıştırması hesaplanır ve \hat{x}_2 değeri

$$\hat{x}_2 = - \frac{1}{c_{m_2+1} \cdot v_{m_2+1, m_2+1}} C_{1..m_2}^T [v_{1, m_2+1}, v_{2, m_2+1}, \dots, v_{m, m_2+1}]^T \quad (2.32)$$

ile hesaplanır. Burada,

$C_{1..m_2} = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_{m_2})$: C matrisindeki ilk m_2 satırdaki (ya da sütun) köşegen terimler

c_{m_2+1} : C matrisinin en sağ (alttaki) köşegen terimidir ki, A_2 sütunlarına göre gözlemlerin ağırlığıdır ve değeri 1'dir.

3) \hat{x}_1 parametresi, ikinci adımda hesaplanan \hat{x}_2 parametresinin (2.30) denkleminin ilk satırında yerine konarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R_{11} \hat{x}_1 = R_{1b} - R_{12} \hat{x}_2 \quad (2.33)$$

ya da daha açık şekli ile

$$\hat{x}_1 = R_{11}^{-1} (R_{1b} - R_{12} \hat{x}_2) \quad (2.34)$$

olarak ifade edilebilir.

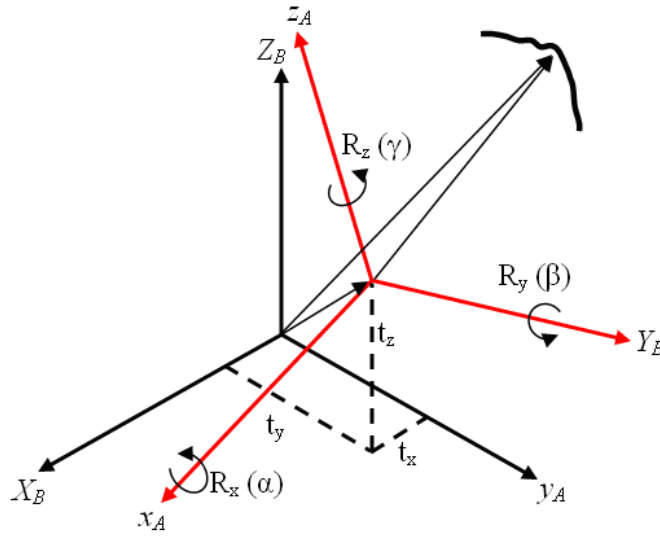
Burada hem gözlem vektörleri hem de katsayılar matrisi elemanlarının köşegen varyans matrisi üzerine odaklanılmasına karşın, daha karmaşık bir algoritma ile tam dolu kovaryans matrisine sahip problemler için bir TEKK çözümü bulmak da mümkündür. Yukarıda anlatılan kovaryans matrisi (C), ağ dengelemesinden elde edilen koordinat kümesindeki nokta koordinatlarının kovaryanslarından ziyade $[A_2; \ell]$ genişletilmiş matrisinin sütunları arasındaki korelasyonu göz önünde bulunduran matristir. Buna ilaveten, her iki koordinat kümesinin kovaryans matrislerini de dikkate alan bir çözüm matematik bilimlerinde dahi henüz geliştirilmemiş, sadece bazı kabullere dayanan yaklaşık çözümler gerçekleştirilmiştir (Schaffrin ve Wieser, 2008). $[A_2; \ell]$ genişletilmiş matrisi için kovaryans matrisi, koordinat kümelerinin orijinal kovaryans matrislerinden türetilmektedir. Bu çözüm en azından belirli bir aralıkta orijinal kovaryans matrisleri ile arzulanan çözümü temsil edebilir. Öyle ki, bu çalışmada verilen sayısal örnek kovaryans matrislerine bağlıdır, çünkü dengeleme sonrası elde edilen bu matrisler köşegen olarak hayli baskındır ve bu nedenle diyagonal yaklaşım anlamlı bir doğruluk kaybına neden olmamaktadır (Akyılmaz ve diğ., 2007).

2.3 Dönüşüm

2.3.1 Üç boyutlu Helmert (benzerlik) dönüşümü

Bir A koordinat sistemi x_{Ai}, y_{Ai}, z_{Ai} da koordinatları bilinen bir noktanın ya da noktalar kümesinin, bir başka B koordinat sistemindeki koordinatları X_{Bi}, Y_{Bi}, Z_{Bi} hesaplanmasını sağlayan parametrelerin bulunması ve bunlarla yeni sistemdeki koordinatların hesaplanması jeodezide koordinat dönüşümü olarak bilinir. Bir koordinat sistemindeki noktaların oluşturduğu şeklin geometrisinin benzerlik ilkelerine uygun olarak, diğer sisteme aktarılması Benzerlik dönüşümü veya Helmert dönüşümü olarak anılır. 3D koordinat dönüşümü, yedi parametrelilik benzerlik dönüşümü olarak da bilinir. Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde ölçek faktörü tüm doğrultularda değişmez kabul edilir. Şeklin benzerliği korunduğu için açılar değişmez. Jeodezide karşılaşılan dönüşüm problemlerinde iki koordinat sistemi

genellikle paralel değildir. Şekil 2.1 koordinat eksenleri etrafındaki dönüklük, öteleme ve ölçekden oluşan dönüşüm parametrelerini göstermektedir.



Şekil 2.1 : 3D benzerlik dönüşümü.

Benzerlik dönüşümünde dönüştürülmüş koordinatların hesabı

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + (1+k)\mathbf{R} \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

ile verilir (Akyılmaz ve diğ., 2007; Ayan, 2003; Turgut ve İnal, 2003; Kutoğlu, 2001; Kutoğlu ve diğ. 2001; Güllü, 1999; Wolf ve Ghilani, 1997; Üstün, 1996; Kılıçoğlu, 1995; Leick, 1995; Ayan, 1981).

Burada, $(1+k)$ ölçek faktörü, (t_x, t_y, t_z) öteleme parametreleri, (\mathbf{R}) 3x3 x, y, z eksenleri doğrultusundaki ortogonal dönüklük matrisidir. \mathbf{R} dönüklük matrisi, ardışık olarak gerçekleşen üç dönüklüğün bir sonucudur. Sırasıyla x, y, z eksenleri etrafındaki dönüklükler (2.36a, 2.36b, 2.36c) eşitlikleri ile gösterilir.

$$\mathbf{R}_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (2.36a)$$

$$\mathbf{R}_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \quad (2.36b)$$

$$\mathbf{R}_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.36c)$$

Dönüklük matrislerinin değişme (komitatif) özelliği olmaması nedeniyle eksenler etrafında dönme sırası önemlidir. Örneğin $(\mathbf{R}_x\mathbf{R}_y\mathbf{R}_z \neq \mathbf{R}_y\mathbf{R}_x\mathbf{R}_z)$ değildir ve çarpımları sağdan sola yapılır. Dönüştürülecek koordinatların sistemleri farklıysa (Örneğin; sol sistemden sağ sisteme dönüşüm yapılacaksa) koordinat eksenlerini ters yöne çevirmek için refleksiyon matrislerinden faydalanılır. Eksenlerin yönlerini ters çeviren refleksiyon matrisleri sırasıyla;

$$\mathbf{C}_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{C}_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{C}_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

olarak ifade edilir. Refleksiyon matrislerinin (örneğin; $\mathbf{C}_x \mathbf{C}_y \mathbf{C}_z = \mathbf{C}_y \mathbf{C}_x \mathbf{C}_z$) gibi değişme (komitatif) özelliği vardır. Dönüklük matrislerinin ardışık çarpımı ile, genel bir dönme matrisi $(\mathbf{R}=\mathbf{R}_x\mathbf{R}_y\mathbf{R}_z)$,

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \cos\beta\sin\gamma & -\sin\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\beta \\ \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

olarak elde edilir. Dönüklüklerin çok küçük olduğu durumlarda sinüslü terimlerin açının radyan değerine, cosinüslü terimlerin 1'e eşit olduğu varsamıyla lineer dönme matrisi;

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} I & R_z & -R_y \\ -R_z & I & R_x \\ R_y & -R_x & I \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

olarak elde edilir (Kutoğlu, 2001).

$\mathbf{x} = [t_x \ t_y \ t_z \ (I+k) \ R_x \ R_y \ R_z]$ ile gösterilen dönüşüm parametreleri vektörünün hesaplanması için EKK gözlem eşitliklerinin katsayılar matrisi A aşağıdaki şekli alır. Burada n , dönüşüm probleminde her iki sistemde de koordinatları bilinen ortak nokta sayısıdır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_1^A & 0 & -z_1^A & y_1^A \\ 0 & 1 & 0 & y_1^A & z_1^A & 0 & -x_1^A \\ 0 & 0 & 1 & z_1^A & -y_1^A & x_1^A & 0 \\ 1 & 0 & 0 & x_2^A & 0 & -z_2^A & y_2^A \\ 0 & 1 & 0 & y_2^A & z_2^A & 0 & -x_2^A \\ 0 & 0 & 1 & z_2^A & -y_2^A & x_2^A & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & x_n^A & 0 & -z_n^A & y_n^A \\ 0 & 1 & 0 & y_n^A & z_n^A & 0 & -x_n^A \\ 0 & 0 & 1 & z_n^A & -y_n^A & x_n^A & 0 \end{bmatrix} \quad i=1, \dots, n \quad (2.40)$$

Daha sonra buradan

$\ell = \|X_1^B \ Y_1^B \ Z_1^B \ X_2^B \ Y_2^B \ Z_2^B \ \dots\|^T$ gözlem denklemleri aşağıdaki gibi

$$\mathbf{v} = A \mathbf{x} - \ell \quad (2.41)$$

olur.

x_s, y_s, z_s , ağırlık merkezi koordinatları ve $x_i = x_s + \Delta x_i$, $y_i = y_s + \Delta y_i$, $z_i = z_s + \Delta z_i$

$i=1, \dots, n$ denirse,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x_1^A & 0 & -\Delta z_1^A & \Delta y_1^A \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y_1^A & \Delta z_1^A & 0 & -\Delta x_1^A \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z_1^A & -\Delta y_1^A & \Delta x_1^A & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \Delta x_2^A & 0 & -\Delta z_2^A & \Delta y_2^A \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y_2^A & \Delta z_2^A & 0 & -\Delta x_2^A \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z_2^A & -\Delta y_2^A & \Delta x_2^A & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & \Delta x_n^A & 0 & -\Delta z_n^A & \Delta y_n^A \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y_n^A & \Delta z_n^A & 0 & -\Delta x_n^A \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z_n^A & -\Delta y_n^A & \Delta x_n^A & 0 \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

ve ağırlık merkezi ve kaydırılmış koordinatlarla tanımlanmış gözlem vektörü

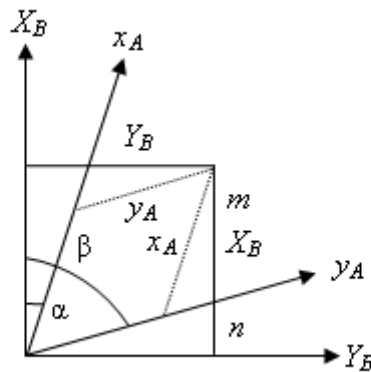
$-\ell = [x_s - X_1 \ y_s - Y_1 \ z_s - Z_1]^T$ elde edilir. Dönüşüm parametreleri EKK ile

hesaplandıktan sonra, x_i^A, y_i^A, z_i^A koordinatları X_i^B, Y_i^B, Z_i^B koordinat sistemine dönüştürülür (Ayan, 1981; Ayan, 2003; Akyılmaz ve diğ., 2007).

2.3.2 Afin dönüşümü

Jeodezik ağ noktalarının farklı koordinat sistemlerindeki koordinatlarının birbirleri ile olan ilişkilerinin ortaya konulması Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde yaygın bir uygulamadır (Akyılmaz ve diğ. 2007). Jeodezide genellikle benzerlik dönüşümü kullanılmasına rağmen fotogrametri ve kartoğrafyada durum farklıdır. Çünkü film, kağıt vb. maddeler deformasyona uğradıkları zaman her iki eksen boyunca bozulmalar aynı olmaz (Turgut ve İnal, 2003; Kılıçoğlu, 1995). Bu durumda afin dönüşümü tercih edilir. İki boyutlu bir afin dönüşümü x, y yönlerinde farklı ölçek içermesi (Uzun, 2005) ve koordinat eksenlerinin dik olması koşulunun aranmaması bakımından benzerlik dönüşümünden farklıdır (Uzun, 2005; Ayan, 2003). Dönüşümde uzunluklar yöne bağlı olarak değişir. Belirli bir yönde ölçek değişmez kalır. Açılar dönüşümden sonra değişir. Açılarının değişimi açı kollarının doğrultusuna bağlıdır. Açı koruyan bir dönüşüm değildir. Herhangi bir doğru, dönüşümden sonra yine bir doğrudur. Paralel doğrular dönüşümden sonra da paraleldir fakat alanlar dönüşümden sonra sabit bir miktar kadar değişir. Bu sabit miktar dönüşüm matrisinin determinantına eşittir. Bir kare, afin dönüşümü sonucu paralel kenara dönüşmektedir (Uzun, 2005; Turgut ve İnal, 2003).

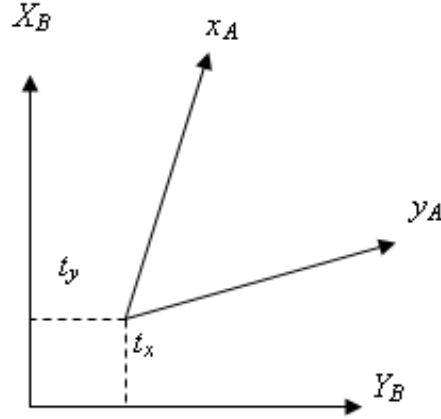
Afin dönüşümde birinci sistem x_A, y_A eksenlerinin birbirine dik olacağı varsayımından vazgeçilir. Bu durumda dönüşüm eşitliklerinin, Şekil 2.2 den,



Şekil 2.2 : Afin dönüşüm elemanları.

$$\begin{aligned}
m &= x_A \cos \alpha ; n = y_A \cos \beta \\
X_B &= m + n = x_A \cos \alpha + y_A \cos \beta ; Y_B = x_A \sin \alpha + y_A \sin \beta
\end{aligned}
\tag{2.43}$$

olduğu çıkarılır. Ayrıca Şekil 2.3 te gösterildiği şekilde x_A ve y_A eksenlerindeki ölçek farklılığının da değişik ve $k_x; k_y$ olduğu varsayımı ile t_x ve t_y ötelemesi ile;



Şekil 2.3 : Afin dönüşümünde ölçek farklılığı ve öteleme elemanlarının gösterimi.

$$\begin{aligned}
Y_B &= t_y + k_x x_A \sin \alpha + k_y y_A \sin \beta \\
X_B &= t_x + k_x x_A \cos \alpha + k_y y_A \cos \beta
\end{aligned}
\tag{2.44}$$

olur.

$$\begin{aligned}
a_1 &= k_x \sin \alpha ; b_1 = k_x \cos \alpha \\
a_2 &= k_y \sin \beta ; b_2 = k_y \cos \beta
\end{aligned}
\tag{2.45}$$

denirse; $i=1,2,\dots,n$ eşlenik nokta indisi olmak üzere, fonksiyonel model:

$$\begin{aligned}
Y_i^B + v_{y_i} &= t_y + a_1 x_A + a_2 y_A & ; & \quad k_x = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} ; k_y = \sqrt{a_2^2 + b_2^2} \\
X_i^B + v_{x_i} &= t_x + b_1 x_A + b_2 y_A & ; & \quad \tan \alpha = \frac{a_1}{b_1} ; \tan \beta = \frac{a_2}{b_2}
\end{aligned}
\tag{2.46}$$

olur (Ayan, 2003). Böylece gözlem eşitliklerine ilişkin, gözlem vektörü, bilinmeyenler vektörü ve de katsayılar matrisi aşağıdaki gibi olur.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_1^A & 0 & y_1^A & 0 \\ 0 & 1 & 0 & x_1^A & 0 & y_1^A \\ 1 & 0 & x_2^A & 0 & y_2^A & 0 \\ 0 & 1 & 0 & x_2^A & 0 & y_2^A \\ 1 & 0 & x_3^A & 0 & y_3^A & 0 \\ 0 & 1 & 0 & x_3^A & 0 & y_3^A \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} t_y \\ a_1 \\ b_1 \\ t_y \\ a_2 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad \ell = \begin{bmatrix} Y_1^B \\ X_1^B \\ Y_2^B \\ X_2^B \\ Y_3^B \\ X_3^B \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

Dönüşüm parametreleri (2.7) eşitliği ile hesaplanır.

2.4 Gerilme Analizi

2.4.1 Genel bilgiler

Cisimlerin deformasyonları (strain) kendilerine uygulanan gerilim (stress) alanı ile ifade edilebilir. Bu nedenle gerilme konusu, yer kabuğu deformasyonları, depremler, heyelanlar, derin kütle hareketleri vb. olgulara yönelik çalışmalar açısından, yeryüzünün gerilim alanı hakkında bilgi sahibi olabilmek için jeofizik ve jeodezinin önemli bir ilgi alanını oluşturmaktadır (Brunner, 1979).

Bir bölgenin yerdinamiği (geodynamic) faaliyetleri ile ilgili yer kabuğu deformasyonları çalışmalarında, deprem tahmini ve sismik risk azaltma araştırmalarında, jeodezik yöntemlerin uygulaması izlenmesi gereken bir yoldur. Prensipite, yer kabuğu deformasyonlarının analizi aynı zamanda bir jeodezik problemdir çünkü jeodezi yeryüzünün değişimi ile ilgilenir. Bu değişimi belirleyecek ölçme ve analiz yöntemleri geliştirir (Pietrantonio ve Riguzzi, 2004).

Tekrarlı jeodezik ölçmeler özellikle aktif fayların yakınındaki yer kabuğu gerilme değerlerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır (Brunner ve diğ., 1981).

Yer kabuğunda oluşan gerilmeler, sismik verilerden ve jeodezik verilerden olmak üzere iki farklı yöntemle belirlenebilmektedir. Beklenen, her iki yöntemle bulunan sonuçların uyuşmasıdır. Jeodezik verilerden gerilmelerin belirlenmesine yönelik çalışmalarda,

- jeodezik ağ noktalarının söz konusu bölgeyi temsil ettiği,
- söz konusu alanda ve zaman aralığında noktalarda oluşan yer değiştirmelerin lineer olduğu ve gerilme birikiminin uniform olduğu temel varsayımı yapılır (Deniz, 2007; Denli, 1998).

Gerilme analizi, yerkağı deformasyonlarının yorumlanmasının son aşamasıdır. Homojen gerilme parametreleri, inceleme konusu alanda tesis edilen bir jeodezik ağı noktaları için hesaplanan deformasyon vektörlerinden veya bu noktalarda tekrarlanmış gözlemlerin farklarından elde edilebilir (Deniz, 1997).

2.4.2 Gerilme analizi yöntemi

Gerilme analizi için, analizin uygulanacağı yeryüzü parçasında, analize konu yapı veya gemi v.b. objelerde tekrarlı ölçülerde kullanılacak kontrol noktaları ile işaretlenir. Bu noktalar kümesi kontrol ağı adını alır. Hem deformasyon beklenen yüzey dışından örneğin uydulardan veya stabil kontrol noktalarından hem de birbirlerinden ölçülür. Bu ölçmeler uydu, açı, kenar, nivelman ölçmeleri olup bir ölçme kampanyasına sığdırılır. Bu ölçmelere deformasyon ölçmeleri denir. Bu ölçmeler kampanyalar arası sürebilen, sürekli (permanent) ölçmelerle veya deformasyondan yorumlamaya yarayacak, jeodezik olmayan (örneğin, taban su seviyesi ölçümleri, jeolojik etüdler gibi) ölçümlerle de desteklenebilir.

Kontrol ağı noktalarının her bir ölçme kampanyası sonucunda koordinatlarının hesabı ve bunların önceki kampanya ile karşılaştırarak , elde edilen farkların istatistik test yöntemleri ile analizi deformasyon analizi adını alır.

Gerilme analizi, kontrol ağı noktalarındaki küçük nokta hareketleri halinde oluşan geometrik değişimin, gerilmeler halinde inceleyen bir analiz yöntemidir. Gerilmelerin sebep olacağı büyük hareketlerin yeri ve yönünü vurgulaması açısından da çok önemlidir.

2.4.3 Afin dönüşümü ve gerilme analizi

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

$$\mathbf{x}' = \mathbf{F} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{t} \quad (2.48)$$

olur.

Burada, rotasyon ve distorsiyonu içeren, \mathbf{F} deformasyon matrisi;

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} \frac{dx'}{dx} & \frac{dx'}{dy} \\ \frac{dy'}{dx} & \frac{dy'}{dy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{yx} & f_{yy} \end{pmatrix} \quad (2.49)$$

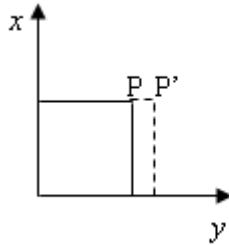
anlamındadır. \mathbf{F} matrisi içindeki köşegen terimler (f_{xx}, f_{yy}) eksenler yönündeki birim uzunluktaki değişmeyi verirken, çapraz terimler (f_{xy}, f_{yx}) ise kesme gerilmesi (shear strain) olarak adlandırılmaktadır.

Buradan deformasyon vektörü \mathbf{u} için,

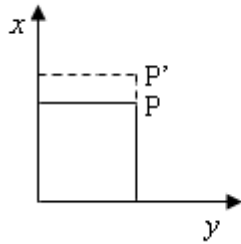
$$\mathbf{u} = \mathbf{x}' - \mathbf{x} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{t} - \mathbf{x} = (\mathbf{F} - \mathbf{I}) \cdot \mathbf{x} + \mathbf{t} = d\mathbf{F} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{t} \quad (2.50)$$

yazılır. $d\mathbf{F}$, deformasyon gradyentidir.

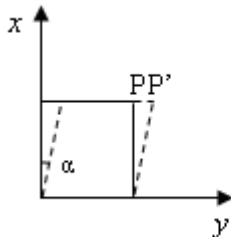
Literatürdeki çalışmalarda genellikle öteleme bilinmeyi parametreleri \mathbf{t} ihmal edilir. Genel olarak, hem sabit hem de deformasyona uğramış çalışma bölgelerini içeren heyelan izleme çalışmalarında distorsiyon parametreleri ile birlikte öteleme parametrelerinin de kestiriminin yararlı olacağı görülür. Şekil 2.4 'te \mathbf{F} deformasyon matrisinin her bir bileşeni için örnekleri göstermektedir.



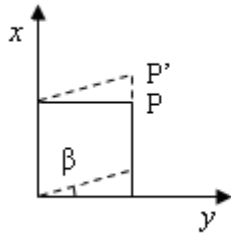
$$\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= f_{yy} y \end{aligned} \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & f_{yy} \end{pmatrix}$$



$$\begin{aligned} x' &= f_{xx} x \\ y' &= y \end{aligned} \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} f_{xx} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



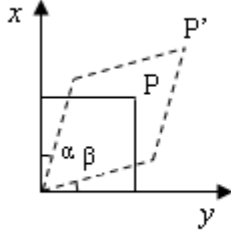
$$\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= \tan \alpha x + y \end{aligned} \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ f_{yx} & 1 \end{pmatrix}$$



$$x' = x + \tan \beta y$$

$$y' = y$$

$$F = \begin{pmatrix} 1 & f_{xy} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



$$x' = f_{yx}x + \tan \beta y$$

$$y' = \tan \alpha x + f_{yy}y$$

$$F = \begin{pmatrix} 1 & f_{xy} \\ f_{yx} & 1 \end{pmatrix}$$

Şekil 2.4 : F deformasyon matrisi bilşenlerinin geometrik anlamı.

Öteleme parametrelerinin (t_y, t_x) kullanılmamasını öneren Welsch'in (1982) aksine, heyelan bloklarını belirleme çalışmalarında öteleme parametrelerinin entegrasyonunun bir bloğun hareket modelinin tam olarak tanımlanmasında faydalı olabileceği görülmüştür. Burada gerilme parametrelerinin dönme hareketinden ileri gelen distorsiyona uğramalarından kaçınılması amaçlanmıştır.

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,

$$F = R V \tag{2.51}$$

olarak iki matrisin çarpımı biçiminde gösterilebilir. Burada;

R : ortogonal rotasyon matrisi

V : simetrik distorsiyon matrisidir.

(2. 51) eşitliğinden

$$V=R^{-1}. F = R^T. F \quad (2.52)$$

olur. Eğer rotasyon açısı ω ise,

$$R = \begin{pmatrix} \cos\omega & \sin\omega \\ -\sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix} \quad (2.53)$$

bu eşitlikten,

$$V = \begin{pmatrix} f_{xx}\cos\omega - f_{yx}\sin\omega & f_{xy}\cos\omega - f_{yy}\sin\omega \\ f_{yx}\cos\omega + f_{xx}\sin\omega & f_{yy}\cos\omega + f_{xy}\sin\omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{xx} & v_{xy} \\ v_{yx} & v_{yy} \end{pmatrix} \quad (2.54)$$

olarak bulunur. Distorsiyon matrisinin simetrik olması nedeniyle,

$$f_{yx}\cos\omega + f_{xx}\sin\omega = f_{xy}\cos\omega - f_{yy}\sin\omega \quad (2.55)$$

eşitliğinden

$$\tan\omega = \frac{f_{xy} - f_{yx}}{f_{xx} + f_{yy}} \quad (2.56)$$

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

$$C = F^T F = V^T R^T R V = V^T V \quad (2.57)$$

Cauchy tensörü ve buradan,

$$G = \frac{1}{2}(C - I) = \frac{1}{2}(F^T F - I) \quad (2.58)$$

eşitliği ile Green tensörü bağıntısı yazılabilir. (2.57) ve (2.58) eşitliklerinden,

$$V^T V = I + 2G \quad (2.59)$$

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

$$V_i = I + G_i = I + E \quad (2.60)$$

olarak alınabilir. Burada E ; gerilme tensörüdür ve ,

$$E = \begin{pmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{pmatrix} \quad (2.61)$$

eşitliğiyle verilir. Gerilme tensörü bileşenleri;

e_{xx} : x eksenine doğrultusundaki birim uzunluktaki değişme

e_{yy} : y eksenine doğrultusundaki birim uzunluktaki değişme

e_{xy} : kesme gerilmesi (shear strain)

olarak adlandırılır. (2.50), (2.58) ve (2.59) eşitliklerinden,

$$E = \frac{1}{2} (dF + dF^T) \quad (2.62)$$

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

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \omega_i \\ -\omega_i & 1 \end{pmatrix} = I + dR_i \quad (2.63)$$

olacaktır. Bu durumda, (2.60) ve (2.63) eşitliklerinden sonsuz küçük gerilmeler için deformasyon matrisi F_i ,

$$F_i = R_i V_i = R_i + E \quad \text{veya} \quad dF_i = dR_i + E \quad (2.64)$$

olarak elde edilir. Sonsuz küçük dönme açısı ise

$$\omega_i = \frac{1}{2} (f_{xx} - f_{yx}) \quad (2.65)$$

eşitliğinden bulunur. Eğer jeodezik verilerden sonsuz küçük gerilmeler için deformasyon gradyenti dF_i hesaplanırsa, (2.63) ve (2.64) eşitliklerinden gerilme tensörü E bulunabilir (Deniz, 1990).

2.4.4 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 ve diğ., 2008a; Url-3). Heyelan bloklarının belirlenmesinde pratik nedenler için, dönüşüm parametreleri yerine gerilme parametreleri ile çalışmak daha iyi olacaktır çünkü 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.

$$\begin{aligned} u_{x_i} &= x'_i - x_i = t_x + e_{xx} \cdot x_i + e_{xy} \cdot y_i + \omega \cdot y_i \\ u_{y_i} &= y'_i - y_i = t_y + e_{yx} \cdot x_i + e_{yy} \cdot y_i - \omega \cdot x_i \end{aligned} \quad (2.66)$$

Problemin bilinmeyen parametreleri

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

ve katsayılar matrisi

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

ile

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} dx_i \\ dy_i \end{bmatrix} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{p} \quad (2.67)$$

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 2005).

(2.68)

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

(2.69)

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

(2.70)

$$\tan 2\theta = \frac{2e_{xy}}{e_{xx} - e_{yy}}$$

(2.71)

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

Burada,

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.

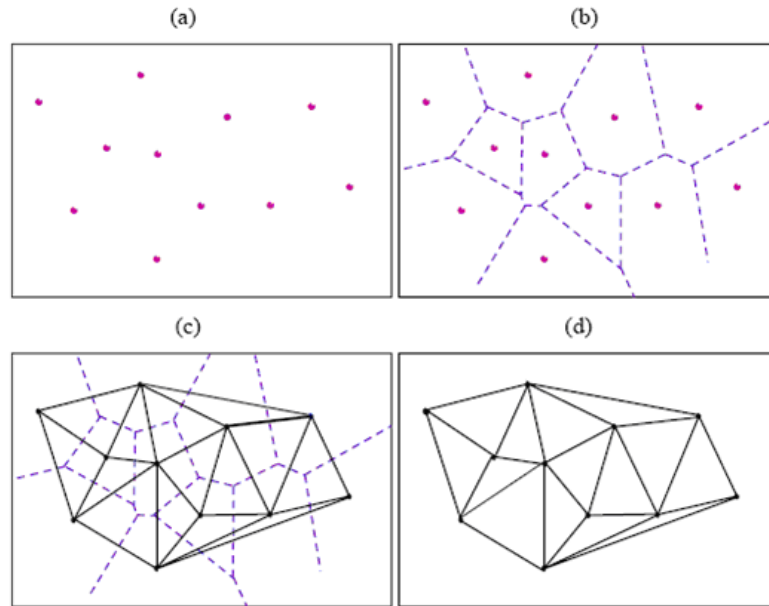
Gerilme tensörü parametreleri e_1 , e_2 , θ distorsiyon durumunu tanımlamak için gerekli olan bütün bilgileri içerir. Gerilme tensörünün köşegen elemanları pozitif veya negatif değerler olabilir. Söz konusu eksen doğrultuları için, pozitif değer ($e_1, e_2 > 0$) uzamayı ve negatif değer ($e_1, e_2 <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

2.5 Voronoi Diyagramı Ve Delaunay Üçgenlemesi

Deformasyon analizi çalışmalarında deformasyon ağına ait noktaların konum bilgileri elde edildikten sonra, bu veriler yardımıyla, heyelan bloklarının belirlenmesinde noktalar arasındaki koordinat değişimi ilişkilerinin kurulabilmesi

için, bu noktalardan üçgenler oluşturulması gereklidir. İnterpolasyon yöntemlerinde kullanılan bu yöntem deformasyon analizinde de kullanılmaktadır. Üçgenleme yöntemleri arasında ilk akla gelen Delaunay üçgenlemesidir. Delaunay üçgenlemesi, hesaplamalı geometride yaygın bir kullanıma sahiptir. Delaunay üçgenleme yapısına geçmeden Voronoi diyagramını incelemek gerekir. Bu diyagram literatürde Dirichlet, Thiessen ya da Wigner-Seitz diyagramı olarak da anılmaktadır. Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesine ait herhangi bir noktaya kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine o noktanın Voronoi çokgeni, kümedeki tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimine de o kümenin Voronoi diyagramı denir. Bu diyagram en yakın nokta problemleri için kullanılan bir yöntemdir (Çakır, 2005; Yanalak, 2001; Yanalak, 1997). Burada noktanın özellikleri itibariyle kendisini çevreleyen (sınırlayan) alanı temsil ettiği düşünülür.

Şekil 2.5’de nokta kümesi ve bu noktalara ait Voronoi Diyagramı ve Delaunay Üçgenleri görülmektedir. Bir noktanın Voronoi çokgeni herhangi bir noktayı, kendisine en yakın konumdaki komşu noktalardan ayırmaktadır. Çokgenin kenarları, nokta ile komşu noktaları birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmelerinden oluşmakta olup, her nokta kendisine komşu noktalar ile birleştirildiğinde Delaunay üçgenlemesi elde edilmektedir (Selvi ve Bildirici, 2005; Çakır, 2005; Yanalak, 2001).

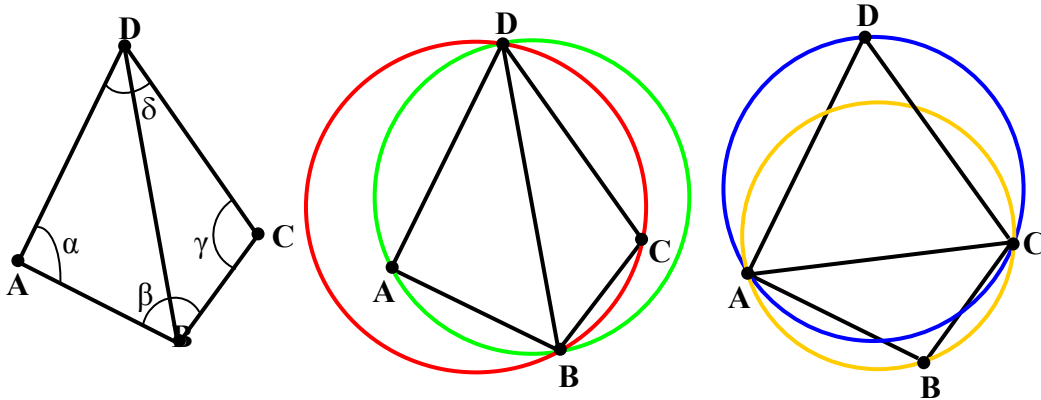


Şekil 2.5 : a) Rastgele dağılmış noktalar b) Voronoi diyagramı c) Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenlemesi d) Delaunay üçgenlemesi.

Delaunay üçgenlemesinde temel amaç rasgele dağılmış noktalardan mümkün olduğunca eşkenar üçgene yakın üçgenlerle çalışma bölgesini kaplamaktır (Selvi ve diğ., 2007; Selvi ve Bildirici, 2005). Böylelikle çok dar açılı üçgenlerin oluşumu, dolayısıyla, birbirlerine uzak olan ve direkt ilişkisi bulunmayan noktalar arasında doğrusal bir ilişki kurulması engellenmektedir (Şekil 2.6). Delaunay üçgenlemesi ve Voronoi diyagramı birbirleri ile eşlenik olup, biri diğerinden elde edilebilir .

Delaunay üçgenlemesine ait bazı önemli özellikler şunlardır:

- Tek anlamlıdır. Başlangıç noktasından bağımsızdır.
- Oluşan üçgenler en olası eşkenar üçgenlerdir (eşaçılılık özelliği).
- Üçgenlerin çevrel çemberi içerisinde bir başka nokta yer almamaktadır (çevrel çember özelliği).
- Veri kümesinin dışbükey çerçevesi üçgenlemede yer almaktadır. Bir nokta kümesinin dışbükey çerçevesi o kümeyi içine alan en küçük çokgendir.
- Dayanak noktaları kümesinde birbirine en yakın konumda bulunan nokta çiftinin oluşturduğu doğru parçası üçgenlemede yer almaktadır.
- Her bir noktayı kendisine en yakın nokta ile birleştiren doğru parçası bir üçgen kenarını oluşturmaktadır (Yanalak, 2001).



Şekil 2.6 : a) α ve γ açılarının toplamının 180° den büyük olması b) Çemberlerin 3'ten daha fazla nokta içermesi c) Uygun olan Delaunay üçgenlemesi.

2.6 Bulanık Sistem İle Modelleme

2.6.1 Genel Bilgiler

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünce ve kararlar verilememesinden kaynaklanır. Birçok sosyal, ekonomik ve teknik konuda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işleyemezler ve çalışmaları için sayısal bilgiler gereklidir. Gerçek bir olayın insan bilgisinin sonucunda tam anlamı ile kavranması mümkün olmadığından, insan düşünce sisteminde ve aklında bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumlar. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünebilme ve yetersiz, eksik, belirsizlik içeren bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Bu durumlar bilgisayarlarda bulunmaz. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına *bulanık kaynaklar* adı verilir. Zadeh (1973) tarafından ortaya konulan *bağdaşmazlık ilkesi* karmaşıklık ve belirsizliğin birbirleri ile korelasyonlu olduğunu, gerçek dünyaya ilişkin problemler ne kadar yakından incelenirse çözümün giderek artan derecede bulanık olacağı şeklinde ifade etmiştir. Gerçekten de bir problem ne kadar ayrıntılı olarak ele alınırsa, tüm bu ayrıntıların bütün olarak insan beyni tarafından verimli bir şekilde kavranması ve işlenmesi imkansız olacaktır ve dolayısıyla da bunlardan kesin sonuç çıkarmak mümkün olmayacaktır (Akyılmaz, 2005; Yılmaz, 2005; Kişi, 2003; Şen, 2001).

Bir sistem hakkında ne kadar fazla bilgi sahibi olursak, onu o kadar daha iyi anlayabiliriz ve onun hakkındaki karmaşıklıklar da o derece azalır, fakat tamamen yok olmaz. İncelenen sistemlerin karmaşıklığı ne kadar fazla ve veri miktarı da o kadar az ise bulanıklık o kadar etkili olacaktır. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir.

Modelleme amacıyla kullanılan hesap yöntemlerini genel olarak matematik eşitlikler, modelden bağımsız yöntemler ve bulanık sistemler olarak üç ana gruba ayırabiliriz. Bunlardan kapalı formdaki matematik eşitlikler, çok az karmaşıklık ve belirsizlik içeren sistemlerde presizyonlu sistem tanımlama için çok elverişlidir. Biraz daha karmaşıklık içeren fakat anlamlı sayısal verilere dayalı sistemler için, yapay sinir

ağları gibi modelden bağımsız yöntemler öğrenme yoluyla belirsizliği azaltarak güçlü ve sağlam sonuçlar üretebilmektedir. Son olarak az sayıda sayısal verinin, eksik ve belirsizlik içeren bilgilerin bulunduğu en karmaşık sistemlerin tanımlanmasında ise bulanık ilişkilendirme giriş ve çıkış bilgileri arasında belli esaslara bağlı olarak ifade edilen dönüşüm ile sistemin davranışı hakkında bilgi edinmemizi sağlarlar.

Jeodezik ölçülerin ve modellerin değişen derecelerde belirsizlikler içerdiği bilinmektedir. Jeodezik ölçülerin ve bunlardan türetilen fonksiyonların hatası adını alan belirsizlikler, ölçmeler üzerindeki çevresel etkiler, insan duyularındaki ve de ölçme aletlerindeki yetersizliklerden kaynaklanmaktadır. Ölçme hatalarının belirlenmesi, kestirilmesi, elimine edilmesi ya da düzeltilmesi için çok sayıda iyi bilinen yöntem bulunmaktadır. Ne var ki, bazı özel durumlar için bu yöntemler yeterli değildir (Akyılmaz, 2005; Heine, 2001).

Rastlantısal hatalar hakkında bilgi edilebilmesi için yeterli sayıda rastgele örneklemelerin mevcut olması gerekir. Yani yeterinden fazla sayıda ölçme söz konusu olmalıdır. Fakat bazı durumlarda, özellikle sürekli izleme amacıyla yapılan ölçmelerde bu mümkün değildir, çünkü her bir ölçme (ya da gözlem) başka bir sistemin durumunu karakterize etmektedir. Bu durumda, bir ölçmenin doğruluğu ancak teorik standart sapma ile ifade edilebilir. Bu değerlendirme gerçekte güçlü değildir ve değerlendirme sürecinde genelde deneyimlerimize dayanarak ortaya koyduğumuz değerler kullanılmaktadır. Çoğu zaman sistematik hataların etkilerinin uygun ölçme yöntemleri ve ölçmelere getirilen uygun düzeltmelerle ortadan kaldırıldığı düşünülmektedir. Fakat bu ancak bozucu sistematik etkilerin bilinmesi durumunda yapılabilir. Zaman içerisinde zengin deneyimler kazandığımız doğrudur, fakat ölçmelerimiz üzerinde henüz bilmediğimiz çok sayıda bozucu etki olduğunu da göz ardı edemeyiz. Buna bir örnek olarak atmosfer modelleri gösterilebilir (Akyılmaz, 2005; Akyılmaz ve Ayan, 2003; Heine, 2001).

Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanmasının genel olarak nedenleri özetlenecek olursa;

- Bulanık mantığın anlaşılması kolaydır ve dayandığı matematiksel teori basittir. Bulanık mantığı çekici kılan şey, yaklaşımının doğallığı ve kompleks ya da karmaşıklıktan uzak olmasıdır.

- Bulanık mantık esnektir.
- Eksik yada yetersiz verilerle işlemler yapılabilir.
- Bulanık mantık karmaşık lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilir. Uyarlanabilir bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) gibi uyarlanabilir teknikler yardımı ile herhangi bir girdi ve çıktı veri kümelerini eşleştirerek bulanık modeller oluşturulabilir.
- Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanılır.
- 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).

2.6.2 Üyelik fonksiyonları

Bulanık küme teorisi Zadeh (1965) tarafından klasik küme teorisinin bir genelleştirilmesi olarak ortaya konulmuştur. Bu teori, ilk zamanlar bilimsel çevreler tarafından pek kabul görmese de özellikle 1970'li yıllardan itibaren birçok disiplin tarafından önemli bir araştırma konusu olmuş ve değişik uygulamalarda kullanılmıştır. Günümüzde bulanık mantık ve bulanık küme teorisi üzerine yazılmış çok sayıda kitap, basılmış çok sayıda teorik ve farklı disiplinlerin uygulamalarına ilişkin makaleler bulunmaktadır (Akyılmaz, 2005).

Bulanık sistemlerin en temel elemanı bulanık kümedir. Bulanık bir küme, değişik üyelik yani ait olma derecelerine sahip elemanları olan bir küme türüdür. Böyle bir küme, elemanlarının her birine 0 ile 1 arasında üyelik değeri atayabilen bir üyelik fonksiyonu ile karakterize edilebilir (Altaş, 1999). Buna üyelik derecesi adı verilir. Klasik küme teorisinde bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bulanık kümede ise kümeye dahil olmayan elemanların üyelik değerleri 0, kümeye tam dahil olanların üyelik değerleri de 1 olarak atanmaktadır; kümeye dahil olup olmadıkları belirsiz olan elemanlara ise belirsizlik durumuna göre 0 ile 1 arasında değerler atanır. Bir diğer ifade ile, klasik mantıktaki “evet-hayır” ya da “doğru-yanlış” gibi kesin ifadelerin aksine bulanık mantıkta sınırları keskin olmayan esnek ifadeler kullanılır. Oysa kesin küme teorisinde belirsiz eleman diye bir şey söz konusu değildir.

2.6.3 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, kesin bir sistem ile bulanık sistem arasındaki geçişi ifade eder şöyle ki, bulanıklaştırma işlemi, keskin sayısal değerler olan girdi değişkenlerinin bulanık kümelerdeki üyelik dereceleri ile ifade edilmesidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. İşte böyle olunca da, bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir.

2.6.4 Üyelik derecesi ataması

Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin (Ü) gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından kişisel algılama (sezgi), mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile, ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre alınmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerin tümü bu çalışmada gösterilmeyecek kadar fazladır. Başlıcaları:

- Algılama (sezgi)
- Çıkarım
- Mertebelme
- Açılı bulanık kümeler
- Yapay sinir ağları
- Genetik algoritmalarıdır.

Bunlardan algılama fazlaca yöntem bilim bilgisi gerektirmemektedir. Zaten bu bölümün başlarında üyelik derecesi ve fonksiyonlarının algılama ile elde edilmesi konusunda açıklamalar yapılmıştır. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışı önemli rol oynar. Buna en basit örnek herkesin, hemen her gün karşı karşıya kalarak görüş ileriye sürdüğü sıcaklık kelimesinin belirttiği belirsiz alt kümeleri düşünebiliriz. En azından soğuk, serin, ılık ve sıcak gibi dört tane alt küme belirlenebilir.

Çıkarım ile bulanık küme üyelik fonksiyonlarının bulunması için mutlaka incelenen olay hakkında bazı temel bilgilere sahip bulunmak gereklidir.

Üyelik fonksiyonu atamalarında mertebelenendirme yöntemi de kullanılır. Burada bir bulanık değişken hakkında anketler, araştırmalar veya seçimler yapılarak üyelik derecelerinin atanmasına çalışılır. Her zaman, verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır veya bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler yapılır. Üyelik fonksiyonlarının atanması ile ilgili olarak özellikle yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi yöntemlerin kullanılmasına literatürde sıkça rastlanmaktadır (Şen, 2001).

2.6.5 Bulanık aritmetik

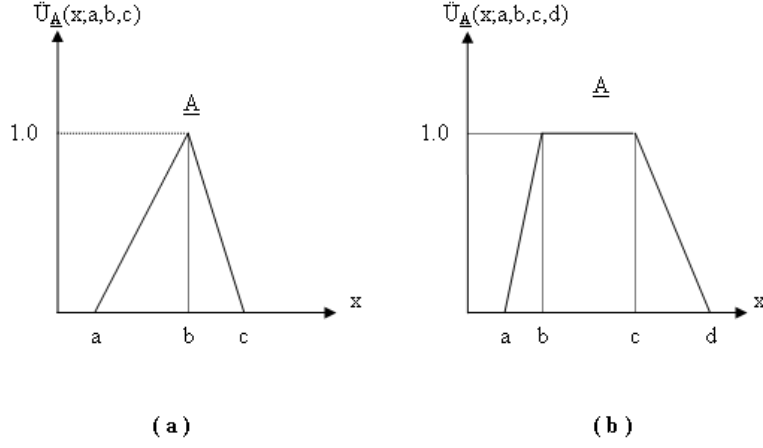
Bulanık kuralların öncül ve soncul kısımlarında bulunan, mesela, ‘yüksek hız’ gibi bulanık küme kısımları birer yaklaşıklık ifade eder. Bu bakımdan, ‘yaklaşık 3’, ‘yaklaşık 7’, ‘aşağı yukarı 9’, ‘5’den büyük ve yaklaşık’ gibi ifadelerin hepsi bir bulanık (yaklaşık) sayıyı ifade eder. Bu yaklaşıklıkların herbiri bir bulanık alt kümeye karşı gelir. Bu bulanık sayılarla bildiğimiz aritmetik işlemlerin yapılması durumu karşımıza çıkar ve bunun ayrıntılı olarak öğrenilmesi gerekmektedir.

Bulanık sayılar bazı kısıtlamaların altında tanımlanarak işlemler yapılır. Bir bulanık sayının olabilmesi için bunun A gibi bulanık kümesinin normal, dışbükey, sınırlı dayanak ve her üyelik derecesi kesiminde kapalı ve sonlu bir aralığın bulunması gerekir. Bulanık sayıların normal olabilmeleri için bulanık ifadedeki gerçek sayılardan en az birinin üyelik derecesinin 1’e eşit olması gerekir. Yani ‘yaklaşık 8’ ifadesinde $\tilde{U}(8) = 1$ ’dir.

Genel olarak pratik uygulamalarda kullanılan üçgen ve yamuk olmak üzere iki tane bulanık sayı söz konusudur. A bulanık kümesi ile gösterilen bir üçgen bulanık sayının yukarıda söylenenlere göre matematik ifadesi (Şekil 2.7).

$$\tilde{U}_A(x) = \tilde{U}_A(x; a, b, c) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ (c - x)/(c - b) & \text{eğer } b \leq x < c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2.72)$$

şeklindedir. Burada şimdiye kadar alışlagelmiş bir üyelik derecesi gösterimi $\tilde{U}_A(x; a, b, c)$ şeklinde karşımıza çıkar.



Şekil 2.7 : Bulanık sayılar **a) Üçgen b) Yamuk.**

Burada a ve c bulanık küme dayanağının sırası ile alt ve üst sınır değerlerini, b ise tam üyelikli tek sayıyı gösterir. Benzer olarak yamuk sayılar ise bu defa a , b , c ve d olmak üzere dört tane sayı ile temsil edilir. Bunlardan a ve d yamuk bulanık sayının dayanağının sırası ile alt ve üst sınırlarını, b ve c ise bu iki sayı arasında üyelik derecesi tam olan yamuk sayıların kümesinin sınırlarını gösterir. Yamuk sayının matematik gösterimi ise üçgen sayıya benzer olarak

$$\tilde{U}_{\tilde{A}}(x) = \tilde{U}_{\tilde{A}}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eğer } c \leq x < d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2.73)$$

şeklinde ifade edilir. Dikkat edilirse $b = c$ olduğu zaman yamuk bulanık sayı üçgen bulanık sayı haline dönüşür. Bu sayıların grafik gösterimleri Şekil 2.7(b)'de verilmiştir.

2.6.6 Durulaştırma

Pratik uygulamalarda, özellikle alet ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gerek duyulmaktadır. Bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli yanıtların verilmesi için bulanık olan bilgilerin durulaştırılması gerekmektedir (Kişi, 2003). İnsanlar için yapay zeka çalışmalarında bulanık değişken, küme, mantık ve sistemler öneme sahip olmasına karşın, bunların bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi

için yapılan işlemlerin tümüne durulaştırma adı verilir (Yılmaz, 2005; Kişi, 2003; Şen, 2001). Bulanık küme teorisi ve bulanık mantığın görevi burada sona erer (Yılmaz, 2007). Bulanık mantık kavramında birçok ara işlemde olduğu gibi durulaştırma işlemi için de önerilen farklı yöntemler vardır. Bunlardan en sık kullanılan iki tanesi sentroid (ağırlık merkezi) yöntemi ve de en büyük üyelik derecesine sahip elemanların ortalaması yöntemidir (Akyılmaz, 2005). Çıkarım bulanık kümesi Z , öğeleri z ve durulaştırılmış değer ise z^* ile gösterilmiştir (Yılmaz, 2005; Kişi, 2003; Şen, 2001).

En büyük üyelik ilkesi

Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılması için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Bu durulaştırma işleminin aritmetik notasyon şeklinde gösterimi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\underline{U}_C(z^*) \geq \underline{U}_C(z), \text{ tüm } z \in Z \quad (2.74)$$

Sentroid (ağırlık merkezi) yöntemi

Sentroid yöntemiyle durulaştırma aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$z^* = \frac{\int \underline{U}_C(z)zdz}{\int \underline{U}_C(z)dz} \quad (2.75)$$

Buradaki integral işareti integrasyon yapılacağı anlamına gelmektedir.

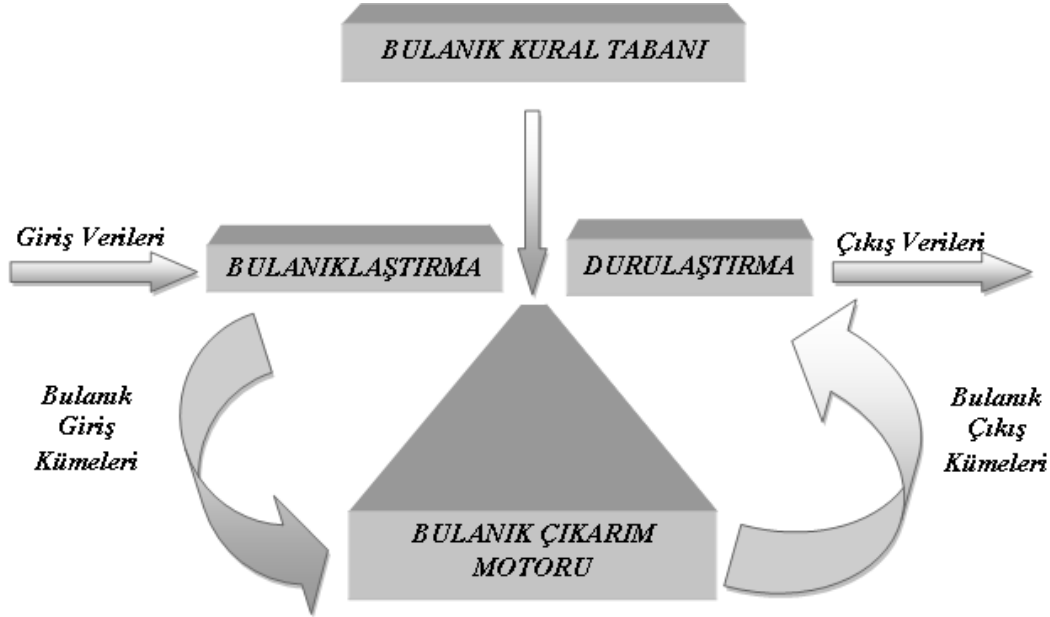
2.6.7 Bulanık çıkarım sistemleri (BÇS)

Bulanık sistemler, genel anlamda, giriş değişkenlerinden çıkış değişkenlerine dönüşümü sağlamak amacıyla bulanık kümeleri kullanan sistemlerdir. Bu sistemler, özellikle insan deneyimlerinin ve sözel verilerin modele katılmasında büyük yarar sağlamaktadırlar. Bulanık çıkarım sistemleri, bulanık *eğer-ise* kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan sistemlerdir. Bu nedenle bulanık çıkarım sistemleri, bulanık kural tabanlı sistemler olarak da adlandırılır. Bulanık çıkarım sistemlerinin temeli olan bulanık *eğer-ise* kuralları, 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 değişken(ler)i yer alır. Genel olarak bir bulanık kural aşağıdaki formdadır:

Kural: *eğer* A (“koşul”) *ise* B (“sonuç”)

Burada A öncül kısımdaki girdi değişkenlerince tanımlanan koşulları B ise soncul kısımdaki çıktı değişkenlerince tanımlanan sonuçları ifade eder (Akyılmaz, 2005). Şekil 2.8’de genel bir bulanık model sisteminin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.8 : Bulanık karar verme sisteminin yapısı.

1) Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenen olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

2) Bulanıklaştırma : Girdi değişkeninin öncül kısımdaki üyelik fonksiyonları ile karşılaştırılıp her bir sözel bulanık kümedeki üyelik değerlerinin elde edilmesidir.

3) Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal *eğer- ise* türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm ara (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.

4) Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak

sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor herbir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

5) Durulaştırma : Bütün kuralların soncul bölümlerinin birleştirilerek sistem çıktısı için tek bir keskin sayısal değerin belirlenmesidir.

6) Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir (Yılmaz ve Arslan, 2007; Yılmaz ve Arslan, 2005; Akyılmaz, 2005).

2.6.8 Bulanık çıkarım sistemi modelleri

Uygulamada bulanık çıkarım sistemleri için çok sayıda ve değişik modeller önerilmektedir (Akyılmaz, 2005; Jang ve diğ., 1997). Uygulamada bulanık mantık yöntemi ile model oluşturulurken başlıca iki yöntem yaygın olarak kullanılır. Bunlar; Mamdani ve Sugeno yöntemleridir (Yılmaz, 2005).

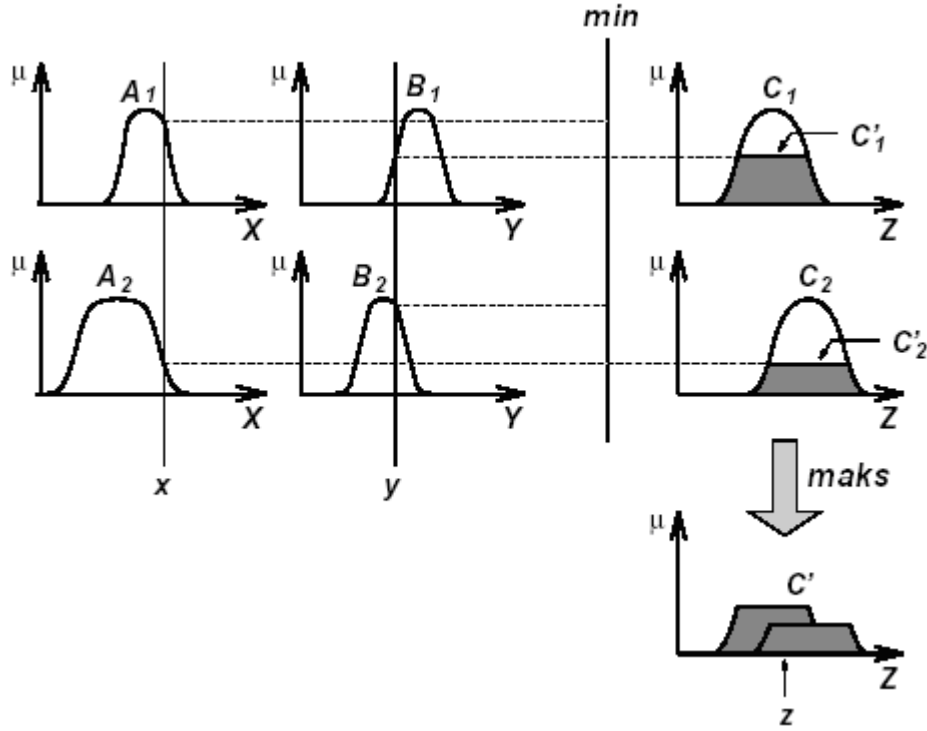
2.6.8.1 Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemleri

Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemleri, bulanık modellemenin en temel yöntemidir. İlk defa bir buhar motorunun insan tecrübelerinden elde edilen sözel kontrol kuralları yardımıyla kontrolü amacıyla kullanılmıştır (Mamdani ve Assilian, 1975). Bu modelde hem girdi değişkenleri hem de çıktı değişkeni kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilir (Akyılmaz, 2005; Yılmaz ve Arslan, 2005). Mamdani yöntemi sezgiye (tecrübeye) dayanır, insan davranış ve duyularına uygun, modelin oluşturulmasının basit ve diğer bulanık mantık modellemenin temelini oluşturması nedeniyle geniş bir şekilde uygulama alanı vardır.

Şekil 2.9'de x ve y gibi sayısal iki değişkeni içeren iki-kurallı bir Mamdani tipi bulanık çıkarım sisteminde z çıkış değerinin C_1 bulanık küme fonksiyonlarından nasıl hesaplandığı gösterilmektedir.

Kural 1: *eğer* $x \in A_1$ VE $y \in B_1$ *ise* $z \in C_1$

Kural 2: *eğer* $x \in A_2$ VE $y \in B_2$ *ise* $z \in C_2$



Şekil 2.9 : Bulanık VE ve VEYA işlemleri için sırasıyla minimizasyon ve maksimizasyon operatörlerini kullanan Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi, Akyılmaz (2005) ten uyarlanmıştır.

2.6.8.2 Takagi-Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemleri

Takagi-Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi (aynı zamanda TSK-Takagi-Sugeno-Kang modeli ya da Sugeno modeli olarak da bilinir). Bu model, ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Mamdani bulanık mantık yönteminin bir uyarlamasıdır. Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani bulanık modelleme ile tamamen aynıdır. İki yöntem arasındaki fark çıktı üyelik fonksiyonlarındadır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıktı üyelik fonksiyonları sadece doğrusal yada sabittir. Çıktı üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman, sıfırıncı derece, 1. derece 1. mertebeden polinom şeklinde olduğu zaman ise birinci derece Sugeno bulanık model olarak adlandırılırlar (Xuegong, 2000)

2.6.9 Uyarlanabilir bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)

Bulanık mantık denetleyicileri pek çok sayıdaki uygulamaların tasarımında ve iyileştirilmesinde önemli rol oynamışlardır. Pek çok durumda belirlenmesi güç olan veri miktarı, yöntem çeşidi, bulanık üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin ve kurallarının düzenli bir şekilde seçilmesi istenilen sonuçları elde etmek için kritiktir

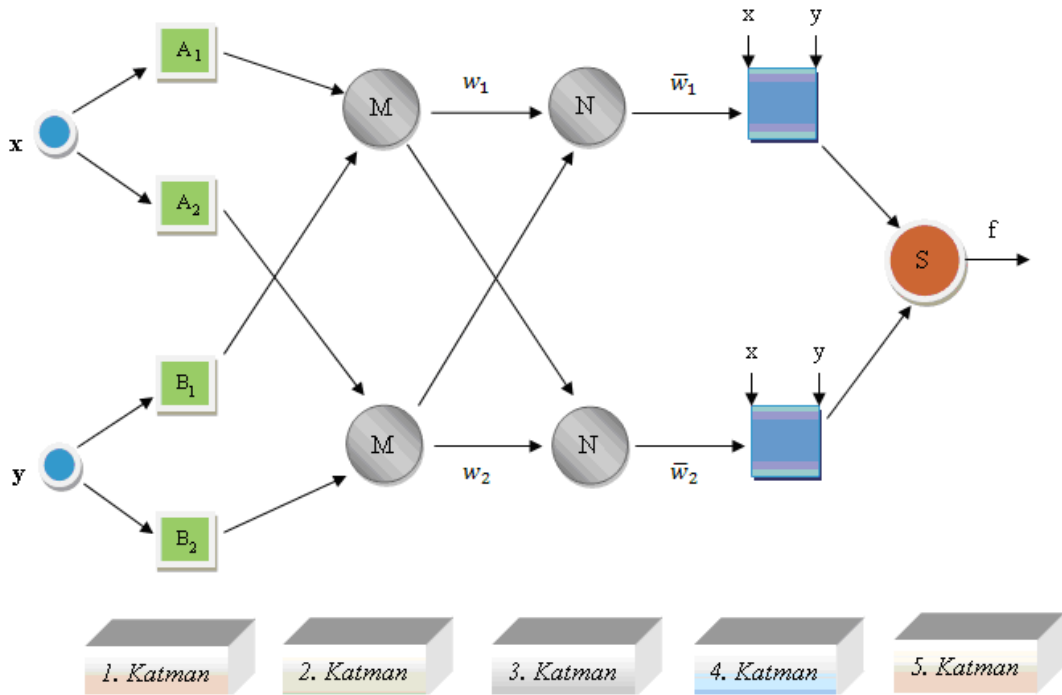
ve çok güçtür. Çoğu uygulamalarda hala deneme ve yanılma şeklinde yapılmaktadır. Bu gerçek uyarlanabilen bulanık sistemlerin önemini vurgulamaktadır (Jang, 1996).

Sugeno tipi ANFIS bulanık modeller öğrenme ve uyarlamayı kolaylaştıran uyarlanabilir sistemlerin çerçevesini çizmektedir. Böyle çerçeveler bulanık mantık denetleyicilerini daha sistematik bir duruma getirir ve böylece uzman bilgisine daha az gereksinim duyulmasını sağlar. ANFIS yapısını göstermek için 2 bulanık kurallı bir Sugeno bulanık modelini ele alalım.

Kural 1: **eğer** ($x = A_1$) ve ($y = B_1$) **ise** $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Kural 2: **eğer** ($x = A_2$) ve ($y = B_2$) **ise** $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$.

Bu iki kurallı uygulamak için olası ANFIS yapılarından birisi Şekil 2.10'da görülmektedir (Yılmaz, 2005; Akyılmaz ve diğ., 2003). Daire sabit bir düğüm noktasını, kare ise uyarlanabilir bir düğüm noktasını (verilerin eğitimi sırasında parametrelerin değiştiği) göstermektedir. O_{Li} ; L tabakasındaki i düğüm noktasındaki çıktıyı göstermek üzere;



Şekil 2.10 : İki girdili ve bir çıktılı ANFIS yapısı.

1. Katman: Bu katmandaki bütün düğüm noktaları uyarlanabilirdir. i düğüm noktalarında bulanık üyelik fonksiyonu (MF) ile gösterilen girdilerin üyelik dereceleri ve şöyle belirtilir:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad i = 1,2 \quad (2.76)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad i = 3,4$$

A_i ve B_i herhangi bir bulanık küme olabilir. Örneğin genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanılabilir;

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (2.77)$$

Burada a, b ve c üyelik fonksiyonu için parametrelerdir.

2. Katman : Bu katmandaki her bir düğüm, bir önceki katmandan gelen sinyaller üzerinde bulanık kesişim işlemlerini gerçekleştirip sonucu bir sonraki katmana gönderen dairesel düğümlerdir ve katmandaki düğüm noktaları sabittir. Bu düğüm noktaları basit bir çarpan rolüne sahip oldukları için **M** ile isimlendirilmişlerdir ve düğüm noktalarının sonuçları aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y) \quad (2.78)$$

Bu katmandaki her bir düğüm noktasının çıktısı kuralın ağırlığı (w_i) olarak adlandırılır.

3. Katman : Yine bu katmandaki bütün düğümler dairesel (sabit) düğümlerdir. Bir önceki katmandan gelen ağırlıkların normlandırılması işlemi yapıldığından **N** ile gösterilmiştir. Bu katmandaki her bir düğüm noktasının çıktısı şöyledir:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i=1,2 \quad (2.79)$$

Bu katmanın çıktısı normlandırılmış ağırlıklar olarak da adlandırılabilir.

4. Katman : Bu katmandaki her bir düğüm, ilgili kurala ait çıktı değerini normlandırılmış ağırlıklarla hesaplayan karesel düğümlerdir;

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad i=1,2 \quad (2.80)$$

Burada p_i , q_i ve r_i i -inci bulanık kural için bulanık çıkarım sisteminin soncul parametreleridir.

5. Katman : Bu katmandaki tek düğüm, aşağıdaki şekilde ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırmayı yapıp sistemin çıktı değerini hesaplayan dairesel düğümdür ve basit bir toplama işlemi yapıldığı için S ile gösterilmiştir. :

$$O_{s,i} = f = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad i=1,2 \quad (2.81)$$

1. katman girdi üyelik fonksiyonlarına ilişkin 3 uyarlanabilir parametreye (üyelik fonksiyonlarına ait a, b ve c) sahiptir. Bu parametreler öncül parametreler olarak adlandırılırlar. 4.katman da 1. derece polinoma ilişkin 3 uyarlanabilir parametreye (p, q ve r) sahiptir ve bu parametrelere de soncul parametreler denir (Acar ve diğ., 2006c; Yılmaz ve Arslan, 2006; Akyılmaz, 2005; Akyılmaz ve diğ., 2003; Jang, 1993).

2.7 Kartiller Arası Fark

Bir seriye ait gözlem değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında, serinin toplam frekansını iki, dört, on veya yüz eşit kısma ayıran değerler, genelde kantil (quintiles) olarak tanımlanmaktadır. Kantiller seriyi ayırdıkları kısım sayısına göre adlandırılmakta ve bu doğrultuda, seriyi gözlem sayısı yönünden iki eşit kısma ayıran değere medyan, dört eşit kısma ayıran değerlere kartil (quartiles), on eşit kısma ayıran değerlere desil (deciles) ve yüz eşit kısma ayıran değerlere persantil (percentiles) adı verilmektedir (Url-5).

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-6).

$$iqr = KAF = Q_3 - Q_1 \quad (2.82)$$

$\hat{I}qr$, verilerin ortasındaki %50'sinin yer aldığı intervalin genişliğidir. Bu fark, küçükten büyüğe doğru sıralanmış gözlem değerlerinden yarısının ne genişlikte bir

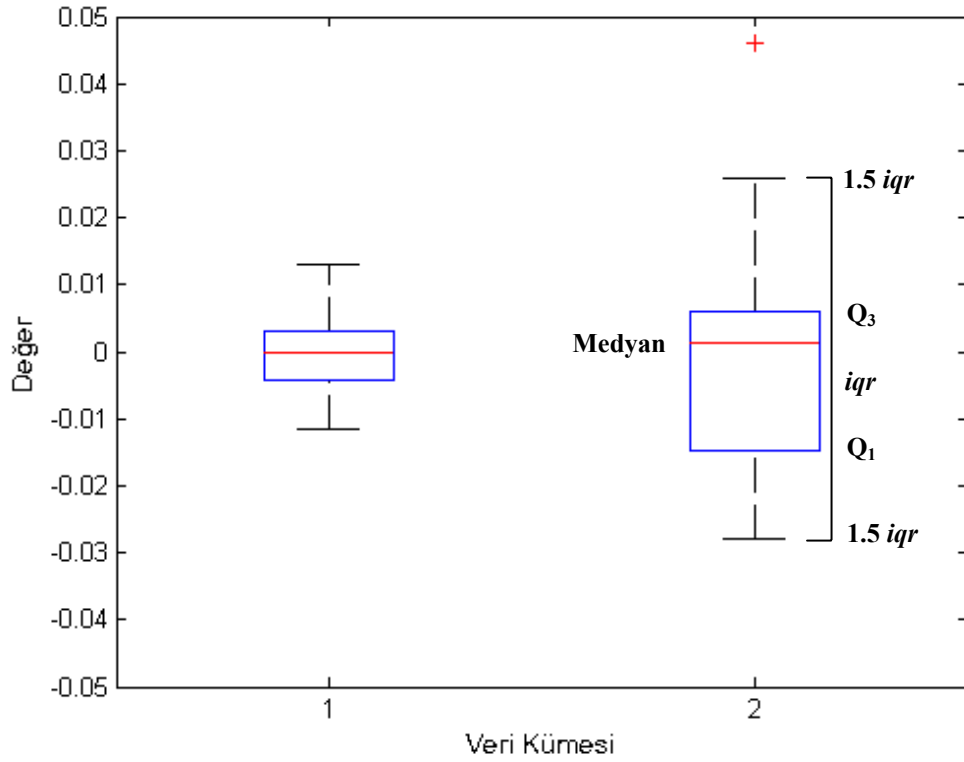
kısmını kapladığını belli eder ve değeri ne kadar büyük olursa değişkenliğin o kadar fazla olduğunu, ne kadar az ise orta %50 lik gruptaki değişkenliğin o kadar az olduğunu gösterir.

İqr değeri, olasılık dağılımının basit grafik gösterimleri olan kutu grafiklerinin çizilmesinde kullanılır. Kutu Grafiği (Boxplot / Box and Whisker Plot), bir örnekleminin 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-sayılı özet (five-number summary) önermiştir (Url-7). Bu beş sayı, en düşükten en yükseğe sıralı bir biçimde,

- 1-) Minimum değer,
- 2-) Birinci kartil (% 25'lik değer = Q_1),
- 3-) İkinci kartil (%50'lik değer= Q_2 = medyan),
- 4-) Üçüncü kartil (% 75'lik değer = Q_3),
- 5-) Maksimum değer olmaktadır.

Bu beş sayının bir arada görülebilecek şekilde düzenlenmesi ile bir grafik oluşturulmaktadır (Şekil 2. 11).

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) = $Q_1 - 1.5 \text{ iqr}$ ve Üst Sınır Değer (ÜSD)= $Q_3 + 1.5 \text{ iqr}$ olarak belirlenir. Alt ve üst sınır değerleri içerisinde kalmayan veriler kaba hatalı değerler olarak düşünülür. Şekil 2.10'da örnek olarak verilen iki veri setinde iki farklı durum söz konusudur.

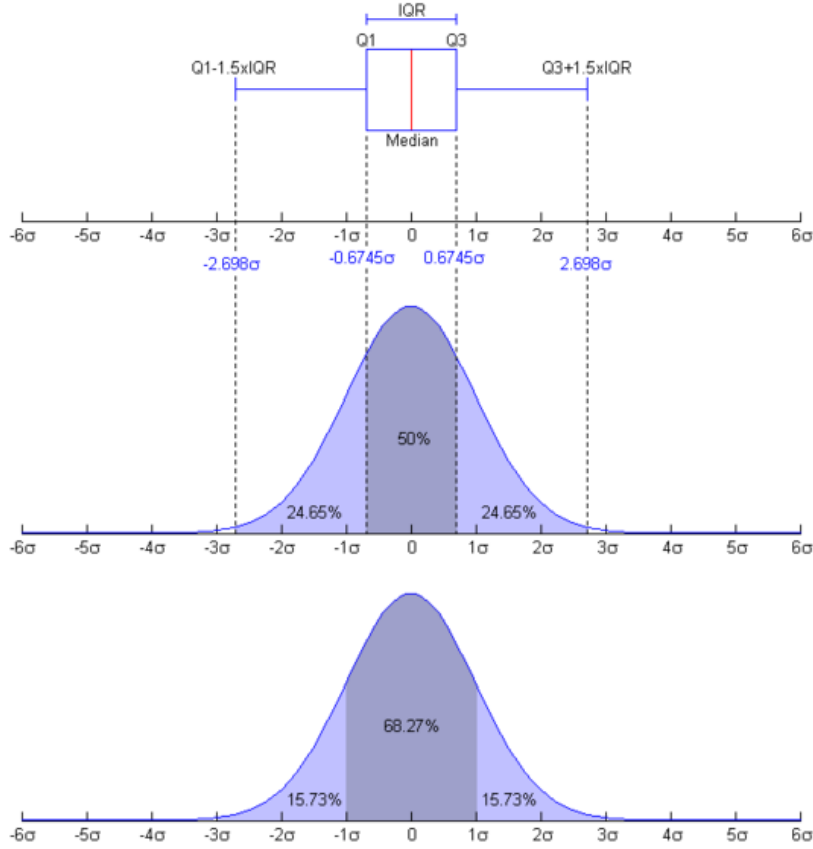


Şekil 2.11 : Bir kutu grafiği bileşenlerinin gösterimi.

Birinci durumda verilerin, homojen dağılım gösterdiğini, Alt ve Üst sınır değerleri aralığının yaklaşık eşit uzunlukta olduğunu ve uyuşumsuz ölçü olmadığını, ikinci durumda verilerin daha heterojen bir yapı gösterdiğini, Alt ve Üst sınır değerleri aralığının farklı uzunlukta olduğunu ve (+) işareti ile gösterilen ölçünün uyuşumsuz ölçü olduğu şeklinde yorumlanır.

İstatistiksel olarak kutu grafiği elemanlarının temsil ettiği değerler aralığının, jeodezik çalışmalarda sıkça kullanılan normal dağılımla karşılaştırılması Şekil 2.12’de verilmektedir.

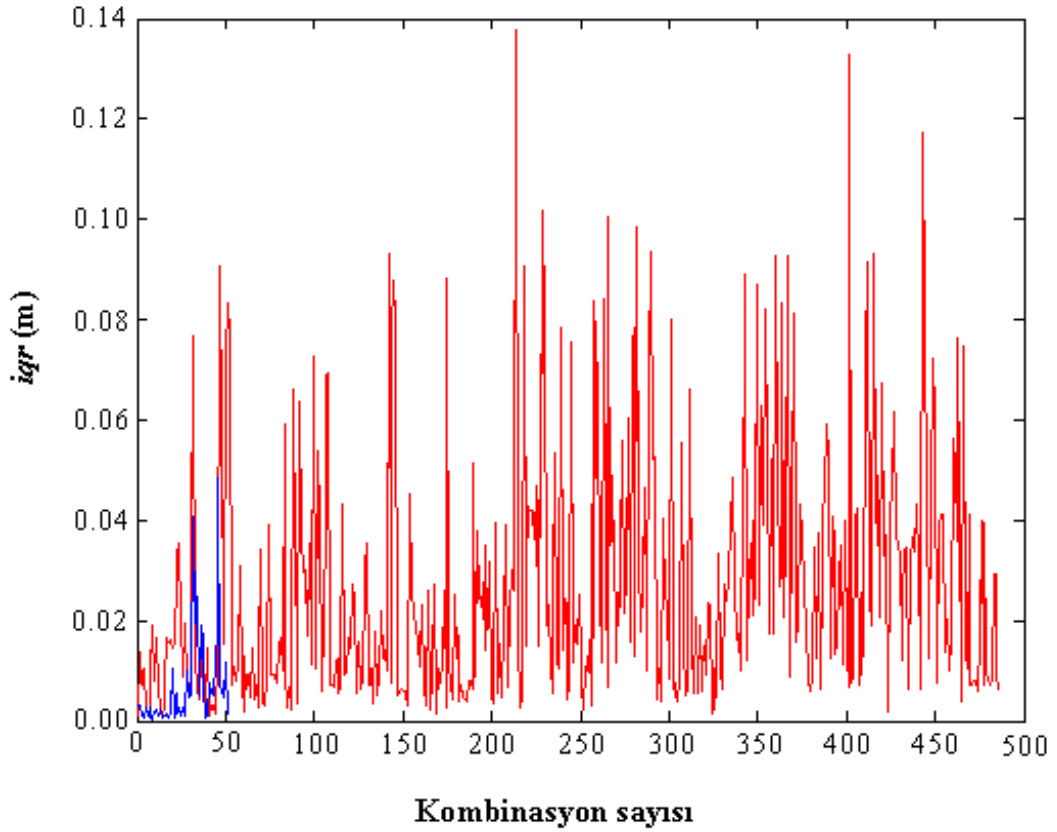
Kutu grafiği bir ya da daha fazla veri kümesinin hızlı bir şekilde analiz edildiği grafiksel yöntemdir. Kutu grafikleri, histogramlardan ve benzeri yöntemlerden daha basit görünebilirler fakat bazı avantajlara sahiptirler. Daha az yer kaplarlar ve özellikle farklı veri grup yada kümeleri arasındaki dağılımların karşılaştırılması açısından kullanışlıdır.



Şekil 2.12 : Bir kutu grafiği ve Normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonunun karşılaştırılması.

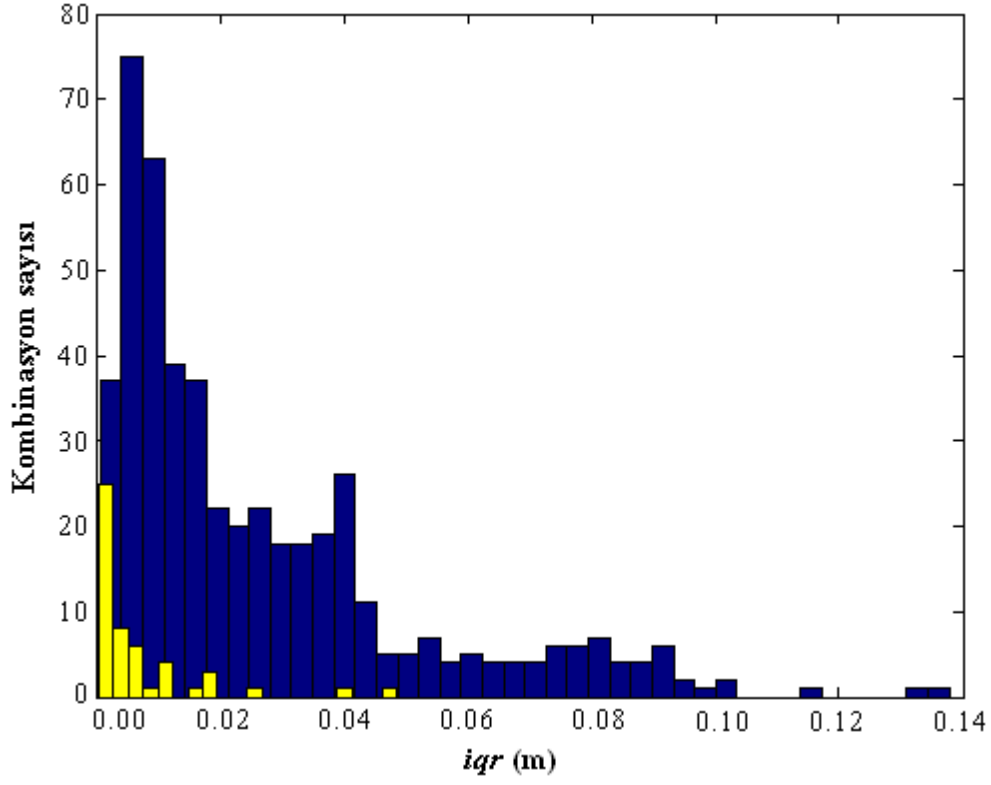
Yukarıda özellikleri anlatılmış olan *iqr* değeri, dördüncü bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılacak olan heyelan bloklarının BÇS ile belirlenmesinde bir girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Bunun nedeni, heyelan bloklarının, aynı yönde, aynı deformasyon büyüklüğüne sahip noktalardan oluşması durumunda, bu noktalar kümesi için (2.66) eşitliği ile hesaplanacak gerilme parametreleri düzeltme değerlerinin birbirleri ile homojen dağılım göstereceği düşüncesidir. Bu düşüncüyü örneklemek için, Büyükçekmece-Gürpınar heyelan bölgesinde I. ve II. Kampanyalar arasında gerçekleştirilen blok belirleme çalışmasında ilk başlangıç bloğunu belirlemek için gerçekleştirilen 537 adet dört noktalı kombinasyon sonucunda elde edilen *iqr* değerleri hesaplanmıştır. Aynı blok üzerinde belirlenen noktalar için hesaplanan *iqr* değerleri homojen dağılım göstermiştir. Bu nedenle hesaplanan *iqr* değerleri küçüktür ve Alt ve Üst sınır değerlerini geçen uyumsuz değerlerinin olmadığı görülmüştür. Aynı blokta bulunmayan noktalar arasında gerçekleştirilen kombinasyonlarda *iqr* değerleri daha büyüktür ve içerinde uyumsuz ölçüler bulunduğu görülmüştür.

Grafiksel olarak aynı blokta belirlenen noktalara ait 51 kombinasyonun *iqr* değerleri mavi renk ile aynı blokta bulunmayan noktalara ait 486 kombinasyonun *iqr* değerleri kırmızı renk ile gösterilmiştir. Aynı blokta yer alan noktalara ait *iqr* değerleri, aynı blokta olmayan noktalar için hesaplanan *iqr* değerlerinden çok küçüktür.



Şekil 2.13 : Dört noktalı 537 kombinasyona ait düzeltme değerlerine göre *iqr* değerleri. Aynı blokta olan noktalar mavi renk, farklı blokta olan noktalar kırmızı renk.

Şekil 2.14'teki histogramda aynı interquartile range aralığı değerlerinin gösterimindeki farklı dağılım fark edilebilir. Aynı bloğa ait kombinasyonların *iqr* değerleri sarı renkte, farklı bloklarda olan noktaların oluşturduğu yanlış bloklara ait kombinasyonlarda mavi renk olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.14 : Aynı blokta bulunan noktalara ait kombinasyonlar (sarı renk) ve aynı blokta olmayan noktalara ait kombinasyonların (mavi renk) *iqr* değerlerinin gösterimi

3. DEFORMASYON ANALİZİ

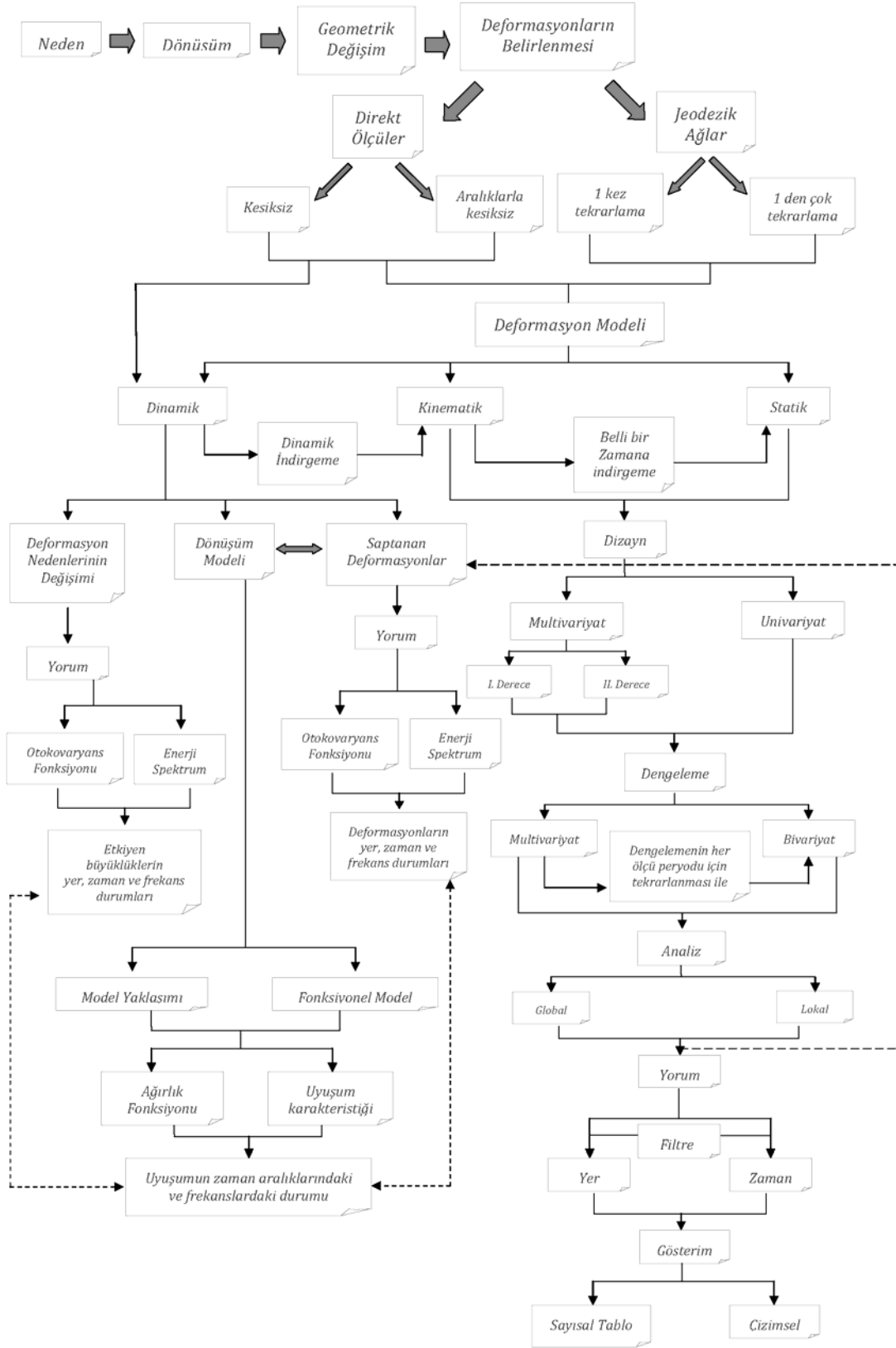
3.1 Genel Bilgiler

Büyük yapıların planlanması sırasında, yapının oturacağı zeminde yapıya zarar verebilecek olası yer kabuğu hareketlerinin saptanması, daha sonra çevrenin yapıya etkileri veya yükleme nedeniyle yapıda meydana gelebilecek geometrik şekil değişimlerinin saptanması veya yapının çevreye etkisiyle çevrede meydana gelebilecek değişimlerin saptanması ya da salt yeryüzü kabuk hareketlerinin belirlenmesi için yapılan jeodezik ölçmelere “*deformasyon ölçmeleri*”, bu ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasına da “*deformasyon analizi*” adı verilmektedir (Ayan, 1981). Deformasyonların belirlenmesinde ölçme yöntemlerine göre izlenmesi gereken akış şeması Şekil 3.1 de ayrıntılı bir şekilde verilmektedir.

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 (Acar ve diğ., 2008a; Ünsal, 2007; Tatar ve diğ., 2005).

Ülkemizde, özellikle Karadeniz Bölgesinin hemen hemen tamamı ile Marmara, Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinin geniş alanlarında sıklıkla gözlenen heyelanlar, neden oldukları can ve mal kaybı yönüyle depremlerden sonra ikinci önemli doğal afetlerdir. K.T.Ü. heyelan araştırma merkezinin verilerine göre Türkiye’de 1959-1994 yılları arasında doğal afetlerden zarar gören konutların sayısı 423.000’dir ve bunların %53’ü (211.500 konut) depremlerden, %27’si (114.210 konut) heyelanlardan dolayı kullanılamaz hale gelmiştir. Ülkemizin değişik yörelerinde, değişik zamanlarda meydana gelen heyelanlar binaların yıkılmasına, alt yapıların, tarım ve orman alanlarının kullanılamaz hale gelmesine, çok daha önemlisi insanların

hayatlarını yitirmesine neden olmaktadır. Ülkemizde, oluşma sıklığı ve verdiği zararlar açısından heyelandan en fazla etkilenen bölgeler Marmara ve Karadeniz'dir.



Şekil 3.1 : Deformasyon analizi akış şeması, Ayan (2001) den derlenmiştir.

Marmara bölgesi, tortul jeolojisi ve yer altı suyu koşulları nedeniyle zemin hareketlerine uygun bir ortama sahiptir. Bu bölgede yamaç hareketleri en fazla Büyük Çekmece Gölü kıyıları, İstanbul Boğazı ve Yalova çevresinde görülmektedir. Bölgede, İ.T.Ü. Jeodezi Bölümü tarafından, 1999-2001 yılları arasında İstanbul'un Ambarlı limanı çevresi (Bayrak, 2003), 1990-1991 yılları arasında yersel teknikler ve 1996- 1998 yılları arasında GPS ölçmeleri ile Büyük Çekmece Gölü kıyılarında, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) desteklediği Türkiye Bilimsel Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (TUBİTAK- MAM) yürütücülüğünde 18 Nisan 2007 başlayan ve 28 Kasım 2008'de tamamlanması planlanan "Marmara Bölgesinin Deprem Aktivitesinin Çok Disiplinli Yöntemlerle İzlenmesi ve İstanbul Kıyı Şeridi/Kıta Sahaneliği Zeminine Olası Etkilerinin Araştırılması (MAZDDA)" projesi kapsamında "Avcılar ile Büyük Çekmece Arasındaki Kıyı Alanında Bulunan Heyelanlı Bölgelerdeki Deformasyonların Boyutunun Tanımlanması ve Kıta Sahaneliğindeki Etki Alanlarının Belirlenmesi" çalışmaları jeodezik yöntemlerle ülkemizde yapılan en güncel heyelan izleme projeleridir (Url-10).

Heyelan çalışmaları konum-zaman ilişkisi, sosyo-ekonomik kayıplar, çevresel etkiler, zararların azaltılmasıyla ilgili alanları kapsayan disiplinler arası çalışmayı gerektiren bir konudur. Heyelanların belirlenmesinde jeologlar, jeofizikçiler ve zemin mekanikçiler genelde kütlelerin kayıp kaymayacakları konusuyla ilgilenmişler ve kayma olasılığına karşı koruyucu önlemler almışlardır. Halbuki heyelanları önleme ve zararlarını azaltma çalışmalarında kütlelerin ne kadar hareket edeceği, hangi yönde hareket edeceği, hatta hareketin hızının ve ivmesinin hareket nedeni dikkate alınarak belirlenmesi gerekir. Diğer bir deyişle üç boyutlu, zamana ve konuma bağlı karmaşık bir problem olan heyelanların belirlenmesinde farklı bilim dallarının beraber çalışması ve sonuçların birlikte yorumlanması gerekir (Acar, 2006e; Bayrak, 2003). Çok disiplinli çalışma konularından bazıları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Çeşitli teknikler kullanarak heyelana duyarlı alanların belirlenmesi,
- Heyelanları önleyici veya ıslah edici uygun yöntemlerin seçimi ve uygulanması, güvenli şev tasarımının yapılması,
- Mühendislik yapılarının ve yerleşim yerlerinin heyelanların gelişmeyeceği yerlerde planlanması,

- Heyelanlara karşı erken uyarı sistemlerinin kurulması,
- Toplumun heyelanlar konusunda eğitilmesi (Acar, 2006e).

Bu konu başlıklarında Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğine düşen görev, heyelan alanlarının belirlenmesi, kitle hareket yönleri ve hızları ve periyodunun sağlanması, zemin hareketlerini yaratan sebeplerin aydınlatılması yanında heyelana karşı geliştirilmiş önlemlerin test edilerek, heyelanın sürüp sürmediği kararının üretilmesidir.

1980’li yılların başlarına kadar deformasyonların izlenmesi ve araştırılmasında klasik ölçme teknikleri kullanılmaktaydı. Uydu teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ve bu tekniklerin jeodezik uygulamalarda kullanılmaya başlanması, deformasyon ölçmeleri ve analizi çalışmalarında da etkisini göstermiştir. GNSS Tekniklerinden GPS tekniği, gerek dünya da , gerekse de ülkemizde jeodezik uygulamalarda yaygın biçimde ve yoğun olarak kullanılmaktadır (Erol, 2008).

Deformasyon analizine konu bölge ya da yapı, genellikle tesis edilmiş bir dizi noktayla temsil edilir. Bu nokta kümesi, yapılan jeodezik ağlarla birlikte bir jeodezik ağa dönüşür. Bu ağlar genellikle lokal ağlar olarak kurulurlar ve yöneltilmeleri yaklaşık olabildiği gibi gelişi güzel de alınabilir, diğer bir deyişle bu ağların herhangi bir koordinat sistemine bağlı olması gerekmez. Bu şekilde deformasyonların belirlenmesi amaçlı kurulan ağlar “*Kontrol Ağları*” olarak tanımlanır (Erol, 2008; Ayan, 1982; Ayan1981).

Kontrol ağında noktaların noktaların seçimini, çoğu durumda arazi topoğrafyası ve incelenecek objenin yapısı belirler. Nokta sayısı ne olmalıdır sorusunun yanıtı ise objeye ve de beklenen deformasyonlara sıkı sıkıya bağlıdır. Buna karşın genel bir kural koymak imkansızdır. Disiplinler arası bir yaklaşım her zaman amaçlanmalıdır. Kontrol ağları genellikle üç ayrı özellikte noktadan oluşur. Bunlar “Deformasyon (Obje) noktaları”, “Sabit (Referans) noktalar” ve “Yöneltme noktaları”dır. Deformasyon noktaları, deformasyon incelemesine konu olan yapı veya bölgeyi temsil edebilme özelliklerine sahip en büyük ve en küçük deformasyonların beklendiği yerlerde ve genellikle yapı üzerinde seçilir. Bunlardan üzerinde ölçme yapma olanağı bulunan noktalara zorunlu merkezlendirme donanımlı pilyeler tesis edilir. Buradaki amaç merkezlendirme hatasını ortadan kaldırmak ve ölçüler arasında bu hatadan kaynaklanacak fiziksel bir korelasyonun önüne geçmektir. Üzerinde

ölçme yapma olanağı olmayan noktalar ise çabuk bozulmayacak şekilde bronz veya sabit gözleme plakası ile işaretlenir. Sabit noktalar ise deformasyon beklenmeyen yerlerde seçilen, üzerinde ölçme yapılabilecek noktalardır ve yine zorunlu merkezleştirme donanımlı pilyeler olarak arazide tesis edilirler (Akyılmaz, 2001). Yönelme noktaları, tesis edilen kontrol ağının yönlendirilmesi için kullanılmakta olup, günümüzde bu noktalar pek kullanılmamaktadır.

Bir bölge ya da bir yapının deformasyonlarının belirlenmesi için, farklı zamanlarda, tesis edilen jeodezik kontrol ağındaki ölçüler, tekrarlanır. Yineleme ölçüleri arasındaki zaman (ölçme periyodu), muhtemel deformasyonların büyüklüğüne veya yapıya etkileyen kuvvetlerin değişimine bağlı olarak belirlenir. Ağda yapılan ilk ölçüler “Sıfır ölçüsü” veya “Referans ölçüsü” adını alır. Yineleme ölçüleri ise, yineleme sırasına göre, I. yineleme ölçüsü, II. yineleme ölçüsü olarak, veya, t_1 ölçü grubu, t_2 ölçü grubu olarak adlandırılır. Deformasyonların geleneksel ölçme teknikleri ya da uydu teknikleri kullanarak, statik modele göre jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde iki-kampanyalı analiz yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşım, her bir ölçme kampanyasındaki ölçülerin, bağımsız olarak, EKK yöntemi ile dengelenmesi, global uygunluk testi ve iki kampanya arasındaki deformasyonların geometrik olarak irdelenmesi olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır.

Birinci adımda t_1 ve t_2 zamanlarında gerçekleştirilmiş olan kampanyalardan elde edilen ölçüler, serbest ağ yaklaşımı ile ayrı ayrı dengelenir. Hesaplar sırasında, tüm ağ noktalarında deformasyon olabileceği varsayılır ve genel iz minimum çözümü yapılır. Ayrıca her iki kampanya ölçülerinin dengelenmesinde, yaklaşık koordinatları olarak, aynı değerler kullanılır. Her iki kampanya ölçülerinin dengelenmesinde, ayrıntılı olarak (Erol, 2008; Erol ve Ayan, 2003; Bayrak, 2003; Tanır, 2000; Ünver, 1994; Ayan, 1982; Ayan, 1981) verilen model testleri uygulanır ve uyumsuz ölçüler ayıklanır. İkinci adımda, $\Delta t = t_2 - t_1$ zaman aralığında sabit kalan ağ noktalarının belirlenmesi amacıyla, global uygunluk testi uygulanır. İki kampanyalı analizde, global uygunluk testi işlemine geçilmeden önce her iki ölçme kampanyasının serbest dengelemesinden elde edilen dengeleme sonrası soncul (a-posteriori) varyans (s_{01}^2 , s_{02}^2) değerlerinin kurulan sıfır hipotezine ($H_0: s_{01}^2 = s_{02}^2$) ve F-testine göre test edilmesi ve bu iki varyans değerinin ümit değerlerinin birbirine eşit olduğunun ispatlanması gerekmektedir. Eğer bu iki varyans değerinin eşitliği istatistiksel olarak kabul edilmezse, bu iki ölçme kampanyası için ortak bir varyans

değeri türetilemez. Bu durumda, iki ölçü kampanyasının serbest dengelemeleri sırasında kurulan stokastik modellerin hatalı olduğuna karar verilir ve her iki ölçü kümesi için uygun stokastik modeller kuruluncaya kadar analiz işlemine başlanamaz. Global uygunluk testi sonucu ağda bir şekil değiştirme olduğu sonucuna varılırsa, üçüncü adım olarak deformasyon büyüklüklerinin belirlenmesi ve lokalize edilmesi adımına geçilir (Erol, 2008).

3.2 En Küçük Kareler Kestirimi İle Deformasyon Analizi

3.2.1 Global uygunluk testi

Kontrol ağı t_1 ve t_2 zamanında yapılan ölçülerin birlikte ele alınmasıyla her iki kampanya ayrı ayrı serbest olarak dengelenirler. Jeodezik ağ noktalarının kampanyalar arasında hareket edip etmedikleri ve varsa hareket vektörlerinin belirlenmesi için koordinat bilinmeyenleri arasındaki farkların sıfır kabul edilip edilmeyeceğinin test edilmesi gerekir. Eğer kontrol ağı referans noktaları ve obje noktalarını kapsıyorsa, x parametreler vektörü referans noktaları x^r , obje noktaları x^o , olarak ikiye ayrılır. Referans noktalarının sabitliğinin araştırılması problemi sıfır hipotezinin test edilmesi ile çözülür. Ortaya konan bu hipotezle her iki kampanyada referans noktalarının sabit ve konumlarının değişmediği varsayılmaktadır. Referans noktalarının t_1 zamandaki koordinatları x_1^r ve t_2 zamandaki koordinatları x_2^r olmak üzere sıfır hipotezi

$$H_0 : E(x_1^r) = E(x_2^r) \quad (3.1)$$

olur. Referans noktaları benzerlik dönüşümü gerçekleştirildikten sonra her iki ayrı serbest dengeleme sonuçlarından

$$d_r = x_1 - x_2 \quad (3.2)$$

$$(Q_{dd})_r = (Q_{rr})_1 + (Q_{rr})_2 \quad (3.3)$$

$$R = d_r^T (Q_{dd})_r^+ d_r \quad (3.4)$$

hesaplandıktan sonra, her bir serbest dengelemenin serbestlik dereceleri f_1 ve f_2 ve kestirilmiş birim ölçü varyansları s_{01} ve s_{02} ile

$$s_0^2 = \frac{f_1 s_{01}^2 + f_2 s_{02}^2}{f_1 + f_2} \quad (3.5)$$

eşitliğinden hesaplanan bir ortak varyans değeri ile test büyüklüğü

$$T = \frac{R}{s_0^2 h_r} \quad (3.6)$$

ile hesaplanır. T test büyüklüğü Fischer Dağılım tablosundan, F ile karşılaştırıldığında $T > F_{h_r, f, 1-\alpha}$ ise ağın referans noktaları bölümünde deformasyon vardır sonucuna varılır ve sıfır hipotezi reddedilir (Denli, 2008). Bu durumda deformasyonların lokalizasyonu ve karesel formun ayrıştırılması adımına geçilir.

3.2.2 Deformasyon büyüklüklerinin bulunması ve lokalizasyon

Global uygunluk testi sonucu sıfır hipotezi reddedilir ve ağda Δt süresi içinde bir şekil değiştirme olduğu sonucuna varılırsa, hangi noktalardaki hareketlerin anlamlı olup olmadıkları test edilmesi gerekir. Bu işlem her nokta için ayrı ayrı

$$\mathbf{d}_r = \mathbf{x}_1^i - \mathbf{x}_2^i; s_0^2 = \frac{f_1 s_{01}^2 + f_2 s_{02}^2}{f = f_1 + f_2}; T = \frac{\mathbf{d}_r^T (\mathbf{Q}_{dd})_r^+ \mathbf{d}_r}{s_0^2 h_r}; (\mathbf{Q}_{dd})_r = (\mathbf{Q}_{rr}^i)_1 + (\mathbf{Q}_{rr}^i)_2 \quad (3.7)$$

formülleri yardımı ile gerçekleştirilir. (3.7) eşitliğine göre her nokta için hesaplanan T test büyüklüğü, Fischer dağılımından, h_r, f ve $s = 1-\alpha = 0.95$ parametrelerine bağlı olarak alınan eşik değer ile karşılaştırılır. Karşılaştırma bütün ağ noktaları için yapılır. Eğer $T > F_{h_r, f, 1-\alpha}$ ise bu noktadaki hareketin anlamlı olduğu sonucuna varılır. En büyük R ($R = \max.$) değerine sahip olan nokta, global test sonucunda ortaya çıkan ağ deformasyonundan sorumlu tutulur ve bu nokta obje noktası kabul edilerek dengeleme hesabı kalan noktaların datuma katkı vermesiyle kısmi iz minimum ilkesiyle yeniden gerçekleştirilir, global test tekrarlanır. Teste deformasyon noktası kalmayınca kadar devam edilerek ağın deformasyona uğrayan ve uğramayan noktaları belirlenir.

Global test sonucu ağdaki hareketsiz datum noktaları belirlendikten sonra, bu datum noktaları yardımıyla her iki ölçme kampanyası tekrar aynı datuma getirilir ve ağdaki her nokta için aşağıdaki deformasyon vektörü oluşturulur (Erol, 2008).

Bir p noktası için hareket vektörü,

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} x_i^1 - x_i^2 \\ y_i^1 - y_i^2 \\ z_i^1 - z_i^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

ve bu vektörün boyu,

$$d = \sqrt{\mathbf{d}^T \mathbf{d}} \quad (3.9)$$

ile belirlenir. Bu eşitliklerde hesaplanan hareket vektörlerinin anlamlı olup olmadıklarını test etmek için H_0 hipotezi aşağıdaki eşitlikteki gibi kurulur.

$$H_0 : d = 0 \quad (3.10)$$

Test büyüklüğü,

$$T = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^{-1} \mathbf{d}}{3s_0^2} \quad (3.11)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu test büyüklüğü Fischer dağılımından alınan $F_{3, f; 1-\alpha}$ eşik değeri ile karşılaştırılır.

Eğer $T > F_{3, f; 1-\alpha}$, ise p noktasının üç boyutlu konumundaki hareketin anlamlı olduğu sonucuna varılır, aksi durumda hareketin anlamlı olmadığı ve rastlantısal ölçü hatalarından kaynaklandığı kabul edilir (Acar ve diğ., 2008c; Erol, 2008; Acar ve diğ., 2006c; Erol ve diğ., 2005; Denli 1998).

3.3 Toplam En Küçük Kareler Kestimi İle Deformasyon Analizi

3.3.1 Toplam en küçük kareler kestirimi ile 3D koordinat dönüşümü

Jeodezik kontrol ağı t_1 ve t_2 grubu ölçüleri ile ayrı ayrı serbest dengelendiğinde, iki dengelemede aynı yaklaşık koordinatlar kullanılsa bile sonuçta iki ağ datumu birbiri ile aynı değildir (Ayan, 1981). Her periyot ölçülerinde ağın datum parametreleri dengeleme hesabı içinde belirlendiğinden iki farklı periyot ölçüsünden elde edilen koordinatlar doğrudan doğruya birbiri ile karşılaştırılamaz. Bunun için bu periyot ölçülerinden elde edilen iki koordinat takımı Helmert Dönüşümü ile biri diğerine

dönüştürülür. Böylece iki sistemin karşılaştırılması için v_x, v_y , çakışma artıkları elde edilmiş olur.

Dönüşümün ölçü değerleri, koordinatların, her iki periyotta da stokastik değişkenler olarak ele alınmasına olanak veren TEKK kestirim yönteminin klasik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermesi beklenebilir. TEKK yönteminde, A matrisinin bütün bileşenlerinin hatalı olduğu düşünülmesine rağmen, bazı durumda kimi sütunlar için hesabı gerekmeyen skaler katsayılar olabilir. Bu nedenle bu skaler değerlerin TEKK dengelemesi sonrasında değişmeden korunması gerekir. Geometrik koordinat dönüşümlerinde öteleme parametrelerine karşılık olan bilinmeyenlerin katsayıları bu durumun jeodezik uygulamalardaki örneklerinden biridir. Bu durumun hesaplara yansıtılması, A matrisinin ve bilinmeyen vektörü x 'in alt matrislere ayrılmasını gerektirir. Ayrıca dönüşüm hesabında, gözlemlerin ve katsayılar matrisinin sütun elemanlarının varyansları arasındaki farklar ihmal edilebilir, öyle ki onların aynı olduğu varsayılır. Genellikle gözlem vektörlerinin ve katsayılar matrisi bileşenlerinin varyans değerleri farklıdır. Aşağıda her iki durumunda göz önünde tutulduğu özel durum GTEKK'in uygulama eşitlikleri verilecektir. Eşitlik (2.22)'de verilen $A=[A_1, A_2]$ matrisi; ve bilinmeyenler vektörü $x=[x_1^T, x_2^T]$ 'in bölümlenerek formüle edilmiştir. A_1 ve A_2 matrisleri A matrisinin sabit ve sabit olmayan sütunlarından oluşan alt matrisleridir. x_1 ve x_2 ise A_1 ve A_2 matrislerince kontrol edilen bilinmeyen vektörü x in bileşenleridir

$A=[A_1, A_2]$ ve $x=[x_1^T, x_2^T]$ olmak üzere,

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; A_2 = \begin{pmatrix} x_1^A & 0 & -z_1^A & y_1^A \\ y_1^A & z_1^A & 0 & -x_1^A \\ z_1^A & -y_1^A & x_1^A & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n^A & 0 & -z_n^A & y_n^A \\ y_n^A & z_n^A & 0 & -x_n^A \\ z_n^A & -y_n^A & x_n^A & 0 \end{pmatrix}_{3n \times 3} \quad x_1 = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix}; x_2 = \begin{pmatrix} (1+k) \\ R_x \\ R_y \\ R_z \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

ve gözlem vektörü aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$\ell = \begin{pmatrix} X_1^B & Y_1^B & Z_1^B & \dots & \dots & X_n^B & Y_n^B & Z_n^B \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

D ($n \times n$ boyutlu) gözlemlere ait ağırlık matrisidir. C ise A_2 'nin sütunlarının ve de gözlem vektörünün birbirlerine göre olan bağıl doğruluklarını yansıtan köşegen ağırlık matrisidir ve eşitlik (2.28) ile hesaplanır.

Bölüm 2.2 de belirtildiği gibi GTEKK çözümü ile bilinmeyenler vektörünün çözümü üç adımda gerçekleştirilir.

1-) GTEKK çözümü için gözlemlere ait ağırlık matrisi D ile birlikte (3.12) ve (3.13) denklemlerindeki matrisler yardımıyla oluşturulan $D [A_1; A_2; \ell]$ matrisi QR çarpanlarına ayrılarak;

$$Q^T D [A_1, A_2, \ell] = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{1b} \\ 0 & R_{22} & R_{2b} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$R_{11}=m_1 \times m_1$, $R_{12}=m_1 \times m_2$, $R_{22}=(n-m_1) \times m_2$, $R_{1b}=m_1 \times 1$, $R_{2b}=(n-m_1) \times 1$ boyutlu eşitlik değerleri elde edilir.

2-) x_2 değerini hesaplamak için (3.14) denkleminin R_{22} , R_{2b} matrislerinden oluşan ikinci satırı kullanıldığında TEKK çözümü

$$[R_{22}; R_{2b}] C \left(C^{-1} \begin{bmatrix} \hat{x}_2 \\ -1 \end{bmatrix} \right) \approx 0 \quad (3.15)$$

olarak elde edilir. Bu denklem sistemini çözmek için R_{22} , R_{2b} matrisleri ile A_2 'nin sütunlarının ve de gözlem vektörünün birbirlerine göre olan bağıl doğruluklarını gösteren C matrisinin çarpımı ile oluşan $[R_{22}; R_{2b}] C = U \Sigma V^T$ denkleminin tekil değer ayrıştırması hesaplanır ve

$$\hat{x}_2 = - \frac{I}{c_{m_2+1} \cdot v_{m_2+1, m_2+1}} C_{1..m_2}^T [v_{1, m_2+1}, v_{2, m_2+1}, \dots, v_{m, m_2+1}]^T \quad (3.16)$$

eşitliği ile de eksenler etrafındaki dönüklükleri ve ölçek faktörünü içeren \hat{x}_2 değeri hesaplanılır.

3-) Öteleme parametrelerine karşılık gelen \hat{x}_1 parametresi, ikinci adımda hesaplanan \hat{x}_2 parametresinin (3.14) denkleminin ilk satırında yerine konularak ya da aşağıda verilen eşitliklerden biri kullanılarak hesaplanır:

$$\mathbf{R}_{11} \hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{R}_{1b} - \mathbf{R}_{12} \hat{\mathbf{x}}_2; \quad \hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{R}_{11}^{-1} (\mathbf{R}_{1b} - \mathbf{R}_{12} \hat{\mathbf{x}}_2) \quad (3.17)$$

Hesaplanan $\mathbf{x}[\mathbf{x}_1^T, \mathbf{x}_2^T]$ dönüşüm parametresi değerleri (\mathbf{x}) kullanılarak x_A, y_A, z_A sistemindeki obje noktalarının koordinatları X_B, Y_B, Z_B koordinat sistemine transforme edilerek obje noktalarının koordinatları elde edilir.

3.3.2 Üç boyutlu dönüşümde hata yayılması

Deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde her periyot ölçüleri ayrı olarak kendi içinde serbest ağ olarak dengelenir. Bu nedenle, her periyot ölçülerinde ağın datum parametreleri dengeleme hesabı içinde belirlendiğinden datum parametreleride hem ölçülerin hem de yaklaşık koordinatların bir fonksiyonu olur. Bu nedenle iki farklı periyot ölçüsünden elde edilen koordinatlar doğrudan doğruya birbiri ile karşılaştırılmaz. Periyotlar arasındaki datum birliği koordinat dönüşümü ile sağlanır. Koordinat dönüşümü ile deformasyon analizinin yapılabilmesi için serbest ağ dengelemesi sonunda elde edilen noktalara ait koordinat bilgileri yanında varyans kovaryans matrisleri arasında da datum birliğinin sağlanması gerekir.

Bilindiği gibi, üç boyutlu dönüşüm kartezyen koordinatlar üzerinden gerçekleştirilir. Dönüşüm Bursa-Wolf ya da Molodensky-Badekas modellerinden herhangi biriyle ikinci bir koordinat sistemine dönüştürülmek istenirse (2.34) denkleminin fonksiyonel modeli

$$\mathbf{l}_B = \mathbf{t} + \bar{\mathbf{R}} \mathbf{l}_A \quad (3.18)$$

olacaktır. Burada \mathbf{R} rotasyon matrisini, $(1+k)$ ölçek faktörünü göstermek üzere $\bar{\mathbf{R}} = (1+k) \mathbf{R}$ anlamındadır. Hata analizi için eğer dönüşüm parametrelerinin doğruluğu hakkında herhangi bir bilgi yoksa, sadece koordinat bilinmeyenleri değişken olarak alınır, dönüşüm parametreleri sabit kabul edilir. Buna göre (3.18) eşitliğine $1+k \cong 1$ kabul edilerek hata yayılma yasası uygulanırsa;

$$d\mathbf{l}_B = \mathbf{R} d\mathbf{l}_A \quad (3.19)$$

ve,

$$\mathbf{K}_{l_B l_B} = \mathbf{R} \mathbf{K}_{l_A l_A} \mathbf{R}^T \quad (3.20)$$

elde edilir. Dönüşüm parametreleri, $\mathbf{x} = [t_x \quad t_y \quad t_z \quad (I+k) \quad R_x \quad R_y \quad R_z]$ varyans-kovaryans matrisinde yansıtılmak istenirse

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}_{oA}^T \mathbf{A}_{oA})^{-1} \mathbf{A}_{oA}^T \mathbf{l}' \quad (3.21)$$

ile, hata yayılma yasası uygulanarak, bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrisi

$$d\mathbf{x} = (\mathbf{A}_{oA}^T \mathbf{A}_{oA})^{-1} \mathbf{A}_{oA}^T d\mathbf{l}_{oA} \quad (3.22)$$

$$\mathbf{K}_{xx} = \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{A}_{oA}^T \mathbf{K}_{l_{oA}l_{oA}} \mathbf{A}_{oA} \mathbf{Q}_{xx} \quad (3.23)$$

elde edilir. (3.19) eşitliğinde hem koordinatlar hem de dönüşüm parametreleri değişken olarak kabul edilip hata yayılma yasası uygulanarak;

$$d\mathbf{l}_B = \begin{bmatrix} \overline{\mathbf{R}} & \mathbf{B}_A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\mathbf{l}_A \\ d\mathbf{x} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

$$\mathbf{K}_{l_B l_B} = \begin{bmatrix} \overline{\mathbf{R}} & \mathbf{B}_A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{l_A l_A} & \\ & \mathbf{K}_{xx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{\mathbf{R}}^T \\ \mathbf{B}_A^T \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

$$\mathbf{K}_{l_B l_B} = \overline{\mathbf{R}} \mathbf{K}_{l_A l_A} \overline{\mathbf{R}}^T + \mathbf{B}_A \mathbf{K}_{xx} \mathbf{B}_A^T \quad (3.26)$$

eşitlikleri ile dönüştürülmüş varyans kovaryans matrisi elde edilir (Kutoğlu, 2004; Kutoğlu, 2001).

3.3.3 Deformasyon büyüklüklerinin belirlenmesi

Global test sonucunda ağda hareketsiz sabit noktaların belirlenmesinden sonra, bu sabit noktalar yardımıyla koordinat sistemleri arasında GTEKK yöntemi ile dönüşüm parametresi bilinmeyenleri \mathbf{x} hesaplanır. Hesaplanan dönüşüm parametresi değerleri yardımı ile her iki ölçme kampanyası aynı datuma getirilir. Datum birliği sağlanan kontrol noktalarının, ağdaki herbir nokta için deformasyon vektörü oluşturulur. Aynı zamanda, dönüşüme hata yayılması uygulanması ile de dönüştürülmüş koordinatlara ait dönüştürülmüş varyans-kovaryans matrisi elde edilir. Son adım olarak ortak varyans değeri hesaplanır ve hipotez $H_0 : d = 0$ olarak kurulur,

$$\mathbf{d}_r = \mathbf{x}_1^i - \mathbf{x}_2^i; \quad s_0^2 = \frac{f_1 s_{01}^2 + f_2 s_{02}^2}{f = f_1 + f_2}; \quad T = \frac{\mathbf{d}_r^T (\mathbf{Q}_{dd})_r^+ \mathbf{d}_r}{s_0^2 h_r} \quad (3.27)$$

hesaplanan T test değeri, Fischer dağılımından alınan $F_{3, f; 1-\alpha}$ eşik değeri ile karşılaştırılır. $T < F_{3, f; 1-\alpha}$ ise H_0 hipotezi geçerlidir. Yani p noktasının üç boyutlu konumundaki hareketin anlamlı olmadığı sonucuna varılır.

4. UYGULAMALAR

4.1 Çalışma Alanı ve Kontrol Ağı

4.1.1 Genel bilgiler

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 (Acar ve diğ., 2008b; Acar ve diğ., 2007). Türkiye de doğal afetlere sık uğrayan bir ülkedir ve heyelanların tehlikesi altındadır. Heyelanlar sık olarak Karadeniz Bölgesi'nin tamamında ve Marmara, Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinin de pek çok alanlarında meydana gelmektedir. Türkiye'de heyelanlar, mal ve can kayıpları gibi neden olduğu zararların büyüklüğü bakımından depremlerden sonra gelen ikinci önemli doğa olayıdır (Acar ve diğ., 2004, Acar ve diğ., 2003; Bayrak, 2003).

Sık olarak meydana gelen heyelanlar afetlere sebep olup köprüler, barajlar, yollar, binalar, limanlar gibi mühendislik yapılarında ve bu yapıların çevresinde büyük zararlara ve çevrelerinde değişimlere yol açabilmekte ayrıca topoğrafyada derin izler bırakabilmektedir. İnsan hayatında tehlikelere yol açan heyelanların etkilerinin azaltılması ve ortadan kaldırılabilmesi için heyelanlı bölgelerdeki hareketlerin izlenmesi gereklidir. Heyelanların izlenmesi çalışmaları;

- 1-) Çeşitli teknikler kullanarak heyelana duyarlı alanların belirlenmesi,
- 2-) Heyelan ile harekete uğrayan zemin kitlelerinin hızı, büyüklüğü, yönü ve zamanının saptanması,
- 3-) Olası heyelanın önceden haber alınması,
- 4-) Heyelana karşı önlem olacak ağaçlandırma, drenaj ve istinat duvarı v.b. zemin islahı ve yapıların tasarımı,
- 5-) Güvenli şev tasarımının yapılması,

- 6-) Söz konusu alanda heyelandan etkilenmeyecek, yapı tasarımı ve arazi kullanım planları,
 - 7-) Yerleşimlerin, saptanan heyelan alanı dışında planlanması,
 - 8-) Heyelanlara karşı erken uyarı sistemlerinin kurulması,
 - 9-) Toplumun heyelanlar konusunda eğitilmesi,
- olarak sıralanabilir.

Bu tezin konusu olan Büyükçekmece Gürpınar Köyü heyelan bölgesi, jeolojik süreçlerin hızla devam ettiği ve birçok araştırmaya konu olmuş bir bölgedir. Söz konusu alan Marmara Denizine hakim ve denizde biten bir yamaç olup konut alanı olarak özenilecek bir yerdir. Bunun sonucu olarakta hızla yapılaşmış ve yazlık evler inşa edilmiştir. Bu yapılarda meydana gelmiş heyelan hasarlarıda görülmektedir. (Şekil 4.1). Bu yüzden, heyelanlar nedeniyle bölgede meydana gelen zemin hareketlerinin belirlenmesi ve heyelanların önlenmesi ile ilgili farklı zamanlarda farklı disiplinler tarafından çalışmalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 : Heyelan bölgesinden görüntüler.

Bölgede ilk olarak İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı tarafından “Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması” isimli bir proje gerçekleştirilmiştir. Bu proje kapsamında bölgedeki hareketleri belirleyebilmek için Kasım 1990, Şubat 1991, Mayıs 1991, Eylül 1991, Kasım 1991 ve Temmuz 1993 yılları arasında yersel ölçme teknikleri ile ölçmeler yapılmıştır.

İkinci proje, “Heyelan Jeolojisi ve Önlem Önerileri” ismi ile bir özel firma tarafından Mayıs 1992 yılında gerçekleştirilen jeolojik ve jeoteknik çalışmalarla ilgili bir projedir.

Bölgede gerçekleştirilen son proje yine İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı tarafından 1996 ve 1998 yılları arasında gerçekleştirilmiş, bölgedeki zemin hareketlerini belirlemek için GPS ölçmeleri yapılmıştır.

Bölüm 3'te açıklanan yöntemlere uygun olarak 1990-1993 yılları arasında deformasyon izleme çalışmalarına temel olarak kurulmuş jeodezik kontrol ağı, tahrip olan noktaların yerine yenileri tesis edilerek ve daha başka noktalar ilavesiyle yeniden tasarlanmıştır. Bu çalışmada adı geçen bölgedeki heyelanın, bu kontrol ağının GPS gözlemleriyle değerlendirilmesi ele alınacaktır. Kontrol ağı, kısmen yeni bir ağıdır. Ölçme yöntemi tamamen farklıdır. Ölçme tekniği GPS olduğundan, değerlendirme ve analiz hesapları da 3D sistemde ele alınacaktır. Ayrıca daha güncel analiz yöntemlerinin kullanılmasında hedeflenmiştir.

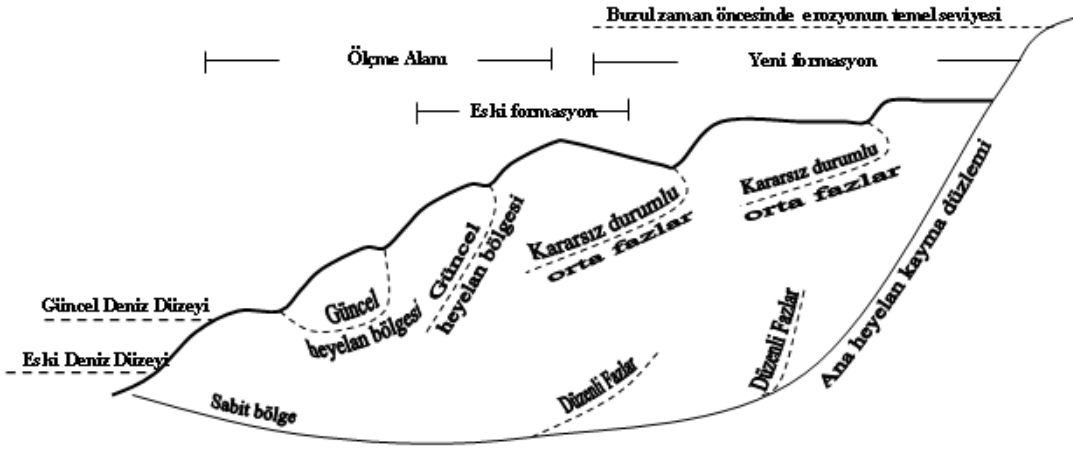
Heyelan izleme çalışmalarında, farklı yönlerde hareket eden ve farklı hızlara sahip olan heyelan bloklarını belirlemek, bölgedeki hareketin geleceği hakkında bilgiye sahip olmak açısından çok önemlidir. Son yıllarda, Bulanık Çıkarım Sistemleri ve Yapay Sinir Ağları gibi bilgiye dayalı (knowledge-based) 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). Blok sınırlarının belirlenmesi amacıyla; kontrol noktalarının deformasyon vektörleri, afin koordinat dönüşümü ile irdelenir ve farklı bloklardaki kontrol noktaları yinelemeli çözümlerle değerlendirilir. Bu analiz yönteminde çözümün bazı adımları için başlangıç değerleri BÇS ile hesaplanır. BÇS'nde kullanılacak girdi parametreleri için dönüşümden hesaplanan dönüşüm parametrelerine ek olarak gerilme (strain) parametreleri ile dönüşümün standart sapması örnek olarak verilebilir (Haberler, 2003).

4.1.2 Bölgenin jeolojik özellikleri

Doğal dengenin yapay bozucu etkililerini dışarıda tutarsak, toprak hareketlerinin nedeni, söz konusu bölgedeki yeraltı suyu, depremlerden sonra ortaya çıkan sismik kuvvetler, ince çatlaklar ve sertleşmiş kil katmanlarındaki kayma gerilimindeki azalma ile ilişkili koşullardaki değişimlerdir.

Uygulamanın yapıldığı alan yamaç dengesinin yavaş yavaş oluştuğu bir heyelan bölgesidir. Yüzey suyu ve bölgedeki yerleşimlerden kaynaklanan küçük boyutlu tanecik biçimli hareketlerin sonucunda bu denge bozulmuş ve bunun sonucunda kütle hareketleri gerçekleşmiştir (Şekil 4.2). Toprak hareketlerini önlemek için

bölgede drenaj çalışması yapılmıştır (Acar ve diğ., 2008c; Acar ve diğ., 2004; Altan ve diğ., 1994).

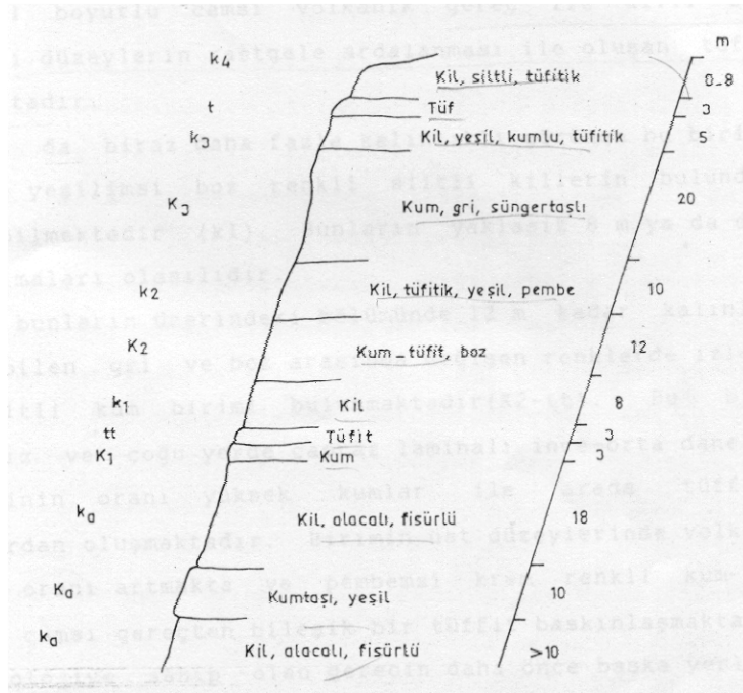


Şekil 4.2 : Büyükçekmece bölgesi heyelan modeli

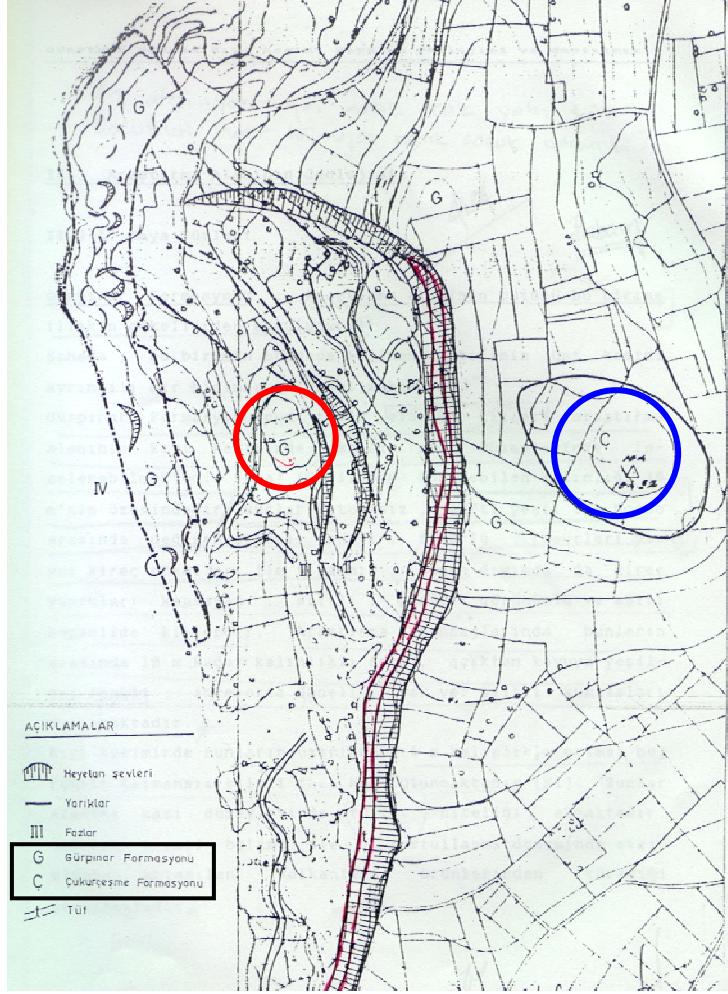
İstanbul'da özellikle Gürpınar ve Güngören formasyonlarının yaygın olarak yüzeyletiği kesimlerdeki yamaçlar ve şevler potansiyel heyelan alanlarını oluşturmaktadır (Siyahi ve diğ., 2003). Gürpınar beldesi çevresinde yaygın mostra (Yeryüzünde bir madenin açığa çıkmış ve çıplak göz ile görülen kısmı, yani maden yatağının yüzeyi ile yeryüzünün ara kesiti) veren Gürpınar Formasyonu (Güf) İstanbul megapol alanının en sorunlu zemin tipini oluşturur. Zayıf zemin özelliğindeki birimin Marmara Denizi kıyısı boyunca uzanan mostraları, genişliği yerel olarak 1 km nin üzerinde bir zon içinde, tümüyle dönел kayma türü (heyelan) aktif kütle hareketleriyle kaplıdır. Bu alanların yapılaşmaya kesinlikle açılmaması ve yeşil alan olarak muhafazası gerekir. Bu zon içerisinde Büyük Reşit Paşa Çiftliği güneyindeki heyelan zonu, Fener heyelanları, Pekmez heyelanı (Gürpınar heyelan bölgesi), Pınarkent heyelanları ve en son olarak Devebağirtan (çukurlar) heyelanı çok büyük kütle hareketlerinden bazılarıdır. Bu olayların nedeninin jeolojik olması yüzünden zeminde yapılacak iyileştirme işlemleri duraylılığı sağlamada yeterli olmayacaktır. Bu zon dışındaki mostralarda birimi oluşturan killerin ve tüflerin bentonitik olmaları yüzünden su alınca şişmeleri dolayısıyla yüksek plastisiteli olmaları, üzerlerine konacak yüksek yapıların farklı oturmalar ile değişen derecelerde hasara uğramaları kaçınılmaz olacaktır. Gürpınar beldesi Kooperatifler alanındaki yüksek binalarda bu tür olaylarla gelişmiş önemli çatlak ve kırıklar mevcuttur. Ayrıca, birim içindeki kum mercceklerinin su taşıması nedeniyle yüksek

şiddetli deprem ile sivilaşma, göz önünde tutulması gereken çok önemli bir olgudur (Url-8).

Çalışmanın gerçekleştirildiği Gürpınar heyelan bölgesi, İstanbul'un Trakya kesiminin, tersiyer yaşlı tortullarla kaplı bölgesinde yer almaktadır. Bölgeye ait litoloji istifi ise Şekil 4.3'te verilmiştir. Çalışma bölgesine ait ayrıntılı jeolojik bilgiler (Geosan A.Ş., 1992)'de verilmektedir. Bölgede genel olarak Marmara Denizi'ne yakın kesimlerde Gürpınar Formasyonu, iç kısımlara doğru Çukurçeşme formasyonu görülmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.3 : Çalışma bölgesinin litoloji istifi.



Şekil 4.4 : Heyelan bölgesi formasyon haritası.

4.1.3 Kontrol Ağı

Baraj, köprü, mühendislik yapıları ve yerkağında oluşan hareketlerin jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem, jeodezik ağ yöntemidir. Jeodezik kontrol ağını oluştururken ağ noktaları deformasyona konu olan bina veya bölgeyi en iyi şekilde temsil eden noktalar olmasının yanında kontrol ağının geometrisi bir yandan uyumsuz ölçüleri ortaya çıkaracak biçimde güvenilir olmalı, bir yandan nokta koordinatlarının yeterince doğrulukla elde edilmesine imkan vermeli, bir yandan da olası deformasyonları ortaya çıkarmaya yarayan testlere cevap verir durumda olmalıdır. Çünkü deformasyon analizi sonucunda bu noktalara ait konum bilgileri çeşitli şekillerde yorumlanıp o bölgede deformasyon vardır ya da yoktur kararı verilmektedir. Yapıyı veya araziye iyi bir şekilde temsil etmeyen noktalarla yapılan irdemeyle belkide o bölge hakkında yanlış bir karara varılabilir. Bu nedendir ki deformasyon ağının oluşturulması bütün analiz işlemlerinin iskeletini oluşturan önemli bir adımdır.

Heyelanlı bölgelerde zemin, en çok hareket beklenen ve hiç hareket beklenmeyen yerlerde seçilmiş olan kontrol noktalarıyla temsil edilirler. Hareket beklenmeyen yerlerde seçilen noktalar tercihen deformasyon bölgesi dışında sağlam zeminde seçilmeli ve sonuçta bu noktaların çoğunluğunun gerçekten hareket etmeyen noktalar olması sağlanmalıdır. Bu noktalar *sabit noktalar* olarak adlandırılır. Hareket beklenen yerlerde seçilen noktaların da deformasyon karakteristiklerini özetleyebilmesi ve jeolojik yapının hareket parametrelerini temsil etme özelliğine sahip olması gerekmektedir (Ayan, 1982, Tanır 2000). Bu noktalar *deformasyon noktası* ya da *obje noktası* adını alır. Bu noktalar bir jeodezik kontrol ağının noktalarını oluşturmak üzere noktalar arasında uzaklık, açı ve yükseklik ölçmeleriyle birbirine bağlanırlar.

Gürpınar heyelan bölgesindeki ilk çalışmalar 1990 yılında, 64 konut yapı kooperatifinin oluşturduğu S.S. Büyükçekmece Konut Üretim Kooperatifler Birliği tarafından, Büyükçekmece köyünün doğu yamacında konut yapım çalışmalarının sürdüğü, yerleşime açılacak, yaklaşık 80 000 m² alanda olası zemin hareketlerinin izlenmesi için başlatılmıştır. Bölgede bir ön çalışma yapılarak, zemin mekaniği uzmanlarının görüşü alınarak, en büyük zemin hareketlerinin beklendiği yerler ile hareket etmeyeceği düşünülen yerlere pilyeler tesis edilmiştir. Üzerlerinde ölçme aletlerinin zorunlu merkezleştirilmelerini sağlayan pilyelerin bir kısmı doğal zeminde bir kısmı da bina üstelerine tesis edilmiştir. Ayrıca, büyük zemin hareketleri nedeniyle pilyelerde eğilme yaşandığı için, üzerlerine sehpa ile alet kurulan zemin noktaları da tesis edilmiştir. Yatay deformasyonların izlenmesi için kurulan ağda, 10 referans noktası bölgede hareket beklenmeyen yerlerde, 28 deformasyon noktası ise deformasyon özelliklerini özetleyebilmesi ve jeolojik yapının hareket parametrelerini temsil etme özelliğine sahip yerlerde tesis edilmiştir. Noktalar arasındaki uzaklıklar 25 ile 1050 m arasında değişmektedir. Yatay kontrol ağı için düşünülen söz konusu 38 noktadan ayrı olarak 13 adet düşey kontrol noktasıda bina duvarlarına tesis edilmiştir. Yatay kontrol ağının 24 adet zemin noktası da düşey kontrol ağına katılarak yüksekliklerinin değişimlerinin saptanması hedeflenerek Aralık 1990'da yersel tekniklerle ilk periyot ölçmesi gerçekleştirilmiştir.

Aynı çalışma alanında, son yersel ölçmelerinin tamamlanmasından beş yıl sonra GPS tekniği kullanarak zemin hareketlerinin belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bir önceki proje ve GPS gözlemleri ile gerçekleştirilen heyelan izleme çalışmalarını

ilişkilendirmek için bölgede yersel ölçme teknikleri ile gerçekleştirilen kontrol ağı noktaları kullanılmak istenmiş fakat deformasyon noktalarının çoğunu zeminde bulmak mümkün olmamış sadece bir kaç deformasyon ve kontrol noktası bulunmuştur. Bu nedenle bölgede yirmi sekiz noktadan oluşan yeni bir deformasyon izleme ağı kurulmuştur. (Çelik ve diğ., 1999). Bölgede olası deformasyonları belirlemek için tesis edilen jeodezik kontrol ağı, referans noktaları arasındaki bazlar ile birlikte, çalışma bölgesini gösteren uydu resmi üzerinde Şekil 4.5 de verilmektedir. Kontrol ağının sabit noktaları, heyelan bölgesi dışında, yamaçlar dışında ya düzlüklerde ya da yükselti üstlerinde seçilmiş ve kısmen de eskiden inşa edilmiş yapılar üzerinde, deformasyon noktaları ise bölgeyi temsil edebilecek özellikte yerlerde tesis edilmiştir.

4.2 Ölçmeler

4.2.1 Yersel ölçmeler

1990 yılında yatay kontrol ağının sıfır ölçüleri doğrultu ve kenar ölçmeleri olarak gerçekleştirilmiştir. Doğrultu ölçmeleri teodolitlerle yapılmış ve kenar ölçmeleri Uniranger (Keuffel Esser) ve ME3000 (Kern) Elektronik Mesafe Ölçerler (EMÖ) ile yapılmıştır. Kenar ölçmeleri, her iki EMÖ'in kalibrasyon ölçmelerinin yapılmasından sonra gerçekleştirilmiştir. Nivelman ölçmeleri, 38 nokta olarak tesis edilen düşey (nivelman) ağ üzerinde yapılmıştır. Nivelman ağı üzerindeki 24 nokta aynı zamanda yatay deformasyon ağı noktaları ile ortak noktalardır (Çelik ve diğ., 1999). Yersel ölçme sonuçlarının özeti Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Hareketlerin izlenmesi için daha sonra Şubat 1991, Mayıs 1991, Eylül 1991, Kasım 1991 ve Temmuz 1993 tarihlerinde ölçmeler yapılmıştır. Kasım 1991 ve Temmuz 1993 tarihleri arasında geçen 20 ay zarfında altyapı ve konut inşaatlarının sürdüğü bölgede birçok kontrol noktası tahrip olmuş, kontrol ağlarının yapısı değişmiştir. Daha önce ölçme olanağı bulunan bazı kenarlar, bina inşaatlarının yükselmesi, çatılar ve büyüyen ağaçlar nedeniyle ölçülememiştir (Ayan ve diğ., 1993).



Şekil 4.5 : Gürpınar heyelan bölgesi ve çevresinde deformasyonların belirlenmesi için tesis edilen jeodezik kontrol ağı(Url-11).

Çizelge 4.1 : Yersel ölçme sonuçlarının özeti.

Periyot	Tarih	Ölçmeler	Doğruluk	Nokta Sayısı
I	Kasım 1990	Yatay Ağ Wild T2 Uniranger ME3000	< 1 cm	38 Yatay
		Düşey Ağ Wild NAK2	< 1 mm	38 Düşey
II	Şubat 1991	Wild T2 Zeiss Th2 Wild T2	<1 cm	36 Yatay (10+26)
		Wild NAK2	<1 mm	34 Düşey
III	Nisan 1991	2 x Wild T2 Uniranger Wild NAK2	<1 cm	33 Yatay (9+24)
			<1 mm	34 Düşey
IV	Nisan 1991	2 x Wild T2 Uniranger Wild NAK2	<1 cm	31 Yatay (9+22)
			<1 mm	34 Düşey
V	Kasım 1991	2 x Wild T2 Uniranger Wild NAK2	<1 cm	34 Yatay (9+25)
			<1 mm	37 Düşey
VI	Temmuz 1993	2 x Wild T2 Wild DI 3000 Wild NAK2	<1 cm	23 Yatay (3+20)
			<1 mm	23 Düşey

4.2.2 GPS ölçmeleri

İlk GPS gözlem kampanyası Temmuz 1996'da gerçekleştirilmiş daha sonra bu kampanyayı sırası ile Mart 1997, Ekim 1997 ve Mart 1998 kampanyaları takip etmiştir (Acar ve diğ., 2004). Dört kampanyaya ait ölçme tarihleri, ölçme gün sayıları, ölçme ekibindeki kişi sayıları, kullanılan donanım ve sayıları Çizelge 4.2 de ve örnek olarak birinci kampanyaya ait gözlem planı Şekil 4.6'da bütün kampanyalara ait gözlem planları da Ek-A'da verilmektedir.

İlk kampanya hariç diğer ölçme kampanyalarında, 4 noktadan oluşan referans ağı, deformasyon noktaları ölçme süresince GPS referans noktaları olarak kullanılmış ve yaklaşık 3.5 saat gözlenmiştir. Kampanyalar arasında 15-24 arasında değişen deformasyon noktaları 10'ar dakikalık iki ayrı oturumda (session), dört referans ağı noktasına bağlı olmak üzere toplam 20 dakika gözlenmiştir. GPS oturumları sırasında, çift frekanslı, 12 kanallı, Leica ve Trimble marka GPS alıcı ve antenleri kullanılarak hızlı statik ölçme yöntemi uygulanmış, kaydedilen veriler arazide bilgisayara aktarılmıştır.

Çizelge 4.2 : GPS ölçmelerinin özeti.

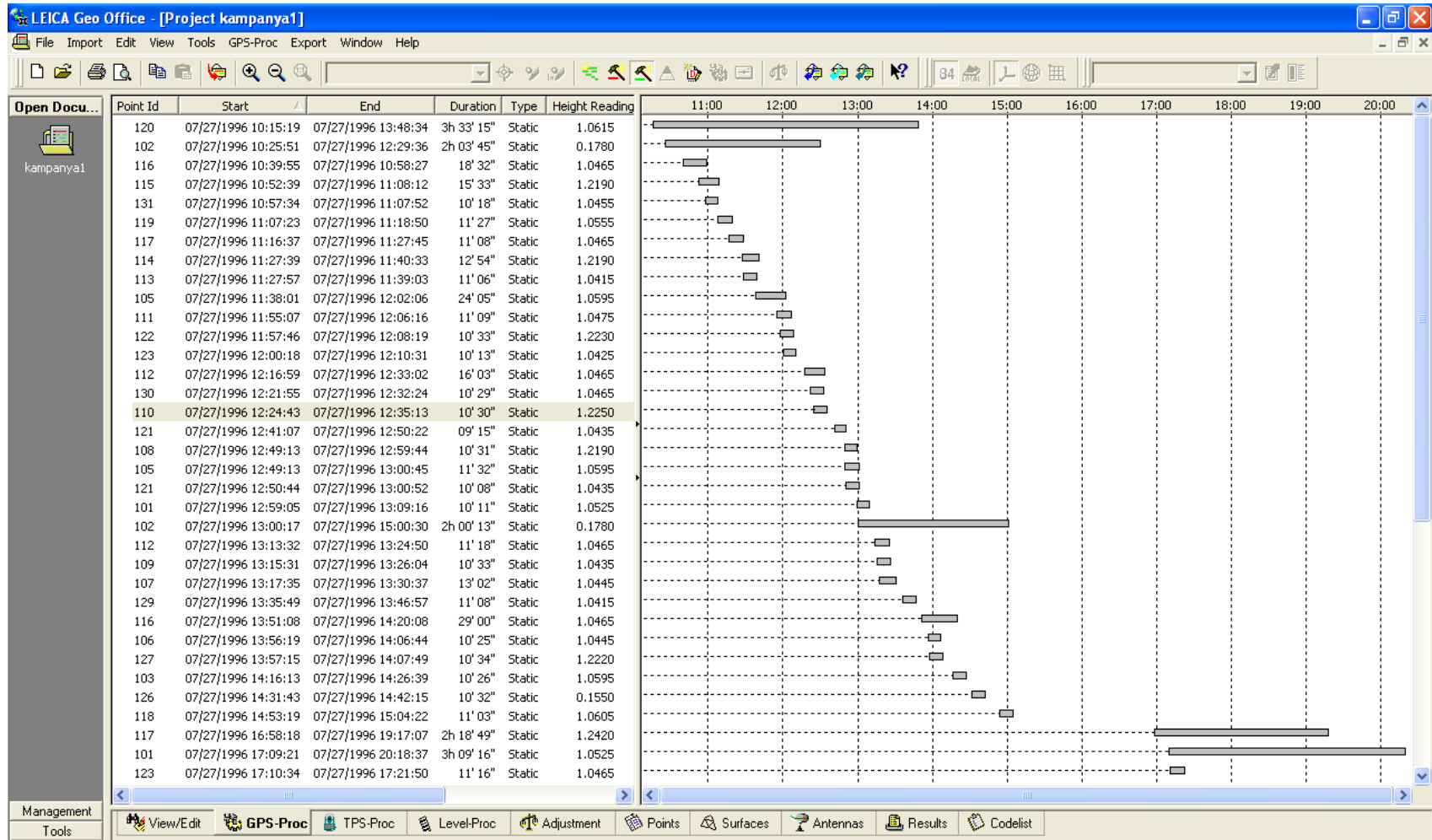
Kampanya	I	II	III	IV
Tarih	Temmuz 1996	Mart 1997	Ekim 1997	Mart 1998
Süre	1 gün	1 gün	1 gün	1 gün
Ekip	6 kişi	10 kişi	10 kişi	10 kişi
GPS Alıcısı	Leica SR399 (2) Trimble SSI (4)	Leica SR399 (6) Trimble SSI (4)	Leica SR399 (6) Trimble SSI (4)	Leica SR399 (6) Trimble SSI (4)
Ölçme süresi	2 x 10 dakika	2 x 10 dakika	2 x 10 dakika	2 x 10 dakika

4.2.3 GPS kampanya değerlendirmeleri

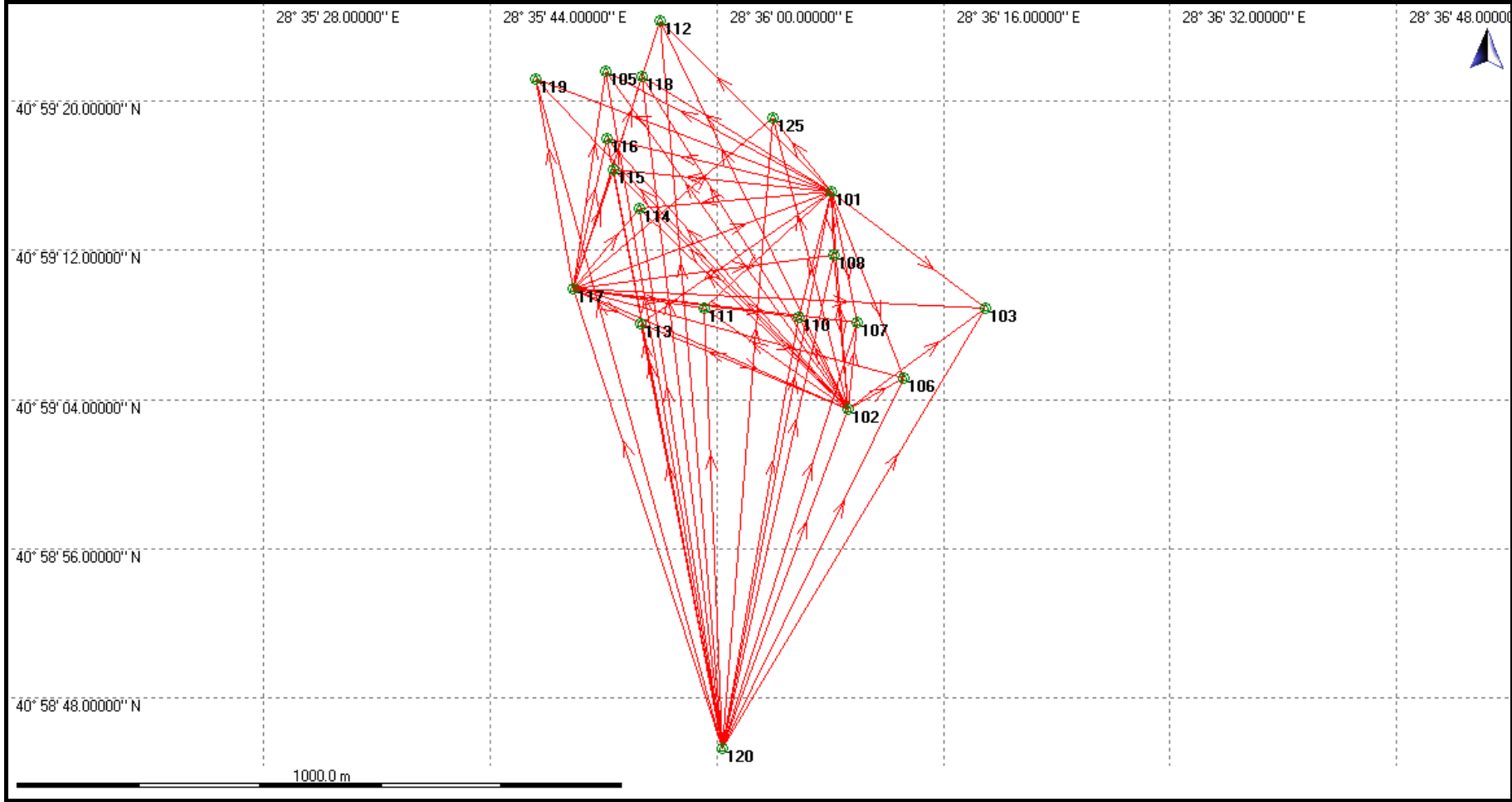
GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi için Bernese bilimsel yazılımının bilimsel teorik altlıklarını kullanan Leica firmasına ait Leica Geo Office (LGO) versiyon 5.0 uygulama yazılımı ile test edilmiştir.

Leica Geo Office (LGO) yazılımı, bilimsel yazılımlara benzer olarak GNSS uydu sistemlerine ait gözlemleri, tek ve çift frekanslı alıcılara ait statik ve hızlı statik yöntemlerle toplanmış gözlemleri, sürekli GPS istasyonlarına ait gözlemleri, farklı alıcılarda toplanan gözlemleri (RINEX olarak) değerlendirebilmekte, 80 km ye varan bazlarda başlangıç faz belirsizliğini (integer ambiguity) çözebilmekte, serbest ve dayalı ağ çözümlerini gerçekleştirebilmektedir (Erol, 2008). Şekil 4.7 den de görüleceği gibi bu çalışmadaki en uzun baz 1.2 km en kısa baz 100 m dir ve ayrıca I. kampanyada 69 baz oluşurken II., III., ve IV. kampanyalarda ortalama 130 baz oluşmaktadır. Baz uzunlukları çok kısa olduğundan ve dört kampanya boyunca çok sayıda baz oluştuğundan pratik sonuca gidebilmek ve GPS tekniği kullanarak deformasyon ölçmeleri gerçekleştiren uygulayıcılara yol gösterici olabilmek için LGO V5.0 yazılımının kullanılması uygun görülmüştür.

Baz çözümü sırasında öncelikle referans ağı noktaları arasındaki bazlar çözülmüş daha sonra referans ağı noktalarına bağlı olarak obje noktalarının bazları çözülmüştür. Kabul gören baz vektörlerinin çözümleri veri tabanına kaydedilmiştir. Kampanya için bütün bazlar çözümlenip veri tabanına kayıt edildikten sonra dengeleme işlemine başlanabilir duruma gelinmiştir.



Şekil 4.6 : Jeodezik kontrol ağı GPS gözlem planı (I. Kampanya).



Şekil 4.7 : GPS ağı ve değerlendirmesi sırasında çözülen baz bileşenleri.

Kullanım amaçlarına göre oluşturulan ve bu amaçlara göre en uygun hale getirilmesi istenen jeodezik ağların, önceden belirlenen doğruluk, duyarlık ve güvenilirlik isteklerini karşılamaları istenir. Bu anlamda gerçekçi bir irdeleme yapabilmek için ele alınan jeodezik ağlarının ölçüleri serbest ağ yöntemiyle dengelenir. Serbest ağ dengelenmesiyle gözlemlerin kendi aralarındaki tutarlılıklar ve noktaların duyarlılıkları daha gerçekçi olarak belirlenebilir (Bayrak, 2003; Ayan, 1982). Bu nedenle, GPS ölçüleri yapılan kontrol ağı her kampanya için ayrı ayrı olmak üzere değerlendirilmiş ve serbest ağ dengelenmesi ile dengelenmiştir. Dengeleme sonuçlarına ilişkin sonuçlar Çizelge 4.3 ve Ek-B de verilmektedir.

Çizelge 4.3 : GPS ölçmeleri dengelenmesi istatistiksel değerleri.

Kampanya	I (27.07.1996)	II (14.03.1997)	III (13.10.1997)	IV (30.04.1998)
Nokta Sayısı	28	19	21	19
Bilinmeyen Sayısı	84	57	63	57
Serbestlik derecesi (f)	126	339	366	336
Ölçü sayısı (n)	207	393	426	390
Çözülen baz sayısı	69	131	142	130

4.3 Deformasyon Analizi

4.3.1 En küçük kareler kestirimi ile analiz

Teorik esasları bölüm 3'te verilen EKK kestirimi ile deformasyon analizi için öncelikle, kampanya değerlendirmeleri sonucunda elde edilen, II. kampanya koordinatları, I. kampanya koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Üç boyutlu koordinat dönüşümü (2.35)-(2.42) eşitlikleri ile verilen Molodensky-Badekas yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Hesapta 103, 107, 117, 119 ve 120 nolu noktalar özdeş noktalar olarak alınmıştır. Çünkü global test sonucu ağda deformasyon olduğu görülmüş ve bu beş nokta hareketsiz (stabil) nokta olarak öne çıkmıştır. Dönüşüm sonuçları, dönüşüm parametreleri Çizelge 4.4'te ve çakışma artıkları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : I. ve II. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.

Parametre	Dönüşüm Parametresi Değerleri	Ort. Hata
t_x (m)	-0.0091	0.0015
t_y (m)	-0.002	0.0015
t_z (m)	-0.0084	0.0015
R_x (")	-0.73542	0.81040
R_y (")	6.88353	0.96915
R_z (")	-2.34268	0.94348
k (ppm)	-8.5920	3.25896
s_o (m)	0.0033	

Çizelge 4.5 : I. ve II. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.

Nokta No	d_x [m]	d_y [m]	d_z [m]
103	-0.0035	0.0035	-0.0007
107	0.0039	0.0010	0.0007
117	0.0045	-0.0012	-0.0009
119	-0.0020	-0.0012	-0.0012
120	-0.0030	-0.0022	0.0021

Bölüm 3.2.2 de verilen (3.8)-(3.11) eşitliklerinin uygulanmasıyla elde edilen 3D deformasyon analizi sonuçları da Çizelge 4.6'da verilmektedir. Burada birinci kampanyadan, ikinci ölçme kampanyasına kadar geçen süre içinde önemli, anlamlı (signifikant) zemin hareketleri görülmektedir.

Çizelge 4.6 : I. ve II. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.

Nokta No	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	d (cm)	Test Büyüklüğü	Fischer (0.95, 3, f)	Hipotez (d=0)
101	3.24	-1.37	-0.09	3.52	49.56	2.62	Geçersiz
102	3.37	1.80	2.54	4.59	7.52	2.62	Geçersiz
105	5.63	0.60	0.31	5.67	6.25	2.62	Geçersiz
106	0.32	0.05	1.18	1.22	0.23	2.62	Geçerli
110	3.01	-3.96	-3.42	6.04	13.88	2.62	Geçersiz
111	10.30	-9.83	-8.82	16.75	84.21	2.62	Geçersiz
112	-2.36	-1.11	-1.60	3.06	1.52	2.62	Geçerli
113	18.54	-14.98	-8.53	25.32	475.81	2.62	Geçersiz
114	14.66	-13.38	-11.46	22.92	164.08	2.62	Geçersiz
115	16.34	-8.43	-8.48	20.25	363.40	2.62	Geçersiz
116	4.86	-4.05	-1.33	6.46	33.59	2.62	Geçersiz
118	-3.12	-5.04	-3.75	7.01	7.04	2.62	Geçersiz
125	-1.75	-0.34	-1.24	2.17	1.06	2.62	Geçerli

Deformasyon kanıtlanamayan 106, 112, 125 nolu noktalardaki 1.22, 3.06 ve 2.17 cm büyüklüğündeki koordinat farkları deformasyon olarak kanıtlanabilir olmamakla birlikte, dönüşümün çakışma artıklarıyla karşılaştırıldığında yine de büyük farklardır.

Bu nedenle bu noktalar stabil noktalar arasına katılarak analiz tekrarlanmamış, sonraki kampanyaların sonuçlarının beklenmesi yeğlenmiştir.

Deformasyon analizleri, ağ noktalarında meydana gelen hareketlerin daha iyi bir yorumunu yapabilmek için ardışık kampanyalar arasında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle III. kampanya koordinatları, II. kampanyanın koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Bir önceki analizde I. ve II. kampanyalar arasında gerçekleştirilen dönüşümde ortak nokta olarak kullanılan 103 ve 107 numaralı noktalar ile deformasyon kanıtlanamayan 106, 112 ve 125 numaralı noktalar global test sonucunu yine geçememiş ve bu nedenle dönüşümde kullanılacak olan sabit noktalar bloğu içinde yer almamıştır.

I. ve II. kampanyalar arasında gerçekleştirilen deformasyon analizi sonucunda hareket ettiği kanıtlanan 102 numaralı nokta ise bu analiz sonucunda sabit noktalar içinde yer almıştır. Dönüşüm, global test sonucu sabit kalan 102, 117, 119 ve 120 numaralı ağ noktaları ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen dönüşüm parametreleri Çizelge 4.7 ve çakışma artıkları Çizelge 4.8 de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : II. ve III. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.

Parametre	Dönüşüm Parametresi Değerleri	Ort. Hata
t_x (m)	0.0037	0.0016
t_y (m)	0.0005	0.0016
t_z (m)	0.0083	0.0016
R_x (")	-1.42346	1.08633
R_y (")	-5.11136	1.42361
R_z (")	3.89099	1.52822
k (ppm)	5.2803	3.5219
s_o (m)	0.0032	

Çizelge 4.8 : II. ve III. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.

Nokta No	d_x [m]	d_y [m]	d_z [m]
102	0.0048	0.0060	0.0085
117	0.0005	-0.0050	0.0014
119	-0.0023	0.0029	0.0024
120	-0.0018	-0.0002	-0.0004

Çizelge 4.9'da verilen 3D deformasyon analizi sonuçları incelendiğinde, ikinci kampanya ile üçüncü kampanyalar arasında meydana gelen zemin hareketleri birinci ve ikinci kampanyalar arasında meydana gelen hareketinin hemen hemen iki katı

büyükliktedir. Zemin hareketlerinin en büyük değeri 113 numaralı noktada 72.37 cm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.9 : II. ve III. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.

Nokta No	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	d (cm)	Test Büyüklüğü	Fischer (0.95, 3, f)	Hipotez ($d=0$)
101	-1.71	-1.39	0.22	2.21	4.84	2.62	Geçersiz
103	-0.89	-0.43	-1.47	1.77	0.70	2.62	Geçerli
105	-2.75	-0.26	2.32	3.61	11.83	2.62	Geçersiz
106	-1.22	-0.67	-1.48	2.03	1.42	2.62	Geçerli
107	-0.99	-0.41	-1.01	1.47	0.83	2.62	Geçerli
108	-0.98	-4.55	-6.52	8.01	38.23	2.62	Geçersiz
110	3.94	-2.32	-1.49	4.81	37.53	2.62	Geçersiz
111	26.63	-22.26	-22.29	41.25	3085.87	2.62	Geçersiz
112	-0.03	-0.53	-1.19	1.30	0.95	2.62	Geçerli
113	52.4	-43.96	-23.65	72.37	10917.65	2.62	Geçersiz
114	30.33	-27.61	-23.76	47.40	3470.54	2.62	Geçersiz
116	6.07	-11.15	-7.24	14.61	245.27	2.62	Geçersiz
125	-0.17	-0.83	-0.27	0.89	0.57	2.62	Geçerli

Deformasyon kanıtlanamayan 103, 106, 107, 112 ve 125 numaralı noktalardır. Bu noktalardaki maksimum 2.03 cm ve minimum 0.89 cm büyüklüğü arasında değişen koordinat farkları deformasyon olarak kanıtlanabilir olmamakla birlikte, dönüşümün çakışma artıklarıyla karşılaştırıldığında büyük farklar olarak göze çarpmaktadır. Bölgedeki jeolojik süreçlerin hızla devam etmesi ve sürekli değişkenlik göstermesi nedeniyle bu karşılaştırma kampanyaları arasında da bu noktalar stabil noktalar arasına katılarak analiz tekrarlanmamış, sonraki kampanyaların sonuçlarının beklenmesi yoluna gidilmiştir.

Deformasyon analizi uygulamasının son örneği III. ve IV. kampanya ölçmeleridir. Değerlendirmeler sonucu elde edilen IV. kampanya koordinatları, III. kampanya koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Dönüşümde 102, 107, 109, 117, 120, 125 nolu noktalar özdeş noktalar olarak alınmıştır. Daha önceki analizlerde stabil nokta olarak öne çıkan 119 nolu nokta bu analizde global testi geçememiştir. Bir başka göze çarpan nokta ise, dönüşümde kullanılan stabil noktalar içinde yer almamasına rağmen deformasyon analizi sonucunda sahip olduğu deformasyon büyüklüğü eformasyon olarak kanıtlanamayan 125 nolu nokta bu analizde global test sonucu sabit noktalar içerisinde kalmıştır. Dönüşüm sonuçları, dönüşüm parametreleri Çizelge 4.10'da ve çakışma artıkları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.10 : III. ve IV. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.

Parametre	Dönüşüm Parametresi Değerleri	Ort. Hata
t_x (m)	-0.0073	0.0015
t_y (m)	0.0043	0.0015
t_z (m)	-0.0054	0.0015
R_x (")	-0.46276	1.27135
R_y (")	1.78995	0.97181
R_z (")	2.17190	1.57931
k (ppm)	4.0523	3.8138
s_0 (m)	0.0036	

Çizelge 4.11 : III. ve IV. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.

Nokta No	d_x [m]	d_y [m]	d_z [m]
102	0.0002	-0.0004	0.0026
107	0.0029	-0.0037	-0.0021
109	-0.0011	-0.0017	0.0025
117	-0.0040	0.0049	0.0048
120	0.0013	0.0019	-0.0039
125	0.0007	-0.0010	-0.0039

Çizelge 4.12 de 3. ve 4. kampanyalar arasındaki deformasyon analiz sonuçları incelendiğinde, 111, 113, 114, 116 nolu noktalarda büyüklükleri 0.80 m ile 4.82 m arasında değişen çok önemli zemin hareketleri görülmektedir.

Çizelge 4.12 : III. ve IV. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin EKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.

Nokta No	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	d (cm)	Test Büyüklüğü	Fischer (0.95, 3, f)	Hipotez (d=0)
101	2.47	3.50	2.06	4.75	14.52	2.62	Geçersiz
103	0.68	0.17	1.55	1.70	0.73	2.62	Geçerli
105	4.10	-9.01	3.15	10.39	44.88	2.62	Geçersiz
108	-3.30	-7.78	-13.22	15.69	100.24	2.62	Geçersiz
110	2.71	-5.76	-7.41	9.77	82.55	2.62	Geçersiz
111	92.02	-87.08	-88.37	154.47	21361.87	2.62	Geçersiz
112	0.28	0.70	3.60	3.68	3.69	2.62	Geçersiz
113	316.87	-319.23	-175.62	482.86	173715.50	2.62	Geçersiz
114	121.48	-119.30	-114.03	204.92	29420.35	2.62	Geçersiz
116	62.29	-44.79	-21.97	79.81	3265.79	2.62	Geçersiz
119	0.58	0.39	2.15	2.26	1.09	2.62	Geçerli
121	5.05	-7.28	-6.55	11.02	84.38	2.62	Geçersiz
130	2.08	-9.28	-6.92	11.76	80.64	2.62	Geçersiz

Daha önceki iki analizde hareket kanıtlanmayan 112 numaralı noktada bu defa analiz sonucunda 3.69 cm lik deformasyon belirlenmiştir. Deformasyon kanıtlanamayan 103 ve 119 numaralı noktalardır. Bu noktalardaki maksimum 1.70 cm ve minimum 2.26 cm büyüklüğü arasında değişen koordinat farkları deformasyon olarak

kanıtlanabilir olmamakla birlikte, dönüşümün çakışma artıklarıyla karşılaştırıldığında yine de büyük farklardır.

4.3.2 Toplam en küçük kareler kestirimi ile analiz

Deformasyon analizinde, varsayımlardan mümkün olduğu kadar sakınmak ilkesine uygun olarak, ağın konumlandırılması, yöneltmesi ve ölçeklendirilmesi yani ağın datumu üzerinde varsayımlara meydan vermeyen ve ağın iç presizyonunu gerçekçi bir biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi uygulanır (Ayan, 1981). Her periyot ölçmelerinde ağın datum parametreleri dengeleme hesabı içinde belirlendiğinden iki farklı periyot ölçüsünden elde edilen koordinatlar doğrudan doğruya birbiri ile karşılaştırılmaz (Acar ve diğ., 2008a; Akyılmaz, 2001). Farklı periyotlarda elde edilen koordinatlar arasındaki ilişki koordinat dönüşümü ile sağlanır. İki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm parametreleri her iki sistemde de koordinatları bilinen ortak noktalardan hesaplanır. Gereğinden fazla ortak nokta bulunması durumunda bu işlem EKK yöntemi ile gerçekleştirilir. Koordinat dönüşümünde, hem gözlem vektörü hem de katsayılar matrisinin bazı elemanları stokastik özellikler taşır. Klasik EKK yaklaşımında bu genellikle göz ardı edilir ve bu durum çözüm sonuçları içinde bir belirsizlik olarak kalır. Oldukça yeni bir yöntem olan TEKK yöntemi ile hem gözlemler hem de katsayılar matrisinin tamamı ya da bir parçası stokastik bileşen olarak alınabilir ve böylece bilinmeyen parametreler için daha gerçekçi değerler kestirilebilir.

- Bazı durumlarda A katsayılar matrisi içerisinde kimi sütunlar için hesabı gerekmeyen skaler katsayılar olabilir ve bu değerlerin TEKK çözümü sonrasında da değişmeden kalması gerekmektedir. Koordinat dönüşümü uygulamalarında bu durum öteleme parametreleri ile örneklendirebilir. Bu durumda çözüm yapabilmek için A katsayılar matrisi ve x bilinmeyenler vektörünün öteleme bilinmeyenlerine karşılık gelen kısımlarının alt matrislere ayrılması gereklidir.
- Gözlemlerin ve katsayılar matrisinin sütun elemanlarının varyanslarının aynı olduğu varsayıldığı durumlarda sütun elemanlarının varyansları arasındaki farklar ihmal edilebilir. Fakat, genellikle gözlem vektörlerinin ve katsayılar matrisi bileşenlerinin varyans değerleri farklıdır.

Bu uygulamada yukarıda anlatılan problemlere çözüm getirmesi nedeniyle GTEKK yöntemi kullanılmıştır. GTEKK ve EKK çözümü ile gerçekleştirilen deformasyon analiz sonuçlarının bir karşılaştırmasını yapabilmek için EKK yöntemi ile gerçekleştirilen global test sonucunda sabit olarak öne çıkan noktalar GTEKK çözümünde de sabit nokta olarak alınmıştır.

Deformasyon analizi teorik esasları bölüm 3'te verilen TEKK yöntemi ile deformasyon analizi için öncelikle, II. kampanya koordinatları, I. kampanya koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Dönüşüm sonuçları, dönüşüm parametreleri Çizelge 4.13'de ve çakışma artıkları Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.13 : I. ve II. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.

Parametre	Dönüşüm Parametresi Değerleri
t_x (m)	-0.0118
t_y (m)	-0.0040
t_z (m)	-0.0083
R_x (")	-0.68930
R_y (")	6.00278
R_z (")	-1.13492
k (ppm)	-1.9761
s_0 (m)	0.0033

Çizelge 4.14 : I. ve II. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.

Nokta No	d_x [m]	d_y [m]	d_z [m]
103	-0.0050	0.0103	0.0008
107	0.0018	0.0060	0.0016
117	0.0007	-0.0001	-0.0005
119	-0.0068	-0.0001	0.0016
120	-0.0042	-0.0001	-0.0028

EKK yöntemi ile elde edilen dönüşüm parametreleri ve sabit noktalara gelen çakışma artıkları TEKK kestirimi ile elde edilen değerlerden farklı olmasına rağmen her iki yöntemle de elde edilen s_0 değeri aynıdır. GTEKK çözümü ile gerçekleştirilen deformasyon analizi sonuçları Çizelge 4.15'de verilmiştir. 3D deformasyon analizi sonuçları incelendiğinde, deformasyon vektörlerinin büyüklükleri 102, 106 112 nolu noktalarda artarken bazı noktalarda da azalmalar görülmektedir. Bu farklılığın nedeni, GTEKK yönteminde kullanılan ağırlıklandırma stratejisi olarak düşünülmüştür.

Çizelge 4.15 : I. ve II. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.

Nokta No	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	d (cm)	Test Büyüklüğü	Fischer (0.95, 3, f)	Hipotez ($d=0$)
101	2.98	-0.88	0.16	3.11	33.51	2.62	Geçersiz
102	3.19	2.26	2.52	4.65	8.80	2.62	Geçersiz
105	5.21	0.81	0.63	5.31	4.75	2.62	Geçersiz
106	0.15	0.60	1.22	1.37	0.36	2.62	Geçerli
110	2.77	-3.54	-3.35	5.61	11.84	2.62	Geçersiz
111	10.00	-9.54	-8.77	16.37	80.32	2.62	Geçersiz
112	-2.78	-0.82	-1.20	3.14	2.38	2.62	Geçerli
113	18.21	-14.78	-8.52	24.95	462.23	2.62	Geçersiz
114	14.30	-13.16	-11.30	22.48	157.91	2.62	Geçersiz
115	15.95	-8.23	-8.28	19.77	346.32	2.62	Geçersiz
116	4.46	-3.85	-1.09	5.99	29.28	2.62	Geçersiz
118	-3.51	-4.79	-3.42	6.85	6.20	2.62	Geçersiz
125	-2.06	0.08	-0.92	2.26	1.94	2.62	Geçerli

EKK yöntemi ile yapılan deformasyon analizi sonucunda deformasyon kanıtlanamayan 106, 112 ve 125 numaralı noktalar GTEKK yöntemi ile gerçekleştirilen analiz sonucunda da deformasyon kanıtlanamayan noktalar olarak belirlenmiştir. Bu noktalardaki sırasıyla 1.37, 3.14 ve 2.26 cm büyüklüğündeki koordinat farkları deformasyon olarak kanıtlanabilir olmamakla birlikte, dönüşümün çakışma artıklarıyla karşılaştırıldığında çok büyük farklardır.

İkinci aşamadaki deformasyon analiz belirleme çalışmaları için III. kampanya koordinatları, II. kampanyanın koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Elde edilen dönüşüm parametresi değerleri Çizelge 4.16’da ve ortak noktalara ait çakışma artıkları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.16 : II. ve III. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.

Parametre	Dönüşüm Parametresi Değerleri
t_x (m)	0.0050
t_y (m)	-0.0013
t_z (m)	0.0081
R_x (")	-1.5284
R_y (")	-4.77653
R_z (")	3.0019
k (ppm)	5.7315
s_0 (m)	0.0039

Çizelge 4.17 : II. ve III. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.

Nokta No	d_x [m]	d_y [m]	d_z [m]
102	-0.0012	0.0006	0.0006
117	0.0047	-0.0069	-0.0005
119	0.0014	-0.0001	-0.0016
120	0.0005	-0.0005	0.0006

GTEKK yöntemi uygulanmasıyla elde edilen 3D deformasyon analizi sonuçları Çizelge 4.18’de verilmektedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9’deki EKK yöntemi ile elde edilen deformasyon analizi sonuçları ile karşılaştırıldığında, bütün noktalardaki deformasyon vektörünün büyüklüklerinin çok az miktarda arttığı gözlenmektedir. Fakat bu artış analiz sonuçlarını etkileyecek büyüklükte değildir.

Çizelge 4.18 : II. ve III. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.

Nokta No	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	d (cm)	Test Büyüklüğü	Fischer (0.95, 3, f)	Hipotez ($d=0$)
101	-1.70	-1.69	0.17	2.40	5.83	2.62	Geçersiz
103	-0.98	-0.71	-1.51	1.94	0.83	2.62	Geçerli
105	-2.58	-0.57	2.27	3.48	10.92	2.62	Geçersiz
106	-1.25	-0.89	-1.51	2.15	1.68	2.62	Geçerli
107	-0.99	-0.65	-1.04	1.58	1.03	2.62	Geçerli
108	-0.97	-4.83	-6.56	8.20	40.93	2.62	Geçersiz
110	3.98	-2.55	-1.52	4.97	40.43	2.62	Geçersiz
111	26.73	-22.48	-22.32	41.45	3118.31	2.62	Geçersiz
112	0.09	-0.87	-1.25	1.53	1.43	2.62	Geçerli
113	52.56	-44.15	-23.68	72.61	10991.62	2.62	Geçersiz
114	30.48	-27.86	-23.80	47.66	3509.99	2.62	Geçersiz
116	6.24	-11.43	-7.29	14.92	256.24	2.62	Geçersiz
125	-0.12	-1.14	-0.32	1.19	1.07	2.62	Geçerli

Analiz sonucunda deformasyon kanıtlanamayan 103, 106, 107, 112 ve 125 numaralı noktalar olarak belirlenmiştir ve EKK çözümündeki elde edilen analiz sonucundaki aynı noktalardır. Bu noktalardaki deformasyon büyüklükleri 1.19 cm ile 2.15 cm arasında değişmektedir.

Deformasyon analizi yapılacak olan son kampanyalar III. ve IV. Kampanyalardır. Deformasyon analizlerinin ardışık kampanyalar arasında gerçekleştirilmesi nedeniyle IV. Kampanya koordinatları III. kampanyanın koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Elde edilen dönüşüm parametresi değerleri ve çakışma atıkları sırasıyla Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.19 : III. ve IV. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile belirlenen dönüşüm parametreleri ve doğruluk bilgileri.

Parametre	Dönüşüm Parametresi Değerleri
t_x (m)	-0.0074
t_y (m)	0.0049
t_z (m)	-0.0066
R_x (")	-0.21096
R_y (")	2.00675
R_z (")	2.71273
k (ppm)	0.2411
s_0 (m)	0.0040

Çizelge 4.20 : III. ve IV. Kampanyalar arasında dönüşüm sonucu elde edilen çakışma artıkları.

Nokta No	d_x [m]	d_y [m]	d_z [m]
102	0.0006	-0.0005	0.0015
107	0.0034	-0.0034	-0.0037
109	-0.0010	0.0001	0.0001
117	-0.0052	0.0066	0.0039
120	0.0006	0.0003	-0.0028
125	0.0009	0.0008	-0.0064

Elde edilen dönüşüm parametresi değerleri ve çakışma artıkları EKK yöntemi ile elde edilen değerlerden farklılık göstermesine rağmen Çizelge 4.21’de verilen deformasyon analizi sonuçları ile aynı sonuçları vermektedir.

Çizelge 4.21 : III. ve IV. Kampanyalar arasında Molodensky-Badekas modelinin TEKK çözümü ile dönüştürülen obje noktalarının deformasyon analizi.

Nokta No	d_x (cm)	d_y (cm)	d_z (cm)	d (cm)	Test Büyüklüğü	Fischer (0.95, 3, f)	Hipotez (d=0)
101	2.52	3.61	1.84	4.77	14.81	2.62	Geçersiz
103	0.82	0.16	1.35	1.59	0.53	2.62	Geçerli
105	4.01	-8.74	2.93	10.05	42.10	2.62	Geçersiz
108	-3.25	-7.70	-13.41	15.80	101.78	2.62	Geçersiz
110	2.72	-5.70	-7.55	9.84	83.56	2.62	Geçersiz
111	91.98	-86.98	-88.49	154.45	21354.31	2.62	Geçersiz
112	0.23	0.99	3.34	3.49	3.31	2.62	Geçersiz
113	316.79	-319.11	-175.70	482.76	173639.18	2.62	Geçersiz
114	121.41	-119.12	-114.18	204.86	29398.76	2.62	Geçersiz
116	62.20	-44.56	-22.15	79.66	3253.88	2.62	Geçersiz
119	0.46	0.70	1.97	2.14	1.00	2.62	Geçerli
121	5.06	-7.14	-6.74	11.05	84.39	2.62	Geçersiz
130	2.11	-9.14	-7.13	11.78	80.52	2.62	Geçersiz

Analiz sonuçları Çizelge 4.12 ile karşılaştırıldığında, analizin sonucunu değiştirecek büyüklükte deformasyon büyüklüğü yoktur. EKK yöntemi ile gerçekleştirilen deformasyon analizi sonucunda deformasyon kanıtlanamayan 103 ve 119 numaralı noktalar bu analiz sonucunda da dayanak noktası olarak belirlenmiştir.

4.3.3 EKK ve TEKK yöntemlerinin karşılaştırılması

Benzerlik dönüşümünün Moledensky Badekas modeli olarak isimlendirilen geleneksel yaklaşımla karşılaştırma yapmak için aynı veri kümesi üzerinde uygulama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her iki yöntemden elde edilen dönüşüm parametreleri oldukça farklı olmasına rağmen elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu farklılık, GTEKK yönteminde uygulanan ağırlıklandırma stratejisinden kaynaklanmaktadır. Koordinat farkları bazı noktalarda 0.5 cm'ye kadar değişmektedir. Bu büyüklükteki farklar, köprü, baraj ve büyük mühendislik yapılarındaki deformasyon izleme çalışmalarında önem taşımaktadır.

4.4 Analiz Yöntemi Olarak Heyelan Bloklarının Saptanması

4.4.1 Genel bilgiler

Heyelanların incelenmesinde, henüz heyelan oluşmadan, küçük zemin hareketlerinin saptanarak bir heyelan tahmini yapabilmek çok önemli bir hedeftir. Bu amaca yönelik olarak, heyelan zemin kitlelerinden oluşan birden çok blok hareketi gibi düşünmek, blokları, büyüklükleri ve hareket yönleriyle saptayabilmek, heyelana karşı alınacak önlemler açısından fevkalade önemlidir. Bu tezde heyelan bloklarının, kendi üzerinde bulunan kontrol noktalarıyla temsil edilmesi düşünülmüştür. Bu nedenle öncelikle bir deformasyon analizi gerçekleştirilecek kontrol noktalarındaki hareketler saptandıktan sonra, aynı bloktaki noktaların ortak hareket ettikleri gerçeğinden hareket edilerek, kontrol noktalarının birbirine benzeyen hareketlere sahip olanlarından, blokların ayrıştırılması yoluna gidilecektir. Bu ana fikri gerçekleştirecek matematik model temel bilgileri bölüm 2.6 da verilen Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS)'dir.

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.

Bulanık sistemler , 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 (Yılmaz ve Arslan, 2007; Haberler-Weber, 2005; Yılmaz, 2005);

- *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

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). Bu nedenle de öncelikle kontrol noktalarının kanıtlanabilir hareketlerinin saptanması gerekir.

Bu uygulamada blok ayırma işlemini gerçekleştirmek için iki farklı parametre kullanılmıştır. İlk olarak jeodezik faktörler, ikinci olarak da, insanlar tarafından deformasyon vektörü grafiklerine bakarak, deformasyon vektörlerin büyüklüğü, deformasyon vektörlerin yönlerinin benzerlikleri ve komşuluk özelliklerini dikkate alarak benzer hareket modeli bloklarını belirleyebilme yeteneği blok belirleme algoritması için kullanılır ki bu da görsel faktörler olarak isimlendirilir.

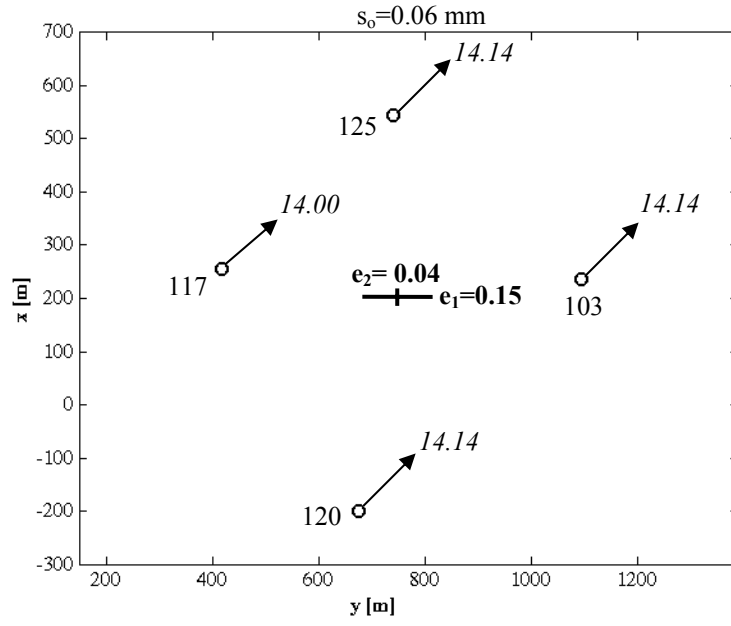
Kontrol noktalarının benzer hareketlere sahip olanlarının ayrıştırılması için ardışık iki ölçü periyodu arasında afin dönüşümü yapılır. Bunun eşitlikleri bölüm 2.3.2 de verilmiştir. Yaklaşık aynı yönde ve büyüklükte hareket eden noktalar grubu bir ortak blok üzerinde olduklarından afin dönüşümünde birbirleri arasında uyumlu olarak küçük düzeltme değeri ve küçük standart sapma (s_0) değerlerine sahip olacaklardır. Birden çok blok bulunması halinde ise, standart sapma değerinin büyümesi beklenir.

Afin dönüşümü 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).

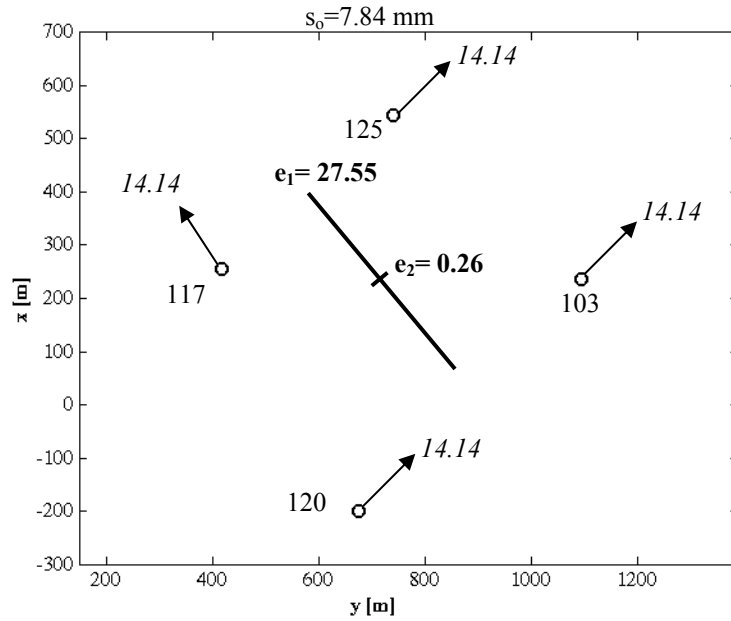
Zemin hareketlerinin küçük olması durumunda, altı dönüklük parametresi anlamlı olmayabilir. Öyleki bu parametrelerde görülenin dışında bloklar arasında belirgin yön farkı görülmeyebilir. Ancak, afin dönüşümü aynı yapıda (homojen) ve çok küçük gerilmelerin (infinitesimal strain) varsayıldığı bir gerilme analizine benzer olması nedeniyle dönüşüm parametrelerinden kolaylıkla bölüm 2.4.2 de verilen eşitliklerle gerilme parametresi bileşenleri e_{xx} , e_{yy} (sırasıyla x ve y eksen yönünde birim uzunluktaki değişim oranı), e_{xy} ($= e_{yx}$ kesme gerilmesi) ve türetilen dönme açısı (ω) elde edilebilir. Gerilme parametrelerinin daha iyi yorumlanabilmesi için gerilme elipsi bileşenleri ana gerilme eksenlerine dönüştürülür. Tam olarak deformasyonun durumunu tanımlayan gerilme elipsinin bileşenleri (yarı eksenler e_1 , e_2 ve maksimum gerilme oranının oryantasyonu θ) (2.65) ile (2.71) arasındaki eşitliklerden hesaplanırlar.

BÇS'nde girdi değişkeni olarak kullanılan bu belirleyiciler Afin dönüşümünün ardışık sonuçları ile belirlenir. Şekil 4.11'deki temel örnekte iki farklı durumda standart sapma değeri (s_0) ve gerilme elipsi parametreleri e_1 , e_2 'nin farklı değerlerini göstermektedir. Şekil 4.8a'da, hemen hemen aynı yönde hareket eden ve hemen hemen aynı deformasyon büyüklüğüne sahip olan 103, 117, 120, 125 numaralı noktalar analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, noktalara ait deformasyon vektörlerinin büyüklüğünün ve yönlerinin hemen hemen aynı olması nedeniyle s_0 , e_1 ve e_2 değerlerinin oldukça küçük olduğu görülür. Bu da noktalarda ölçme periyotları arasında geçen süre içerisinde herhangi bir deformasyon meydana gelmediği anlamına gelmektedir. Ayrıca, küçük olan e_1 değeri, Şekil 4.9 da beş sözel ifadeli BÇS ile modellenmesi sırasında "Çok küçük" veri kümesi içerisinde değerlendirilir ki bu durum bu noktalar arasındaki uyumunun çok yüksek olduğunu gösterir. Bulanık kural

Eğer e_1 değeri çok küçük **İse** blok kalitesi çok yüksek olarak oluşturulur.



a)



b)

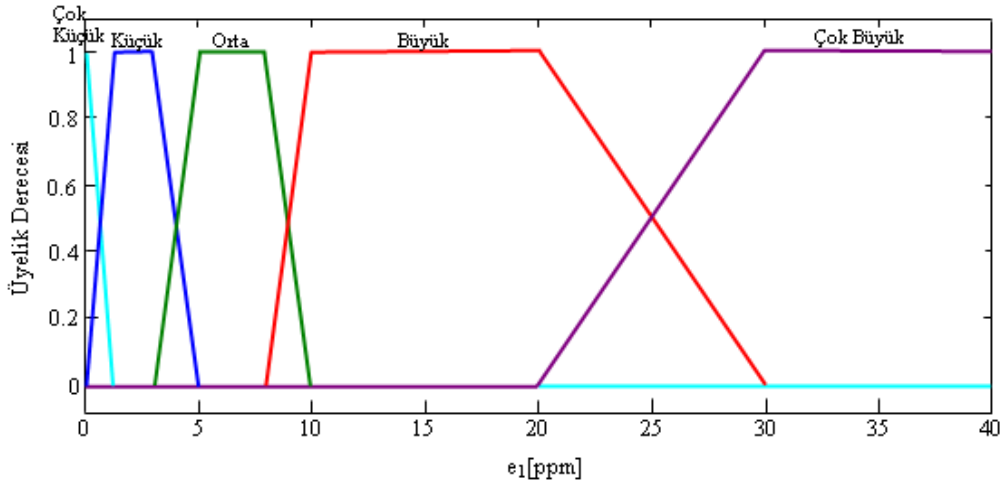
Şekil 4.8 : İki farklı durumda s_0 , e_1 , e_2 parametreleri. Deformasyon büyüklükleri (italik, mm), gerilme ellipsi parametreleri e_1 and e_2 (koyu, ppm).

Şekil 4.8b’de ise bir önceki adımda analiz edilen noktalar yine aynı deformasyon büyüklüğüne sahip olmasına rağmen, 117 numaralı noktada meydana gelen deformasyon vektörünün yönünün değerlerinden farklı yönde olması durumu analiz edilmiştir. Analiz sonucunda s_0 , e_1 ve e_2 değerlerinin oldukça büyüdüğü görülür. Böyle bir durumda, noktalarda meydana gelen hareketlerin aynı özelliklere sahip

olmadığı anlaşılır. Elde edilen e_1 değeri, BÇS ile modellemede “Büyük” veri kümesi içinde değerlendirilir ve bulanık kural;

- **Eğer** e_1 değeri *büyük* **İse** blok kalitesi çok düşük

olarak oluşturulur. Gerilme elipsi parametrelerinin farklı ölçekte olduğuna dikkat edilirse bu parametreler blok belirleme işleminde belirleyici olarak kullanılabilir.



Şekil 4.9 : Beş sözel terimli BÇS’de girdi değişkeni e_1 ’in modellenmesi.

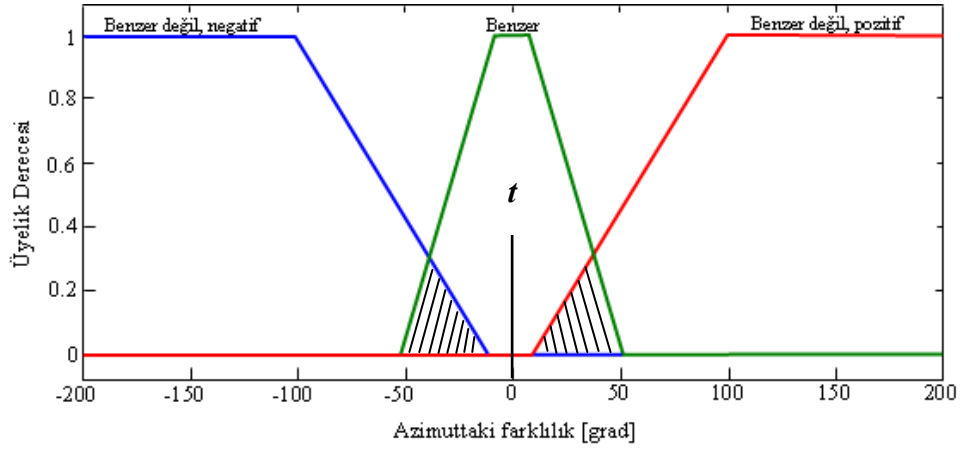
Bir deformasyon analizi sonucunda kontrol noktalarının elde edilen significant hareketlerini bir harita üzerinde vektörlerle gösterildiğinde, bu şekle bakarak, benzer hareketleri ifade eden, yönleri ve büyüklükleri birbirlerine yakın noktalardan görsel olarak kümeler oluşturmak mümkündür. Hatta bunun için uzmanlığada gereksinim yoktur. Buradaki sezgisel belirleyici BÇS ile blok belirleme çalışması için bir matematik algoritmaya dönüştürülebilir.

Bunun için

- Deformasyon 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.
- Deformasyon vektörlerinin büyüklüğü de önemli bir belirleyicidir. Daha önce olduğu gibi, eğer deformasyon vektörlerinin büyüklüğü benzer ise söz konusu noktaların aynı hareketin içinde yer aldığı söylenebilir.

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

Aşağıdaki örnek yön değişkenlerinin modellenmesini göstermektedir (Şekil 4.10). Çalışma bölgesinde, noktalara ait deformasyon vektörlerinin yönleri $\pm 15^\circ$ aralığında (taralı bölge) ise bu durum BÇS’nde noktaların “benzer” yönde hareket ediyor olarak değerlendirilir (Acar ve diğ., 2008a; Haberler–Weber, 2005; Haberler, 2004).



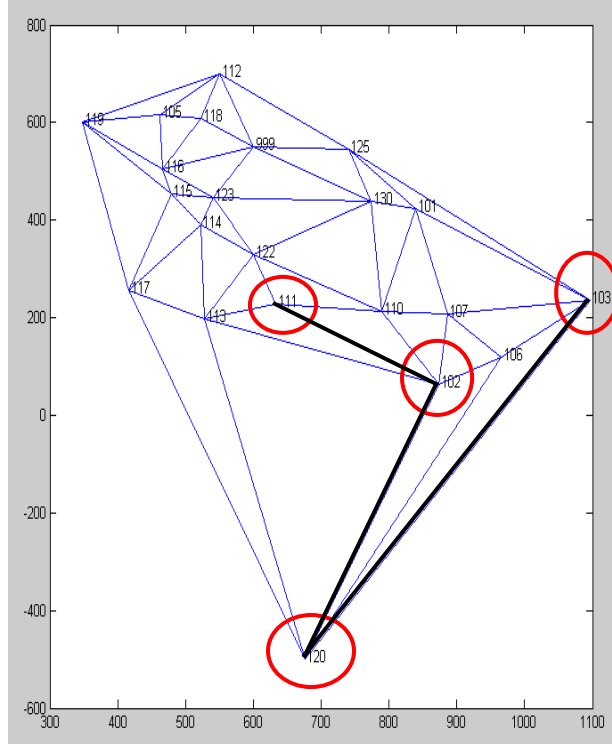
Şekil 4.10 : Hareket vektörü yönünün BÇS üyelik ilişkisi.

4.4.2 Blok Belirleme Algoritması

Heyelan bloklarını belirleme algoritmasına geçilmeden önce noktalar arasındaki koordinat değişimi ilişkilerinin kurulabilmesi için Delaunay üçgenlemesi yönteminden yararlanılır. Şekil 4.11’de 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.

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

Blok belirlemesi yapılacak olan ölçme kampanyaları arasında, dönüşüm parametreleri değerlerinin gerilme analizinde de kolaylıkla kullanılabilmesi için afin dönüşümü ile gerçekleştirilir. Afin dönüşümünde altı dönüşüm parametresini çözmek için, her iki ölçme kampanyasında da koordinatı bilinen üç nokta gereklidir.



Şekil 4.11 : Gürpınar heyelan bölgesi kontrol ağının Delaunay üçgenlemesi.

Dönüşüm parametrelerinin En Küçük Kareler 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, blok belirleme algoritmasında en küçük blok boyutu dört nokta olarak seçilir. Başlangıç bloğu olarak adlandırılan dört noktalı blok seçimini Şekil 4.11 üzerindeki kontrol ağında açıklamak gerekirse: başlangıç noktası olarak 103 numaralı nokta seçilmiş olsun. 103 numaralı noktaya Delaunay üçgenlemesi sonucunda ortak kenarı olan komşu noktalar sırasıyla saat yönünde 120, 106, 107, 101 ve 125 numaralı noktalardır. 120 numaralı nokta ilk komşu nokta olarak seçilmiş olsun. Bu noktaya komşu olan noktalar 103 numaralı nokta haricinde sırasıyla 117, 113, 102 ve 106 numaralı noktalarıdır. 103 ve 120 numaralı noktaya üçüncü komşu nokta olarak 102 numaralı seçilmesi durumunda bu noktaya komşu olan noktalar 113, 111, 110, 107 ve 106 numaralı noktalarıdır. 103-120-102 numaralı komşu noktalara 111 numaralı nokta son komşu nokta olarak dahil edildiği takdirde dört komşu noktadan oluşan ilk olası dört noktalı kombinasyon gerçekleştirilmiş olur.

Blok belirleme algoritması, dört komşu noktadan oluşan tüm olası blokların bulunması ile başlar (Şekil 4.12) 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 afin dönüşümü yapılarak dönüşümden elde edilen karesel ortalama hata değeri (s_0) değerinin yanında, gerilme parametresi değerleri (e_1, e_2), iqr değeri, deformasyon vektörlerinin büyüklüğü ve yönü hesaplanır.

Sonraki adımda, Bölüm 2.6 de ayrıntılı bir şekilde anlatılan; mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan Bulanık Çıkarım Sistemleri ile veriler değerlendirilir. BÇS 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 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 kombinasyonlar olarak değerlendirilir. En uygun dört noktalı bloğun seçilmesinden sonra, bloğa delaunay üçgenlemesi sonucunda ortak kenarı olan diğer komşu noktalar birer birer eklenerek bu bloğa ait bütün 5 noktalı kombinasyonlar hesaplanır. Blokla uyuşan, afin dönüşümü sonucunda minimum standart sapmaya (birim ağırlık) ve uygun gerilme parametreleri (e_1, e_2) değerlerine 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 belirlenmesine geçilir.

Algoritma, mevcut parametreler ve görevlerine göre dört farklı BÇS kullanır:

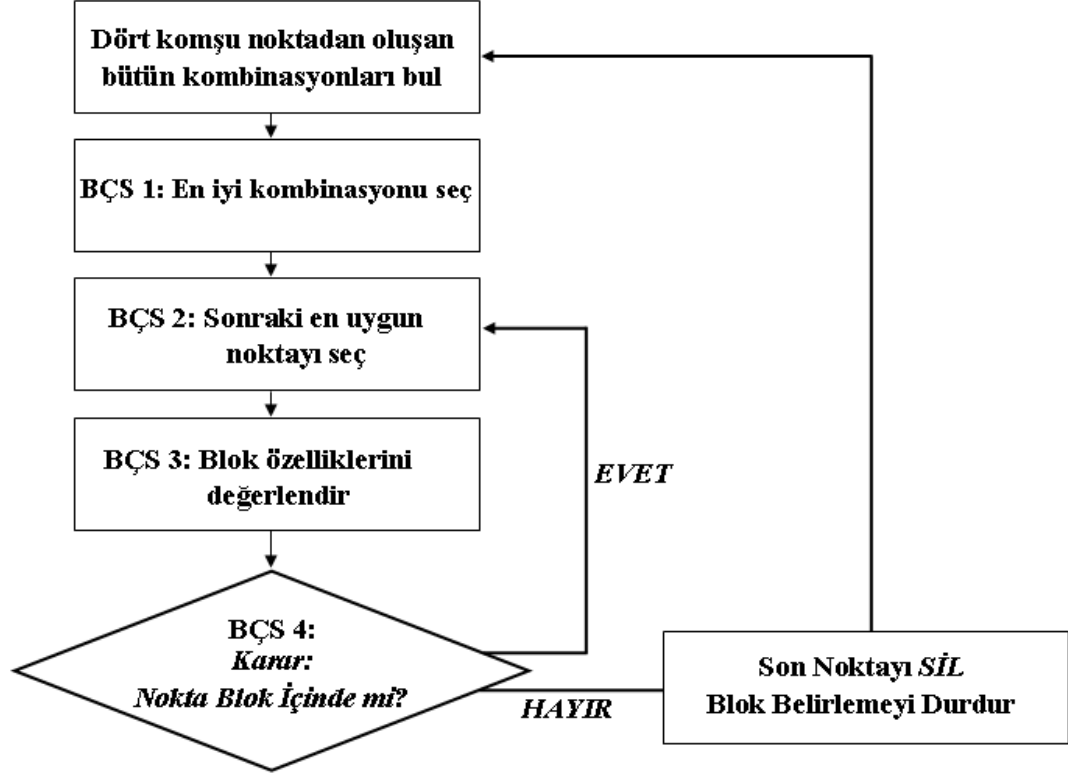
1-) Algoritmanın ilk adımında, 4 noktalı olası bütün kombinasyonlar oluşturulur. Birinci Bulanık Çıkarım Sistemi “BÇS 1”, oluşturulan her kombinasyon için afin dönüşümü sonucunda elde edilen karesel ortalama hata (s_0), gerilme elipsinin eksenleri e_1 ve e_2 , dört yer değiştirme vektörünün yön ve büyüklüğünü 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 , igr değeri, deformasyon 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 “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.

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 (Acar ve diğ., 2008a; Haberler–Weber, 2005; Haberler, 2004).

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 gözlemleri ile elde edilen koordinatlar arasında datum birliğini sağlamak için periyotlar arasında 3D dönüşüm modelleri uygulanmalıdır. Blok belirleme algoritmasında kullanılan BÇS girdi değerleri üç boyutlu afin dönüşümü ile elde edilmek istenirse aşağıda açıklanan problemlerle karşılaşılması olasılıkları vardır. Bunlar :



Şekil 4.12 : Blok belirleme akış diyagramı, Acar ve diğ. (2008) den derlenmiştir.

1-) 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).

2-) Üç boyutlu afin dönüşümü ile gerilme parametrelerini içeren dönüşüm parametreleri

$$x = [t_x, t_y, t_z, R_x, R_y, R_z, e_{xx}, e_{yy}, e_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}]$$

olarak ifade edilirler. Bunlar

t_x, t_y, t_z : ötelenme 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 koordinatları bilinen dört nokta 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 çalışmalarında fazla sayıda noktaya ihtiyaç duyulacağından çoğu jeodezik çalışmalarda nokta sayısı problemi ile karşılaşılabilir.

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen problemlerle karşılaşılmasını için, noktalara ait üç boyutlu konum bilgilerini doğrudan 3D kullanmak yerine, yatay (2D) ve düşey (1D) kombinasyonu ile aşılabileceği düşünülmüştür. Yatay düzlemde blok hareketlerinin belirlenmesi algoritması aynen korunmuş ve bu algoritmaya düşey konum değişimlerinde BÇS sisteminde girdi değişkeni olarak kullanılmak suretiyle (Quasi) üç boyutlu bir sistem oluşturularak blok hareketlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu nedenle bu çalışmada önce yatay hareketler, iki boyutlu olarak ele alınmış daha sonra yükseklikler ayrı olarak incelenmiştir.

4.4.3 Yatay hareket blokları

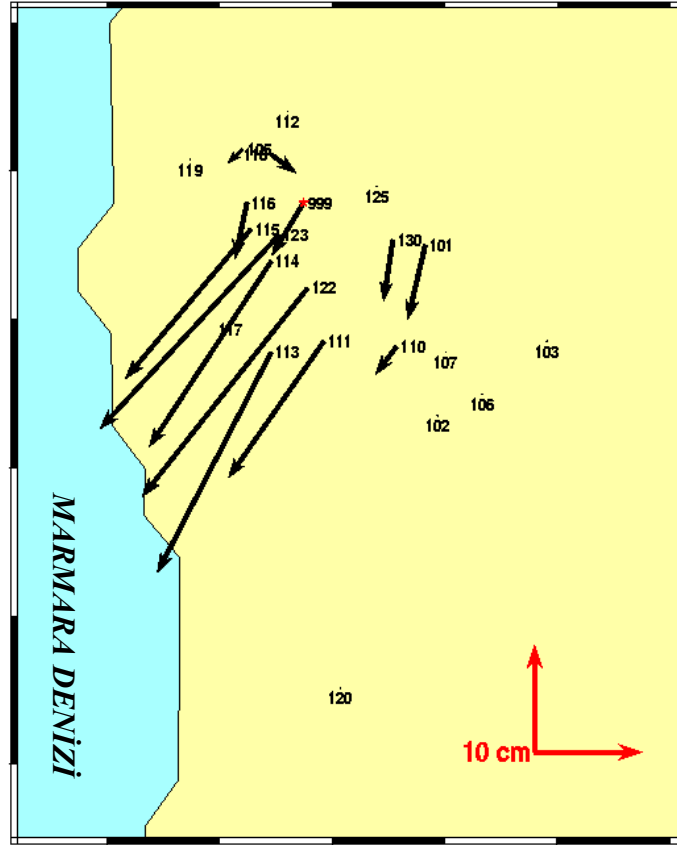
Yatay düzlemde blok hareketlerini belirlemek için kontrol nokta sayısının fazla olması o bölgedeki farklı özelliklere sahip blok hareketlerini belirlemede kolaylık sağlayacaktır. Bu nedenle bölüm 4.3.1 de I. ve II. kampanyalar arasındaki analizi yapılan 18 noktaya ilaveten aynı bölgede Çelik ve diğ. (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 4.13 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 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 3 – 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 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 yapay olarak türetilerek ağı dahil edilmiştir.



Şekil 4.13 : Deformasyon vektörlerinin gösterimi

Blok belirleme, en küçük blok boyutu (başlangıç bloğu) olan dört nokta ile başlar. Çünkü afin dönüşümünde dengelemeli bir dönüşüm yapabilmek için dört nokta gereklidir. Birinci en küçük bloğu bulmak için, dört komşu noktadan oluşan dört

noktalı bütün kombinasyonlar hesaplanmıştır. Hesaplanan 537 kombinasyon sonucunda, kombinasyonlar içinde karesel ortalama hata, gerilme parametreleri e_1 ve e_2 , iqr değeri, deformasyon vektörlerinin yönü ve büyüklüğü gibi değerler de dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda en iyi BÇS çıktı değerini veren iki kombinasyon Çizelge 4.22’de verilmektedir.

Çizelge 4.22 : Başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri.

Kombinasyonlar	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı (Cos) ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
103- 125- 102- 120	2.58	0.0117	5.5655	0.0402	0.9125	1.0074	0.8590
103- 102- 117- 120	2.68	0.0117	7.5041	0.1026	0.9140	1.0138	0.8555

Kombinasyonların BÇS çıktı değerleri birbirlerine oldukça yakındır. En iyi sonucu veren birinci kombinasyon başlangıç bloğunu oluşturur. Bir sonraki adımda, bu bloğa dahil olabilecek beşinci en uygun komşu nokta araştırmasına geçilmiştir. Bloğa dahil olabilecek komşu noktalara ait hesaplar Çizelge 4.23’te verilmektedir. Elde edilen sonuçlardan, belirlenen Bulanık Mantık ilkelerine göre en iyi BÇS çıktı değerini veren 117 nolu nokta bloğa dahil edilebilecek en uygun nokta olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.23 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 1. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
106	2.7	0.0136	4.2098	2.5405	33.0818	0.4263	0.6409
107	3.7	0.0210	5.8319	1.1907	-21.3275	0.3270	0.6583
110	20.1	0.0743	25.9292	2.3893	115.2032	0.0723	0.4355
111	61.6	0.5311	198.5066	37.7330	122.0156	0.0197	0.2704
112	2.3	0.0229	10.2568	2.0857	5.9956	0.2806	0.6866
113	78.1	1.0000	329.0940	40.7455	115.0989	0.0135	0.2375
130	27.3	0.1146	60.3879	7.3222	97.2867	0.0468	0.3841
101	11.9	0.0749	14.8739	3.1553	99.1478	0.1120	0.4797
117	1.9	0.0120	7.5426	0.0721	19.0192	0.4902	0.7104
999	14.0	0.1110	49.7270	9.6149	115.2032	0.0723	0.3931

117 numaralı noktanın bloğa dahil edilmesiyle, bloğa dahil olabilecek bir sonraki komşu nokta araştırmasına geçilmiş ve komşu noktalar arasında bu bloğa dahil olabilecek noktalara ait sonuçlar Çizelge 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.24 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 2. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimut farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
106	2.3	0.0212	6.0370	1.1403	29.2780	0.5150	0.6659
107	3	0.0280	6.9990	2.1579	-25.1314	0.3951	0.6554
110	17.2	0.0966	7.7434	6.5111	111.3993	0.0874	0.4361
111	61.1	0.4523	59.8463	11.8050	118.2117	0.0238	0.3301
112	2.0	0.0447	9.6961	0.4043	2.1918	0.3389	0.6937
113	84.6	0.9018	148.4567	13.8081	111.2951	0.0163	0.2812
114	73.1	1.0000	119.8932	37.7340	117.7959	0.0180	0.2794
115	62.2	0.9787	106.0173	45.1269	124.9122	0.0202	0.2965
119	1.8	0.0347	8.6108	1.2932	-0.6153	0.3815	0.6828
130	24.4	0.2870	16.8980	16.7354	93.4828	0.0565	0.3575
101	10.1	0.1351	8.7151	10.4334	95.3440	0.1353	0.4001
999	14.8	0.2648	20.1161	9.2868	111.3993	0.0874	0.3930

BÇS ile değerlendirmede kullanılacak olan girdi parametreleri ve bu parametrelere göre elde edilen BÇS çıktı değerleri irdelendiğinde 106, 107, 112 ve 119 numaralı noktalar bu bloğa dahil olabilecek en uygun aday noktalar olmaktadır. Bu noktalar arasında 112 numaralı nokta en büyük BÇS Çıktı Değerine sahip olması nedeniyle bloğu oluşturacak altıncı nokta olmuştur. Algoritma tekrar başlatılmış ve bloğa dahil olabilecek yeni komşu nokta araştırmasına geçilmiştir. Bloğa dahil olabilecek komşu noktalara ait elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25’te verilmiştir.

Çizelge 4.25 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 3. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimut farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
105	12	0.1746	14.9900	1.9238	126.8649	0.1417	0.4510
106	2.3	0.0364	8.3848	1.6723	28.9127	0.6824	0.7063
107	2.8	0.0343	8.8669	1.8121	-25.4967	0.5235	0.6674
110	15.3	0.0792	10.1030	8.4675	111.0340	0.1158	0.4364
111	55.2	0.3165	42.6768	5.1715	117.8464	0.0316	0.3621
113	76.9	0.8303	129.5443	3.5590	110.9298	0.0216	0.3543
114	69.3	0.8484	98.0903	10.9578	117.4306	0.0238	0.3283
115	60.1	1.0000	92.4271	18.3476	124.5469	0.0268	0.3307
118	9.0	0.1102	21.6338	1.4554	55.0673	0.1474	0.4914
119	1.8	0.0454	9.6269	1.1415	-0.9806	0.5056	0.6889
130	22.4	0.1995	11.1856	19.2300	93.1175	0.0749	0.3596
101	9.3	0.1191	9.7004	12.7160	94.9787	0.1793	0.4117
999	14.7	0.1772	14.0118	2.8808	111.0340	0.1158	0.4455

Çizelge 4.25’teki sonuçlar irdelendiğinde, bloğa dahil olabilecek aday noktalar 106, 107 ve 119 nolu noktalardır. Bir önceki adımda eklenen 112 nolu noktanın bloğa dahil edildiğinde elde edilen BÇS çıktı değeri = 0.6937 dir. Bu adımda 106 nolu

noktanın bloğa dahil edilmesi durumunda elde edilen sonuç BÇS Çıktı Değeri = 0.7063'tür. Bunun anlamı 106 nolu noktanın belirlenen blok içindeki noktalarla olan uyuşumu arttırdığını ve bloğun kalitesini yükseltmesi nedeniyle bu bloğun yedinci noktası olabileceğini göstermektedir. 106 numaralı noktanın da bloğa dahil edilmesiyle birlikte bloktaki nokta sayısı yedi olmaktadır. Sonraki adımda, bu yedi noktadan oluşan bloğa dahil olabilecek komşu noktalar arasındaki işlem tekrar başlatılmış ve sonuçlar Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 4. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
105	10.9	0.1963	12.1680	2.1042	122.7345	0.1512	0.4538
107	2.8	0.0522	8.0561	0.0407	-29.6271	0.5583	0.6756
110	13.9	0.0829	8.5181	5.3954	106.9036	0.1235	0.4486
111	49.5	0.4311	47.9111	3.4219	113.7160	0.0337	0.3939
113	68.8	0.8879	128.3413	2.6950	106.7994	0.0230	0.3621
114	62	0.9423	95.2761	11.3683	113.3002	0.0254	0.3296
115	53.9	1.0000	87.2687	18.3984	120.4165	0.0286	0.3317
118	8.2	0.1332	19.0267	1.2951	50.9369	0.1572	0.4809
119	2.1	0.0489	8.6161	2.2698	-5.1110	0.5392	0.6912
130	20.2	0.2072	10.6198	15.2816	88.9871	0.0799	0.3609
101	8.5	0.1341	8.3160	11.1678	90.8483	0.1912	0.4011
999	13.2	0.2087	11.7039	2.4447	106.9036	0.1235	0.4502

Bloğa dahil olabilecek oniki komşu noktanın sonuçları incelendiğinde 107 ve 119 numaralı noktaların vermiş olduğu sonuçlar nedeniyle bloğa dahil olacak aday noktalar konumundadırlar. 119 numaralı noktaya ait BÇS girdi parametresi verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen ve BÇS çıktı değerinin önceki blok noktaları ile daha iyi sonuç vermesi nedeni ile bu nokta belirlenen bloğa dahil edilmiştir. Algoritma tekrar başlatılmış ve bir sonraki en uygun nokta araştırmasına geçilmiştir. Elde edilen sonuçlara ait bilgiler Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27'deki sonuçlar incelendiğinde 107 numaralı nokta haricindeki diğer noktaların bloğa dahil edilmesi durumunda, genel olarak karesel ortalama hata (s_0), iqr değeri, e_1 ve e_2 değerleri artmakta, deformasyon vektörlerinin yönü yaklaşık 90° ile 120° farklılaşmakta, deformasyon vektörlerinin büyüklüğü artmakta ve BÇS çıktı değerleri yaklaşık %50 oranında düşmektedir. 107 nolu noktanın bloğa dahil edilmesinden sonra, bloğa dahil olabilecek sonraki komşu noktalar için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.27 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 5. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimut farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
105	10.8	0.1990	6.4011	0.2667	123.3734	0.1673	0.4771
107	2.6	0.0681	8.2911	0.5585	-28.9882	0.6180	0.6750
110	12.7	0.1054	9.2095	8.4364	107.5425	0.1367	0.4390
111	46.2	0.2802	27.1815	7.7769	114.3549	0.0373	0.3697
113	65.3	0.7280	93.7725	7.7576	107.4383	0.0255	0.3608
114	59.7	0.7720	56.5352	1.4889	113.9390	0.0281	0.3941
115	52.5	1.0000	53.5990	7.2169	121.0554	0.0316	0.3621
116	17.9	0.3095	20.5347	3.1786	96.9724	0.0913	0.4277
118	8	0.1748	14.3870	1.2667	51.5757	0.1740	0.4815
130	18.6	0.2332	9.4436	21.4924	89.6260	0.0884	0.3659
101	7.8	0.1547	8.5266	13.2954	91.4872	0.2116	0.3952
999	12.6	0.2373	8.0549	5.5397	107.5425	0.1367	0.4219

Çizelge 4.28 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 6. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimut farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
105	10.2	0.2220	7.6447	0.1965	126.5943	0.1788	0.4774
110	12.2	0.1068	8.8117	4.9413	110.7634	0.1460	0.4477
111	43.1	0.3755	33.5152	7.1537	117.5758	0.0398	0.3621
113	60.6	0.7731	99.1709	7.2809	110.6592	0.0272	0.3582
114	55.4	0.8230	61.6518	1.8586	117.1600	0.0301	0.3941
115	48.7	1.0000	57.4201	7.6116	124.2763	0.0338	0.3621
116	16.7	0.3241	22.2119	3.6517	100.1933	0.0976	0.4273
118	7.6	0.1983	14.2301	0.7870	54.7967	0.1859	0.4976
130	17.7	0.2606	9.2298	17.3870	92.8469	0.0945	0.3764
101	7.7	0.1540	8.0935	10.7164	94.7081	0.2261	0.3936
999	12.0	0.2670	8.0690	3.2041	110.7634	0.1460	0.4519

Bloğa dahil olabilecek komşu noktalar arasında en iyi BÇS çıktı değerini veren iki nokta 118 ve 105 numaralı noktalardır. Bloğa 118 numaralı nokta dahil edildiğinde karesel ortalama hatanın, ± 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. Belirlenen ilk blok (103- 125- 102- 120- 117- 112- 106- 119- 107) numaralı noktalardan oluşmaktadır.

Birinci blok artık tamamlanmıştır. Kalan noktalar arasında, ikinci en küçük blok araştırmasına başlanmış ve gerçekleştirilen 238 kombinasyon sonucunda en iyi BÇS Çıktı Değerini veren iki kombinasyon Çizelge 4.29'da verilmektedir.

Çizelge 4.29 : İkinci başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri

Kombinasyon	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı (Cos) ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
105- 116- 130- 999	0.78	0.0056	202.5864	171.9402	0.9479	0.9733	0.7331
110- 116- 130- 999	18.33	0.1004	21.2131	10.7464	0.9812	1.0099	0.7312

İkinci başlangıç bloğu en iyi BÇS çıktı değerine sahip olan (105-116-130-999) numaralı noktaların oluşturduğu kombinasyondur. Bu bloğun karesel ortalama hata değeri küçük olmasına rağmen, noktalardaki deformasyon vektörlerinin büyüklüğünün 3- 6 cm arasında değişmesi nedeniyle gerilme parametresi bileşenleri e_1 ve e_2 değerlerinin büyük ve BÇS ile elde edilen çıktı değerinin küçük olması bu bloğun ilk adımda birinci başlangıç bloğu olarak seçilememesinin nedenidir. Sonraki adımda ikinci başlangıç bloğuna dahil olabilecek komşu noktaların araştırmasına geçilmiştir. Bu bloğa dahil olabilecek en uygun nokta araştırması sonucunda, sırasıyla 110, 101 ve 118 nolu noktaların bu bloğa dahil edilebilecekleri sonucu elde edilmiştir. Bloğa dahil olabilecek komşu noktalara ilişkin ilk hesaplar Çizelge 4.30'da verilmektedir.

Çizelge 4.30 : İkinci başlangıç bloğuna dahil olabilecek 1. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
110	17.58	0.2780	17.2873	38.0105	3.16393	1.2148	0.5861
115	37.01	0.4116	862.9936	135.0088	16.6768	0.2813	0.3755
118	14.60	0.1811	291.9670	96.5986	-52.8028	1.5466	0.3048
122	35.82	0.8314	927.8584	123.8607	14.7065	0.2121	0.3808
123	63.10	1.0000	1253.6750	138.6023	19.5545	0.2109	0.3673
101	13.71	0.1601	251.8407	151.7131	-12.8914	1.8809	0.4514

Bu bloğa dahil olabilecek komşu noktalar yine birer birer hesaplandığında, bloğa 110 numaralı noktadan sonra sıra ile 101 ve 118 nolu noktalar bloğa katılmış, sonra 115 numaralı nokta sıradaki bloğa 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, gerilme 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

Birinci ve ikinci blokların tamamlanmasından sonra, kalan altı nokta arasında üçüncü en uygun blok araştırmasına geçilmiştir. Gerçekleştirilen 14 kombinasyon sonucunda, üçüncü başlangıç bloğu için elde edilen en iyi iki kombinasyon Çizelge 4.31'de verilmektedir.

Çizelge 4.31 : Üçüncü başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri

Kombinasyon	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı (Cos) ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
113- 114- 115- 122	10.42	0.1773	42.5014	300.3730	0.9909	0.9915	0.6291
111- 114- 115- 122	20.29	0.1169	13.727	2493.0043	0.9970	1.1197	0.6120

113- 114- 115- 122 numaralı noktalardan oluşan blok, üçüncü başlangıç bloğu olarak seçilmiştir. Bu bloğa dahil olabilecek beşinci en uygun nokta araştırıldığında kalan son iki noktadan, önce 123 numaralı nokta bu bloğa dahil edilmiş (Çizelge 4.32) daha sonra 111 numaralı nokta (Çizelge 4.33) bu bloğa dahil edilmiştir. Ağda başka nokta kalmaması nedeni ile blok belirleme işlemi sonlandırılmıştır. Yatay hareket bloklarına ait bütün hesaplar Ek-C de verilmiştir.

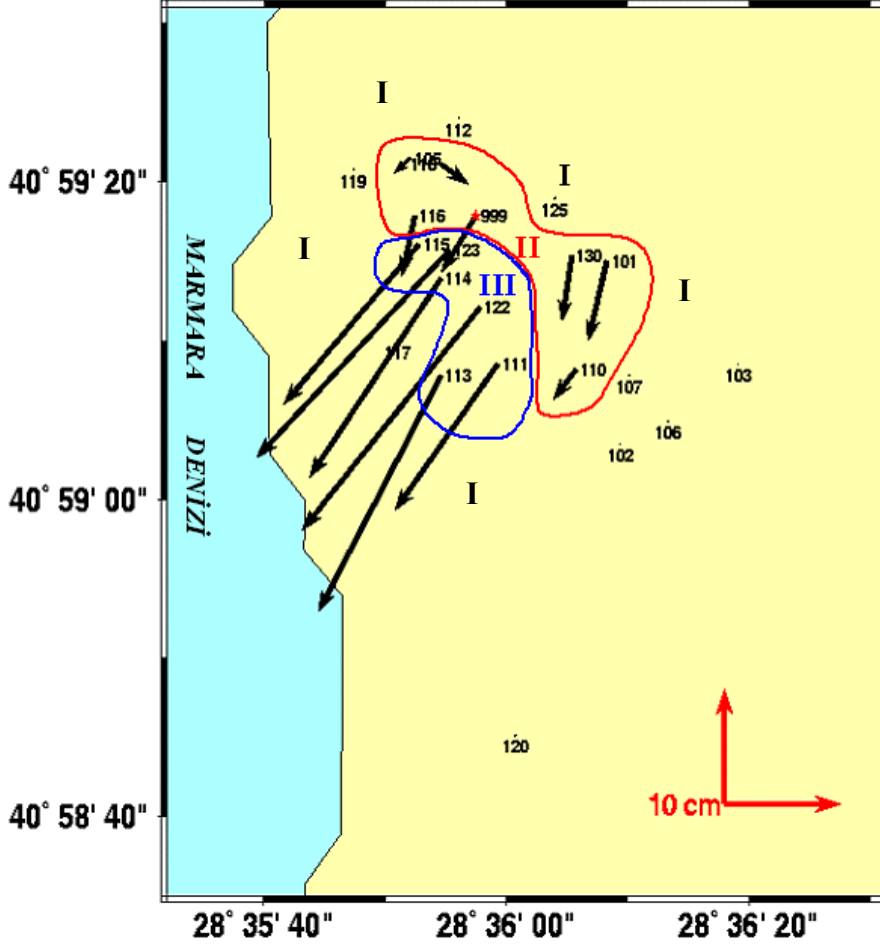
Çizelge 4.32 : Üçüncü başlangıç bloğuna dahil olabilecek 1. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
111	37.63	1.0000	239.1251	140.4212	1.0245	1.3826	0.4807
123	16.89	0.4470	47.3386	426.4348	8.5536	0.8799	0.6688

Çizelge 4.33 : Üçüncü başlangıç bloğuna dahil olabilecek 2. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	BÇS Çıktı Değeri
111	34.83	1.0000	178.6699	232.0705	-2.7353	1.4203	0.5029

Yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen bloklar Şekil 4.14'de gösterilmektedir.



Şekil 4.14 : Belirlenen blokların gösterimi.

4.4.4 Düşey hareketler blokları

Heyelanlar genellikle yamaçlarda meydana geldiğinden, deformasyon analizi ile kanıtlanabilen zemin hareketlerinin yatay bileşeni, yükseklik değişimi için zorunlu bir sebep oluşturur. Bu nedenle yatay hareketlerin, yükseklik değişimi ile bir kez daha kanıtlanması gerekir. Aksi halde yer altı topukları, dalgalı kayma yüzeyleri vb. biçimdeki jeolojik yapı irdelenmelidir. Bu nedenle heyelanların incelenmesinde yükseklik değişimlerinde incelenmesi adeta bir zorunluluktur.

Farklı periyotlar arasında kontrol noktalarına ait yükseklik farklarının incelenmesi için de başlangıç Delaunay üçgenlemesidir. Bunu blok kombinasyonlarının oluşturulması izler. Aynı blok üzerinde bulunduğu düşünülen noktalar grubu daha büyük çökme ya da yükselme hareketi büyüklüğüne sahip olacağı düşünülür. Blok kombinasyonları içindeki kontrol noktalarına ait yükseklik değişimlerinin aritmetik ortalaması, bulanık kurallara göre aşağıdaki şekilde modellerek BÇS girdi değişkeni olarak kullanılır. Her kontrol noktasının düşey değişimine ait bulanık kurallar;

- *Eğer* Toplam yükseklik farkı çok küçük **İse** blok kalitesi çok yüksek
- *Eğer* Toplam yükseklik farkı küçük (negatif) **İse** blok kalitesi düşük
- *Eğer* Toplam yükseklik farkı küçük (pozitif) **İse** blok kalitesi düşük
- *Eğer* Toplam yükseklik farkı çok büyük (negatif) **İse** blok kalitesi çok düşük
- *Eğer* Toplam yükseklik farkı çok büyük (pozitif) **İse** blok kalitesi çok düşük

olarak oluşturulur.

Yükseklik değişimleri incelenir hem de olası bütün 4 noktalı kombinasyonların oluşturulup bu kombinasyonlara ait değerlerin hesaplanması ile başlanır. Uygulama örneğinde elde edilen en iyi başlangıç bloğuna ait iki kombinasyon Çizelge 4.34 verilmiştir.

Çizelge 4.34 : Başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri.

Kombinasyonlar	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı (Cos) ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	dh (mm)	BÇS Çıktı Değeri
103- 102- 117- 120	2.68	0.0117	7.5041	0.1026	0.9140	1.0138	-2.475	0.8613
106-119- 117- 120	1.29	0.0107	7.917	6.978	0.892	0.912	-2.975	0.8576

Kombinasyonlara bakıldığında 2. kombinasyonun dönüşümden elde edilen s_0 değerinin küçük olmasına rağmen, 1. kombinasyona göre gerilme parametresi bileşenleri değerleri ve noktalara ait yükseklik değişimleri daha büyüktür.

Çizelge 4.35 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 1. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimet farkı ($^{\circ}$)	Deformasyon vektörlerinin oranı	dh (mm)	BÇS Çıktı Değeri
106	2.8	0.0235	6.7534	1.1912	33.2063	0.4290	-1.8	0.6491
107	3.6	0.0381	8.1130	2.3733	-21.2030	0.3291	-3.8	0.5751
110	20.0	0.2579	10.4759	13.4202	115.3277	0.0728	-5.6	0.3203
111	70.1	0.5932	63.1213	40.3965	122.1401	0.0199	-8.2	0.3024
113	97.7	0.5192	142.9146	41.5021	115.2234	0.0136	-0.5	0.3042
114	80.4	1.0000	111.9079	73.1317	121.7242	0.0150	-12.9	0.2852
115	67.4	0.8372	93.3911	76.3605	128.8406	0.0169	-4.4	0.2754
119	2.1	0.0489	8.7746	0.7569	3.3130	0.3178	-4.6	0.6027
125	1.9	0.0257	7.5426	0.0721	19.6417	0.4995	-6.7	0.6408
101	11.1	0.2865	11.5010	13.4879	99.2723	0.1127	2.0	0.4353

Aynı zamanda deformasyon vektörlerinin yönü ve vektörlerin büyüklerinin benzerliği daha uyumsuz olması nedeniyle daha iyi BÇS çıktı değeri veren 103-102-117-120 numaralı noktalardan oluşan birinci kombinasyon, başlangıç bloğu

olarak seçilir. Başlangıç bloğunun seçilmesi ile bundan sonraki adım olarak bu bloğa dahil olabilecek komşu aday noktaların araştırmasına geçilmiş ve aday noktalara ait bu değerler Çizelge 4.35'te verilmektedir. Çizelge 4.35'teki veriler incelendiğinde bu bloğa dahil olabilecek noktalar 106 - 107- 119- 125 numaralı noktalardır. 106 nolu noktanın s_0 değeri diğer aday noktalardan büyük olmasına rağmen bu noktaya ait iqr değeri, gerilme parametresi değerlerinin küçük ve en küçük yükseklik değişimine sahip olması nedeniyle en yüksek BÇS çıktı değerine sahiptir. 106 numaralı noktanın bloğa dahil olmasıyla birlikte algoritma komşu noktalar arasında bloğa dahil olabilecek en uygun 6. nokta araştırmasına geçilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.36 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 2. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimut farkı (°)	Deformasyon vektörlerinin oranı	dh (mm)	BÇS Çıktı Değeri
107	3.4	0.0684	7.7655	0.3457	-27.8443	0.4167	-3.0	0.5658
110	16.7	0.2858	10.0978	9.9955	108.6864	0.0922	-4.5	0.3416
111	57.7	0.5522	70.3520	38.1576	115.4988	0.0251	-6.7	0.2917
113	80.0	0.4464	148.5954	40.2141	108.5821	0.0172	-0.3	0.3246
114	65.8	1.0000	116.3833	71.4618	115.0829	0.0190	-10.6	0.2869
115	55.2	0.9372	95.3491	75.3191	122.1993	0.0213	-3.5	0.2749
119	2.4	0.0583	8.2068	2.1818	-3.3282	0.4024	-3.6	0.5841
125	2.3	0.0344	6.0370	1.1403	13.0004	0.6324	-5.4	0.6352
101	9.3	0.2808	10.5376	11.7496	92.6311	0.1427	1.9	0.4395
107	3.4	0.0684	7.7655	0.3457	-27.8443	0.4167	-3.0	0.5658

125 numaralı nokta tüm aday noktalar arasında en iyi BÇS girdi ve çıktı değerine sahip olması nedeniyle bloğun altıncı noktası olarak seçilir. Noktanın bloğa dahil edilmesinden sonra algoritma bir sonraki bloğa dahil olabilecek aday noktaları araştırır. Başlangıç bloğuna dahil olabilecek aday noktalara ait hesaplamalar Çizelge 4.37'de verilmektedir.

Elde edilen verilere göre 119 numaralı nokta bloğa dahil olacak üçüncü aday nokta durumundadır. 119 numaralı noktanın bir önceki Çizelgedeki verileri dikkate alındığında Çizelge 4.26'da bulunan s_0 , iqr , gerilme parametresi bileşenleri, deformasyon vektörlerinin büyüklüğü ve BÇS çıktı değerleri başlangıç bloğuyla daha uyumlu bir durum göstermektedir. Bu nedenle 119 numaralı nokta başlangıç bloğuna dahil edilmiştir.

Çizelge 4.37 : Başlangıç bloğuna dahil olabilecek 3. aday noktalara ait hesaplamalar.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimut farkı (°)	Deformasyon vektörlerinin oranı	dh (mm)	BÇS Çıktı Değeri
107	3.0	0.0361	6.0633	0.4224	-30.0110	0.4571	-5.9	0.5858
110	15.1	0.0852	6.1446	3.6283	106.5197	0.1011	-7.3	0.4497
111	53.0	0.4369	63.8482	12.8005	113.3321	0.0276	-9.1	0.3257
112	2.3	0.0403	8.3848	1.6723	-2.6879	0.3921	-6.3	0.5991
113	73.3	0.7199	146.8477	14.2643	106.4154	0.0188	-3.6	0.2699
114	63.4	0.9044	117.0008	37.9006	112.9162	0.0208	-12.5	0.2861
115	53.9	1.0000	101.4033	45.1361	120.0326	0.0234	-6.4	0.2821
119	2.2	0.0431	7.5850	2.3157	-5.4950	0.4414	-6.5	0.6081
130	21.3	0.2262	17.3457	14.3528	88.6032	0.0654	-9.9	0.3503
101	8.9	0.1262	7.1858	9.0345	90.4643	0.1565	-1.8	0.4574
999	12.9	0.2613	17.8610	9.0841	106.5197	0.1011	-7.5	0.3904

Algoritma tekrar bu bloğa dahil olabilecek komşu aday noktalar araştırmış 112 ve 107 numaralı noktalar bloğa dahil edilmiştir. Daha sonra bloğa 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 14.2301'e çıkması, noktalara ait yükseklik değişimi ortalamasının -2.4 mm'den -10.2 mm'ye yükselmesi, 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 kalmadığını görülmektedir.

Çizelge 4.38 : İkinci başlangıç bloğu için belirlenen en iyi iki kombinasyon değerleri.

Nokta No	s_0 (mm)	iqr	e_1 (ppm)	e_2 (ppm)	Azimut farkı (Cos) (°)	Deformasyon vektörlerinin oranı	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

Başlangıç bloğunun tamamlanmasından sonra, yükseklik değişimlerinin de dikkate alındığı algoritma ile kalan noktalar arasında 2. başlangıç bloğunun belirlenmesi için dört noktalı kombinasyonlar oluşturulmuş ve elde edilen en iyi kombinasyon değerleri Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Kombinasyon değerlerine bakıldığında ikinci kombinasyonun s_0 değeri, iqr ve deformasyon vektörleri arasındaki korelasyon birinci kombinasyona göre daha küçük değerlere sahip olmasının yanında gerilme parametresi bileşenleri, yükseklik

değişimi gibi değerleri daha büyüktür. BÇS çıktı değerinin daha büyük 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 Çizelge 4.31’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.

Çizelge 4.39 : 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

Geriye kalan altı nokta arasında Üçüncü başlangıç bloğunu oluşturmak için tekrar dört noktalı kombinasyonlar oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlara göre belirlenen en iyi üçüncü başlangıç blokları Çizelge 4.40’ta verilmiştir.

Çizelge 4.40 : 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 vektörlerinin 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

Sonuçlara göre en iyi birinci kombinasyon değerinin, dh değeri haricindeki diğer bütün BÇS girdi parametre değerleri daha iyi BÇS çıktı değeri vermiştir. Bu nedenle (113-114-115-122) nolu noktalardan oluşan blok üçüncü başlangıç bloğu olarak seçilmiştir. Bu bloğa dahil olabilecek noktalar Çizelge 4.41’de verilmektedir. 111 numaralı noktanda bloğa dahil edilmesi ile bloğa dahil olabilecek başka nokta kalmaması nedeniyle blok belirleme işlemi sonlandırılmıştır. Düşey hareket bloklarına ait bütün hesaplamalar Ek-D’de verilmiştir.

Çizelge 4.41 : Üçüncü başlangıç bloğuna dahil olan noktalar.

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

4.5 Heyelan Yorumları

Heyelanların insan hayatında tehlikelere yol açmadan, etkilerinin azaltılması ve ortadan kaldırılması çalışmaları en başta gelen konulardan biridir. Heyelanı önleme ve hafifletme çalışmalarında heyelan tipinin belirlenmesi alınabilecek önlemlerde kolaylık sağlayacaktır.

Hareket, heyelan olarak tanımlanan kütlelerin ilksel konumunun değişmesidir. Çoğunlukla kayma şeklinde olan heyelanlar, bazen de düşme, kayma ve akma hareketleri ile bunların birkaçının birleşimi olarak karışık biçimde olmaktadır. Bu nedenle heyelanları farklı adlar altında ve farklı tiplere ayırarak sınıflandırmak oldukça zordur. Ancak heyelanlar daha etkin olan hareketin tipine göre genel olarak, aşağıdaki şekilde adlandırılmaktadırlar.

1. Düşmeler (Falls)
2. Devrilmeler (Topples)
3. Kaymalar (Slides)
 - 3.1. Dönel (Dairesel) Kaymalar (Rotational Slides)
 - 3.2. Blok Kaymalar (Translational Slides)
4. Yanal Yayılmalar (Lateral Spreads)
5. Akmalar (Flows)
6. Karmaşık (Complex)

İstanbul bölgesinin genelinde en çok “kaymalar” a dayanan heyelanlar görülmektedir. İstanbul’un çalışma alanı olması dolayısı ile burada “kaymalar” tipi ayrıntılı olarak incelenmiş diğer tiplerin yalnızca isimleri verilmiştir. Bununla beraber diğer tiplere ilişkin ayrıntılı bilgi Ünsal (2007)’den elde edilebilir.

4.5.1 Kaymalar

Kaymalar, bir ya da birkaç yüzey boyunca kesme dayanımının azalması sonucunda oluşur, bu yüzeyler gözle görülebilir veya tahmin edilebilir. Kaymalar, hareketlerin mekanik özelliklerine göre iki alt gruba ayrılabilir:

Dönel (dairesel) kaymalar

Kayan malzemenin özelliğinde çok az bir değişimin olduğu, ya da değişimin hiç görülmediği heyelanlardır. Bunlar en sık görülen heyelan tipidir. Bu tür kaymalar,

dairesel (kaşık şeklinde) yüzeyler boyunca gelişir. Daha çok yamaç (şev) göçmesi şeklindedir. Kayma sonucunda, hareket eden kütlein üst kısımları çökerken, alt kısımları yığılma nedeniyle kabarıp ve hareket sırasında kayan kütle geriye doğru yatmış bir konum kazanır (Şekil 4.15).

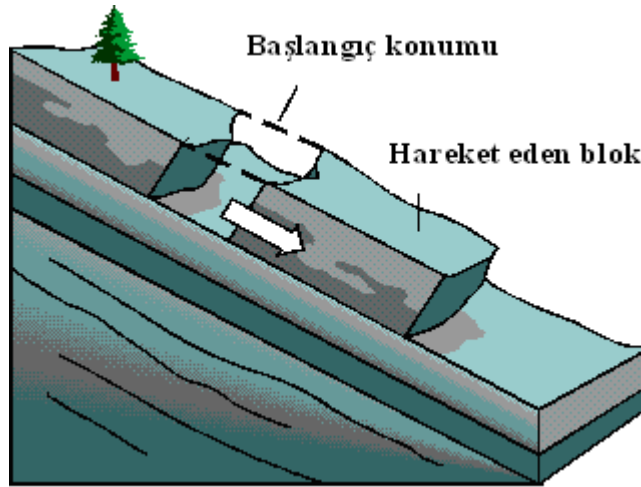


Şekil 4.15 : Dairesel kaymalar

Dairesel kayma; kil silt, kum vb. türdeki toprak zeminlerin yanısıra, akarsu kanallarında, yol yarmalarında, dolgularda, atık yığınlarında ve ileri derecede eklemli kaya kütlelerinde ve/veya ileri derecede ayrılmış kayalarda meydana gelir (Ünsal, 2007).

Blok kaymaları

Blok kaymalar, döne hareket ve üst yüzeyin geriye doğru eğimlenmesi özellikleri görülmeksizin, kütlein bir tek ünite halinde dışa veya aşağıya doğru az düzlemsel yüzeyler boyunca hareket etmesidir (Şekil 4.16). Bu tip kaymalar genellikle kayan kütlein jeolojik oluşumuyla ilgilidir. Kayan malzemenin kalınlığı birkaç metre olmasına rağmen, etkiledikleri alan oldukça geniştir.



Şekil 4.16 : Blok kaymaları

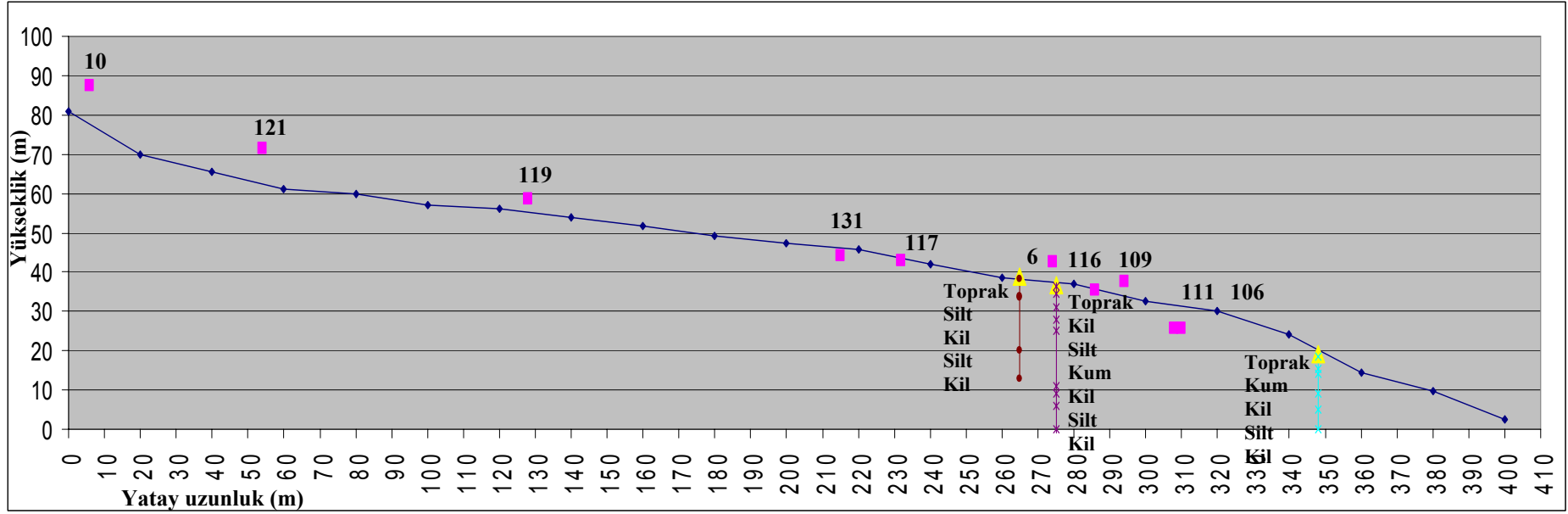
Blok kaymaları, dönel kaymalardan ayrı bir grupta incelemenin sebebi, dönel kaymaların genellikle düşeye yakın iç bükey ve iç kayma yüzeyleri boyunca zemin hareketleri olarak sınırlandırılmaları nedeniyledir. Bu ayrı incelemenin bir başka nedeni de, heyelanı iyileştirme ve önleme yöntemlerinin birbirlerinden farklı olmasıdır. Dönel kayma gösteren heyelanlarda, kayma yüzeyi tabanı bir yamaca dayanıyorsa; dönel kaymanın hareketi duraysız kütlenin dengesini sağlama eğilimi gösterir ve hareket yavaşlar, sonunda heyelanın hareketi durur. Buna karşılık bir blok kayma heyelanında, taban zemini yeteri kadar eğimli olduğu ve bu taban yüzeyindeki kesme kuvveti hareket kuvvetini karşılamadığı sürece gelişmeye devam eder (Url-9).

4.5.2 Gürpınar bölgesinde heyelan tipi belirleme çalışmaları

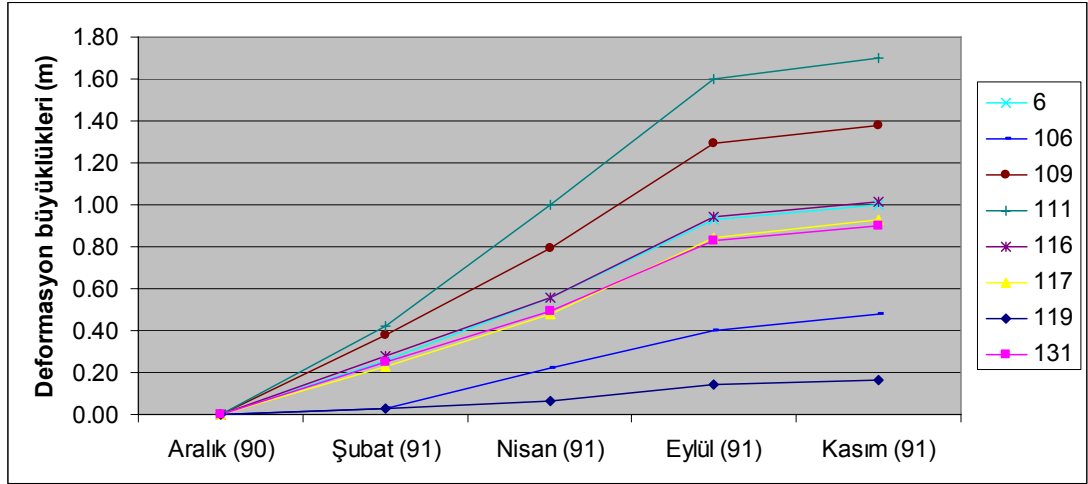
Gürpınar heyalan bölgesindeki heyalanın tipini belirlemek için Ayan ve diğ. (1990, 1991a, 1991b, 1991c, 1991d) “Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması Projesi” verileri ve Geosan A.Ş. (1991) “Heyelan Jeolojisi ve önlem nerileri” projesinin verileri incelenmiştir. Heyelan tipinin belirlenmesi çalışmalarının yanında heyelan başlangıç merkezinin belirlenmesi ve oluşumundan günümüze kadar heyelan merkezinin ne kadar değiştiği konusundaki çalışmalar için jeodezik veriler yeterli olmasına rağmen jeofizik verileri heyelan tipinin belirlenmesi dışındaki çalışmalar için yetersiz kalmaktadır. Çünkü jeofizik çalışmaları için bölgedeki yaklaşık 80000 m²’lik alanda sadece 5 noktada elektriksel özdirenç ölçmesi yapılmıştır. Brckle (2001) de özdirenç ölçme noktalarının bir ya da bir kaç hat boyunca ve noktalar arasındaki mesafenin 5-6m olması gerektiği vurgulanmaktadır.

Bölgede yapılan geoteknik çalışmalar sonucunda açılan sondaj kuyularından elde edilen toprak yapısına ait bilgiler bir kesit üzerinde Şekil 4.17’de verilmektedir. Toprak yapısının kayma hareketine meyilli olan kil ve kumlu tabakalardan oluştuğu görülmektedir.

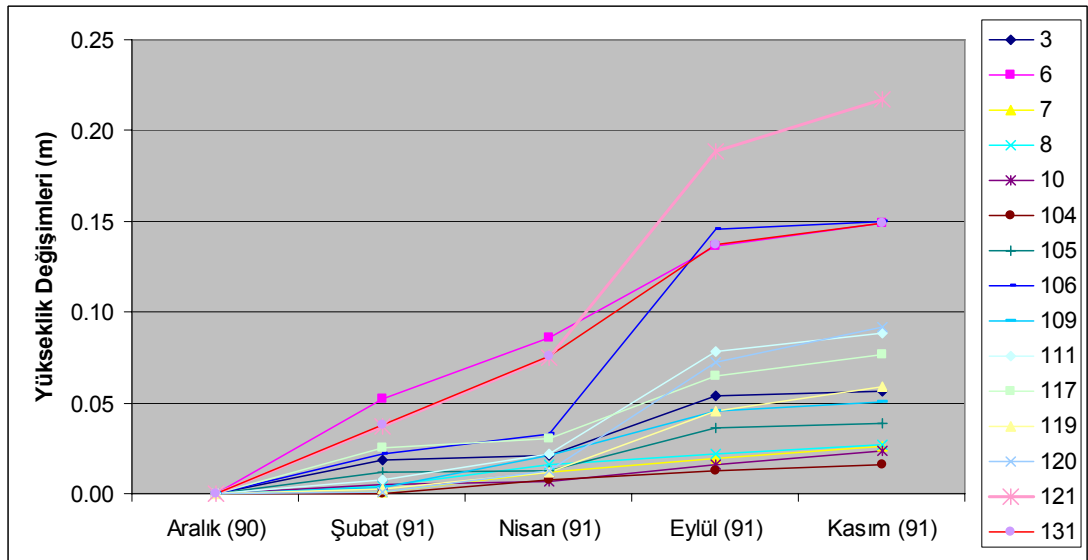
Heyelan tipinin belirlenmesi amacıyla Aralık 1990 ve Kasım 1991 tarihleri arasında yapılan beş periyot ölçme kampanyası sonucunda kontrol noktalarında meydana gelen yatay ve düşey deformasyonlar Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 de verilmiştir. Yataydaki en büyük deformasyon yaklaşık 1.70m ile 111 numaralı noktada, düşeydeki en büyük deformasyon yaklaşık 22cm ile 121 numaralı noktada belirlenmiştir.



Şekil 4.17 : Heyelan bölgesindeki sondaj yerlerinin kesit üzerinde gösterimi ve toprak yapısı.

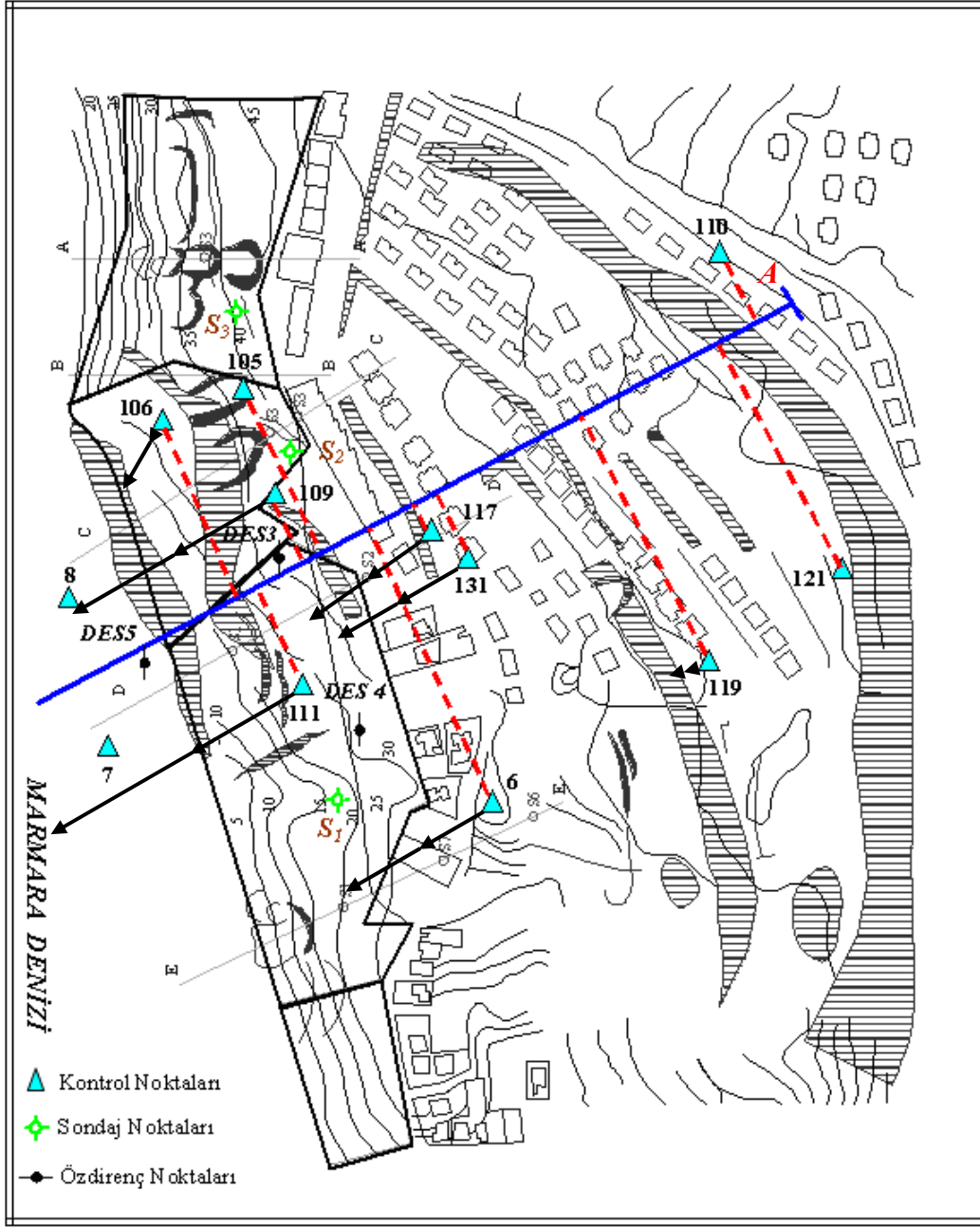


Şekil 4.18 : Aralık (1990)-Kasım (1991) tarihleri arasında belirlenen yatay deformasyonlar.



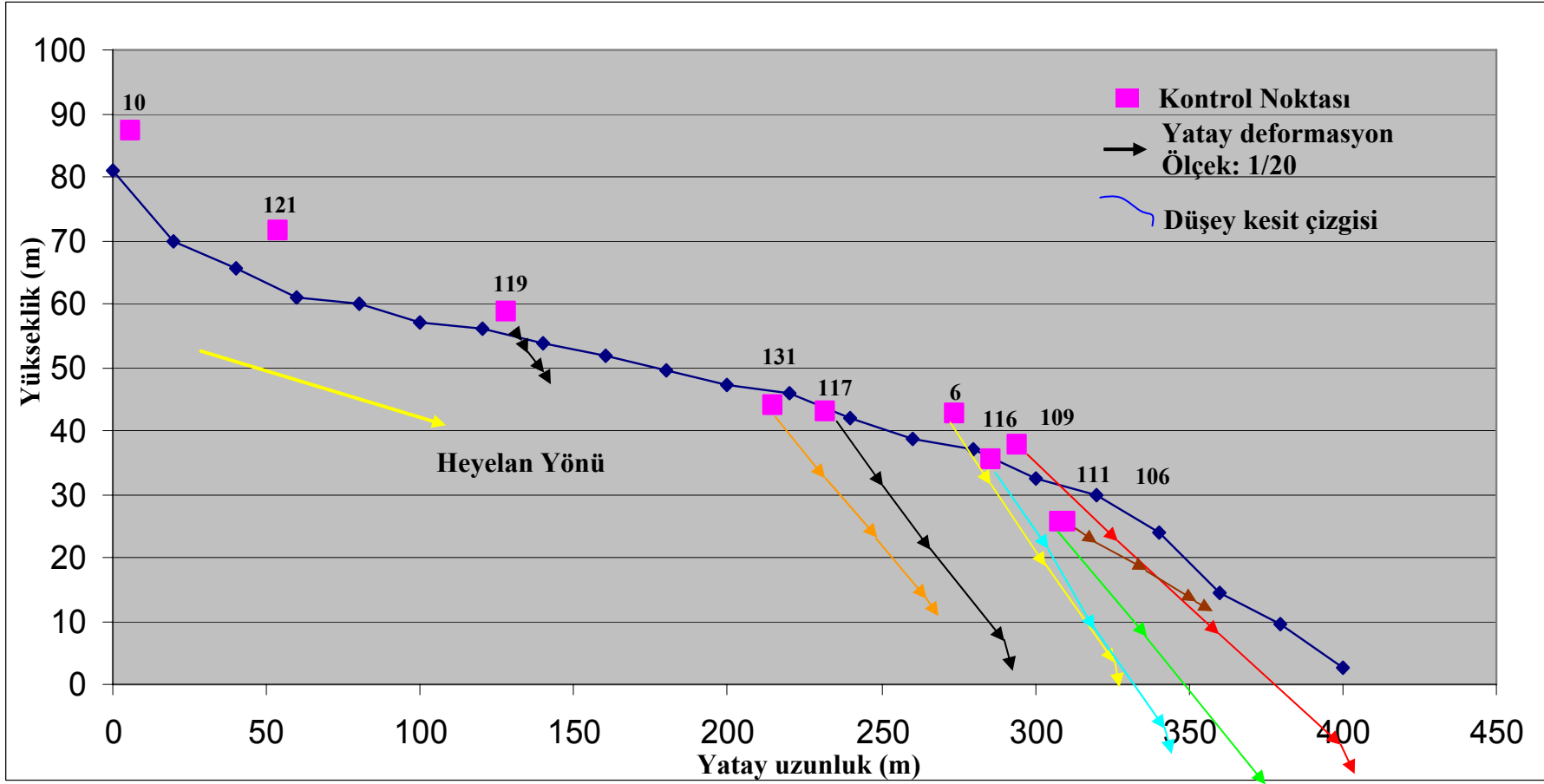
Şekil 4.19 : Aralık (1990)-Kasım (1991) tarihleri arasında belirlenen düşey deformasyonlar.

Heyelan tipini belirlemek için, kontrol noktalarına ait deformasyon vektörleri Şekil 4.20 deki harita üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4.20 üzerinde kesit çıkarabilmek için en çok harekete sahip olan bölgenin ortasından bir kesit çizgisi (mavi renkli) çizilerek hareketli bölgenin topoğrafik haritasından yararlanarak bir kesit çıkarılır. Öncelikle, kesit çizgisinin kara tarafında olan *A* noktası (0,0) koordinatlı başlangıç noktası olarak alınır. Kontrol noktaları bu kesit çizgisi üzerinde *A* noktası başlangıç koordinatlarına göre yeniden koordinatlandırılır.



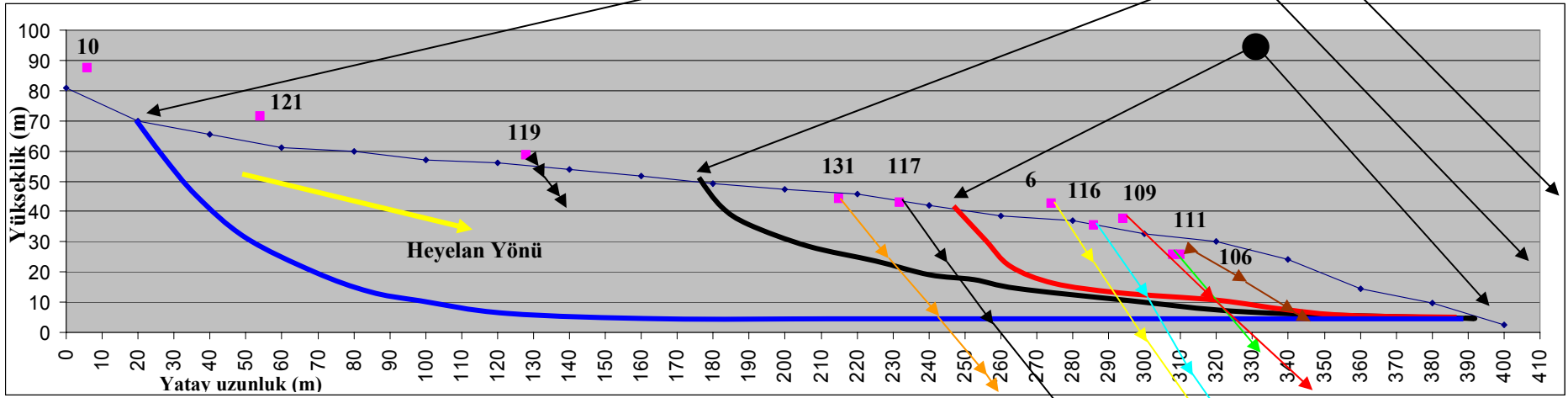
Şekil 4.20 : Yersel ağ kontrol noktaları, Sondaj ve özdirenc noktaları, Kesit çizgisi.

Daha sonra, yükseklik değerlerine göre kontrol noktaları, kesit üzerinde işaretlenirler. Son adımda, deformasyon vektörlerinin kesit çizgisiyle oluşturduğu açılar hesaplanarak kesit üzerine işaretlenmiş olan kontrol noktaları üzerine yerleştirilir (Şekil.4.21). Bu aşamada, deformasyon vektörlerinin yönlerinin kesit çizgisine paralel hareket etmemesi heyelanın dönel bir harekete sahip olduğunu gösterir. Elde edilen sonuç, Geosan A.Ş. (1992) tarafından hazırlanan raporları uyumludur.



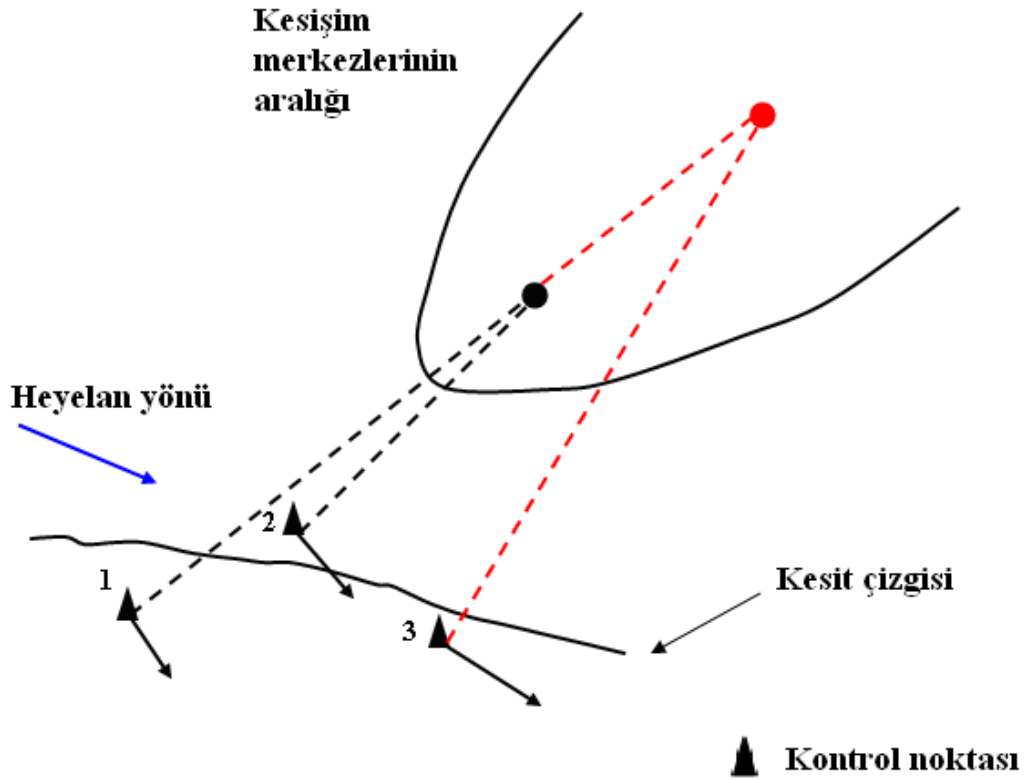
Şekil 4.21 : Kesit üzerinde kontrol noktaları ve deformasyon vektörleri.

- : Olası heyelan merkez noktaları
- : Kontrol noktası
- : Yatay deformasyonlar
- : Düşey kesit çizgisi



Şekil 4.22 : Olası heyelan blokları ve heyelan merkez noktaları.

Deformasyon vektörlerinin büyüklükleri de göz önünde bulundurulduğunda (Şekil 4.22) bölgede üç dönel heyelanın meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bundan sonraki adımda amaç öncelikle dönel heyelanın yaklaşık merkezini belirlemek olacaktır. Öncelikle, deformasyon vektörlerinden ikili kombinasyonlar oluşturulur. Daha sonra her bir ikili kombinasyon için, deformasyon vektörlerinden 90° dik çıkılarak bu deformasyon vektörlerinin kesişip kesişmediği kontrol edilir. Keşisen noktalar heyelanın olası merkez noktalarıdır. Şekil 4.23'te 1 ve 2 numaralı noktadaki deformasyon vektörlerinin kesişim noktası siyah daire ile, 1 ve 3 numaralı noktaların deformasyon vektörlerinin kesişim noktasında kırmızı daire ile gösterilmiştir.



Şekil 4.23 : Heyelan kesişim merkezlerinin bulunması.

Gürpınar çalışma bölge uygulama örneğinde heyelanın yaklaşık merkezi 175-1200m arasında değişmektedir.

Yaklaşık heyelan merkezlerinin belirlenmesinden sonra tüm çalışma bölgesini kapsayacak şekilde heyelanın gerçek oluşma merkezi ve heyelan hareketine ait dönel açı hesaplamalarına geçilir. Bu hesaplamalar çalışma kapsamına girmediğinden burada verilmemiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Heyelanlar, dünyanın bir çok bölgesi için önemli bir çevre problemi olmaya devam etmektedir. Sıklıkla meydana gelen bu hareketler, afetlere sebep olup, gerek bina, yol, baraj, köprü ve liman gibi çeşitli mühendislik yapılarında, gerekse çevresinde önemli derecede zararlara ve değişimlere neden olabilmektedir. Bu olayların insan hayatı ile çok yakından ilgili olması nedeniyle, konuya olan duyarlılık günden güne artarak devam etmektedir. Heyelanların olumsuz etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak için, bunların izlenmesi ve mekanizmalarının çözülmesi oldukça önemli ve gereklidir. Şimdiye kadar ülkemizde yapılan heyelan çalışmaları konusunda farklı bilim dalları genelde ayrı ayrı çalışmalar yapmakta ve kendilerine özgü veriler toplamaktadırlar. Gürpınar heyelan bölgesinde yapılan çalışmalar da bunun tipik bir örneğidir. Çünkü bölgede,

- 1990-1993 yılları arasında yersel ölçme teknikleri ile gerçekleştirilen “Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması” projesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 1996- 1998 yılları arasında başka bir proje kapsamında bölgedeki zemin hareketlerini belirlemek için GPS ölçmeleri kullanılmıştır. Her iki projede Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisleri tarafından,
- Mayıs 1992 yılında “Heyelan Jeolojisi ve Önlem Önerileri” isimli proje ise Jeoloji Mühendisleri tarafından gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizdeki heyelan çalışmalarının çoğu jeodezik verilerden yoksundur. Jeodezik yöntemler, jeodinamik (deprem, heyelan vb.) olayların modellendirilebilmesi ve yorumlanmasında sağlayabileceği katkılar açısından büyük önem taşımaktadırlar. Jeodezik yöntemlerle yer yüzeyindeki deformasyon büyüklükleri, deformasyonların hızları, deformasyonların ivmeleri ve hatta deformasyona neden olan etkenlerin deformasyon oluşumu üzerindeki etkileri de belirlenebilmektedir. Jeodezik yöntemlerle elde edilen veriler, jeolojik, jeofizik ve geoteknik veriler ile birlikte yorumlanabilir ve heyelan hakkında daha somut ve gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmada, giriş bölümünde açıklanan amaçlar doğrultusunda, GPS ölçmelerinin değerlendirilmesi, zemin hareketlerinin 3 Boyutlu (3D) deformasyon analizi ile saptanması, deformasyon analizinde, dönüşüm parametrelerinin EKK ve TEKK kestirimlerini kullanarak, TEKK'in etkinliğinin sınanması, heyelan bloklarının sistematik ve objektif olarak belirlenmesi problemine BÇS ile çözüm aranması, jeodezik veriler yardımıyla bölgede oluşan heyelanın tipinin belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Lineer kestirim problemlerini çözmek için kullanılan geleneksel teknikler klasik EKK yöntemini temel alır. L_1 normlu bazı robust yöntemler var olmasına rağmen, EKK ve robust kestirim teknikleri sadece jeodezik ölçülerin hata yüklü oldukları varsayımına dayanır. Yine de bu yaklaşım her durumda geçerli değildir. Özellikle, deformasyon ölçmelerinde, izleme ağı noktalarının koordinatları, her ölçme kampanyası için kampanya ölçüleri dengelenerek hesaplanır; genellikle serbest ağı dengelemesi uygulanır. Dengeleme sonunda noktaların dengeli koordinatları ve kovaryans matrisleri de elde edilir. Koordinat kümeleri arasındaki koordinat dönüşümü dikkate alındığında gözlemler ve dönüşümün dizayn matrisinin kısmen hatalı olduğu görülür. Bu problem için çözüm yollarından biri dönüşüm parametrelerinin kestirimi için TEKK yönteminin kullanılmasıdır. TEKK yönteminde dizayn matrisinin hatası ve varyans bilgileri göz önüne alınmaktadır.

1996-1998 yılları arasında dört periyot olarak gerçekleştirilen GPS ölçmeleri değerlendirilmiş; aynı yaklaşık koordinatlar kullanılarak kampanya ölçüleri birbirinden bağımsız serbest olarak dengelenmiştir. Her periyot ölçülerinde ağı datum parametreleri dengeleme hesabı içinde belirlendiğinden iki farklı periyot ölçüsünden elde edilen koordinatların doğrudan doğruya birbiri ile karşılaştırılmaması nedeniyle farklı periyotlarda elde edilen koordinatlar arasındaki ilişki koordinat dönüşümü ile sağlanmıştır. Benzerlik dönüşümü olarak isimlendirilen geleneksel yaklaşımla karşılaştırma yapmak için aynı veri kümesi üzerinde uygulama yapılmıştır. TEKK ve EKK'ler kullanılarak kestirilen parametrelerdeki farklar, hatalar ve dizayn matrisinin içerdiği noktaların koordinatlarının kovaryansından gelir. Bu nedenle farkın büyük bölümü her iki sistem koordinatlarının farklı kovaryansları yüzündendir ki dizayn matrisinin hatalı sütunları ve gözlem vektörü arasında bağıl ölçeklendirme de yaratır. Böylece, bir Helmert dönüşüm probleminin dönüşüm parametreleri eşlenik noktaların koordinatlarının doğruluğuna oldukça

duyarlı olduğu sonucunu çıkarabilir. EKK ve TEKK çözümü arasında dönüşümle elde edilen obje noktalarının koordinat farkları 0.5 santimetre seviyesindedir. Hem EKK hem de TEKK çözümü ile 3D deformasyon analizleri ardışık kampanyalar arasında gerçekleştirmiş ve aynı sonuçlar elde edilmiştir. Kampanyalar arasındaki deformasyon analiz sonuçları incelendiğinde I. ve II. kampanyalar arasındaki deformasyon büyüklükleri 3cm ile 26cm, II. ve III. kampanyalar arasındaki deformasyon büyüklükleri 2cm ile 72cm ve son olarakta III. ve IV. kampanyalar arasındaki deformasyon vektörleri 3cm ile 483cm arasında değişmektedir. Acar ve diğ. (2008c)'nde yapılan çalışmada, bölgedeki hareketin davranışlarını temsil eden parametreler (konum, hız, ivme) zamana bağlı fonksiyonlardan oluşan kinematik yaklaşımlarla hesaplanmıştır. Kinematik hareket modeli, Kalman-filtreleme yöntemi ile çözümlenerek ağ noktalarının hareket parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen maksimum anlamlı hız parametreleri v_x , v_y , v_z sırasıyla +41.88, -43.15, -23.54 cm/ay olarak belirlenmiştir. Bölgede meydana gelen bu derece büyük heyelan hareketlerinin en önemli nedenlerinden biri heyelan ve şev kaymalarını tetikleyen bölgeye düşen yağış miktarıdır. İnceleme alanına en yakın meteoroloji istasyonu Florya gözlem evinin 1937- 2007 yılları arasındaki yıllık yağış miktarlarına bakıldığında (Şekil E.1) 1997 yılındaki yıllık yağış miktarı son 70 yılın en yüksek ikinci değeridir.

Heyelan bölgeleri farklı yönlerde, farklı hızlarla hareket eden bloklara ayrılabilir. Blok sınırlarının belirlenmesi, heyelan izleme çalışmalarının daha etkili bir biçimde gerçekleştirilmesinde ve heyelanların etkilerinin azaltılması çalışmalarında kullanılabilir önemli bilgileri sağlar. Bu nedenle heyelan bloklarının sistematik ve objektif olarak belirlenmesi problemine BÇS ile çözüm aranmıştır. 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. Blok belirleme çalışmalarında, kampanyalar arasında gerçekleştirilen afin dönüşümünden elde edilen s_0 , gerilme parametresi bileşenleri (e_1 , e_2), iqr değeri, deformasyon vektörlerinin yön ve büyüklük değerleri girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır. Blok belirleme çalışmalarında öncelikle yatay hareket bileşenleri göz önüne alınmıştır. Daha sonra, düşey konum bileşeni de girdi değişkeni olarak alınmış, (Quasi) 3D sistemi (2D+ 1D) oluşturulmuştur. Bunun

nedeni, GPS ölçmeleri ile konum belirlemede, yatay konum doğruluğu ile yükseklik doğruluğunun farklı olması, 3D afin dönüşümünde gerilme parametrelerini de içeren bilinmeyen sayısının çok sayıda noktayı gerektirmesidir. I. ve II. kampanyalar arasında gerçekleştirilen blok belirleme işlemine göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Bölgede, hem 2D hem de 3D blok belirleme çalışmaları sonucunda üç farklı heyelan bloğu belirlenmiştir. Blok belirleme çalışmaları sonucunda belirlenen ilk blok proje alanını çevreleyen ve proje alanı dışında bulunan noktalardır. Bu noktalarda 3D deformasyon analizi sonucunda 102 numaralı nokta haricindeki diğer noktalarda deformasyon analizi sonucunda anlamlı hareket bulunmamıştır. Belirlenen ikinci blok orta büyüklükte deformasyon vektörlerine sahip olan noktaları içermektedir. Bunlar stabil bölge ile büyük deformasyon vektörleri arasında yer alan bölgedeki noktalardır ve hareket yönü denize doğrudur. Deformasyon vektörlerinin büyüklükleri 2–6cm arasında değişmektedir. Belirlenen son blok ise büyük deformasyon vektörlerine sahip olan noktalardır. Bu noktalar denize yakın bölgedeki yamaç noktalarından oluşmaktadır ve hareket yönü denize doğrudur. Deformasyon vektörlerinin büyüklükleri 15–26cm arasında değişmektedir.
- 3D deformasyon analizi sonucunda deformasyon olduğu kanıtlanan 102 nolu nokta, 2D blok belirleme algoritması sonucunda hareket etmeyen noktalar bloğu içinde yer almıştır. Bunun nedeni, 102 nolu noktanın yatay konumunda anlamlı değişim olmaması ve düşey konumunun hatalı (anten yüksekliği ölçme hatası gibi) oluşudur. Çünkü 102 nolu nokta diğer kampanyaların tamamında dönüşümde kullanılan sabit noktalar bloğu içersinde yer almıştır.
- Yatay blok hareketi belirlenmede : ikinci başlangıç bloğu (105-116-130-999) numaralı noktaların oluşturduğu kombinasyondur. Bu bloğun afin dönüşümü sonucunda elde edilen s_0 değeri (0.78 mm)'dir. Birinci başlangıç bloğu ise (103-125-102-120) numaralı noktalardan oluşmaktadır ve bu kombinasyonun s_0 değeri (2.55mm)'dir. İkinci başlangıç bloğunun s_0 değeri birinci başlangıç bloğunun s_0 değerinden küçüktür. Fakat bu kombinasyonda noktalardaki deformasyon vektörlerinin büyüklüğü 2-6cm arasında değişmektedir. Bu nedenle gerilme parametresi bileşenleri e_1 ve e_2 değerlerinin büyük olması BÇS ile elde edilen çıktı değerinin küçük olarak elde edilmesine neden

omaktadır. Bu nedenle, ikinci başlangıç bloğu ilk adımda en uygun başlangıç bloğu olarak seçilememiştir.

- Bir önceki maddede anlatılan durum, blok belirleme işleminde sadece s_0 değerinin değil, diğer parametrelerin de blok belirleme işleminde önemli bir rol aldığını göstermiştir. Çünkü, blok olarak hareket eden büyük deformasyon büyüklüğüne sahip olan noktalar küçük s_0 değerine sahip olabilir. Bu durum gerilme parametresi bileşenleri ile kolayca ayırt edilebilir.
- 3D blok belirleme işlemlerinde düşey konum bilgisinin eklenmesi, yatay sistemde belirlenen birinci başlangıç bloğunun (103-125-102-120) numaralı noktalardan oluşan blok yerine (103-102-117-120) olarak değişmesine neden olmuştur. Çünkü yatay sistemde belirlenen birinci başlangıç bloğuna ait noktalardaki düşey konum değişimi 8.4mm iken 3D blok belirlemede başlangıç bloğu olarak seçilen noktalardaki düşey konum değişimi 2.5mm olmaktadır.
- Aynı durum Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.30 karşılaştırıldığında, yatay blok hareketi belirlenmesinde ikinci başlangıç bloğunun (105-116-130-999) BÇS çıktı değeri = 0.7331 iken, 3D sistemde noktalardaki düşey konum değişiminin diğer noktalara göre büyük olması nedeniyle 0.7114 e düşmüştür. Bu nedenle 3D blok belirleme işleminde BÇS ile analiz sonucunda ikinci başlangıç bloğu olarak seçilememiştir. Bu bloğun yerine analiz sonucunda (110-130-101-999) numaralı noktalar ikinci başlangıç bloğu olarak seçilmiştir. Bu da BÇS ile blok belirleme işlemlerinde düşey konum bilgisinin kullanılabilirliğini göstermektedir.

Son olarak gerçekleştirilen çalışma heyelanlara etkin önlemler alınmasına olanak hazırlayacak çalışmalardan olan heyelan tipinin belirlenmesi olmuştur. Jeodezik veriler yardımıyla yapılan çalışma sonucunda bölgedeki heyelanın üç farklı dönел harekete sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada ulaşılan öneriler:

- Heyelanlar genellikle hızlı gelişen zemin hareketleridir. Hareketler de deformasyon incelemesine konu olan diğer örneklerinden büyüktür. Öne çıkan önemli gerçeklerden biri budur. Uzun ölçme süreleri gerektiren konfigürasyon ve yöntemler, analiz için ortaya konan matematiksel modelleri

olumsuz etkileyebilir. Ağ konfigürasyonu sade, ağın ölçme süresi kısa olmalıdır. GPS bunun için iyi bir ölçme tekniğidir. GPS alıcısı sayısı yüksek tutulmalıdır.

- 3D deformasyon analizinin gerçekleştirilmesinde dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan EKK ve TEKK çözümü arasında dönüşümle elde edilen obje noktalarının koordinat farkları küçüktür (0.5cm). Bu farklar, büyük deplasmanların olduğu çalışma alanlarında çok önemli olmamasına rağmen, bu seviyedeki farklar küçük değişimlerin kritik öneme sahip olduğu köprü, baraj, viyadük, gökdelen gibi büyük mühendislik yapılarının izlenmesi çalışmalarında önemli bir role sahiptir. Bu nedenle, bu türdeki jeodezik deformasyon analiz çalışmalarında uygulanmak üzere TEKK kestirimi tekniğinin kullanımı önerilir.
- 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 görülmüştür. Heyelanların izlenmesi konusundaki tüm çalışmalarda bu yöntem uygulanmalıdır. Heyelan önlemeye yönelik girişimler ancak bu yolla gerçekçi ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilecektir. Geliştirilen ve uygulanan önlemlerin geçerliliği de heyelan bloklarının belirlenmesi yoluyla test edilecektir.
- Bu çalışmada BÇS başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Belirsizlikler içeren doğa olaylarının matematik modellemesine çok uygun bir yöntem olduğu saptanmıştır.
- Heyelan izleme çalışmalarının GPS ölçmeleri ile gerçekleştirilmesi durumunda GPS kontrol noktalarına hassas üç boyutlu konum, yön ve zaman belirleyebilen bir sistemdir. Bu nedenle, heyelan bloklarının doğrudan 3D'lu bir sistemde belirleme olanağı vardır. Ancak GPS ölçmeleri ile konum belirlemede, yatay konum ve yükseklik doğrulukları farklıdır. Bu nedenle, 3D gerilme tensörü elemanları yerine 2D yatay gerilme tensörü elemanları belirlenerek yüksekliğin ayrıca ele alınması gerekir. Ayrıca, 3D blok belirlemede gerilme parametrelerini de içeren 3D afın dönüşümü çok sayıda noktayı gerektirir. Bu sakıncalar nedeniyle heyelan bloklarını belirlemede 2D

(yatay) + 1D (düşey) sistem kombinasyonu olarak oluşturulan (Quasi) 3D yönteminin kullanılabilirliği bir yazılım da gerçekleştirilerek ortaya konmuştur.

- Son yıllarda, yer kabuğu deformasyonları, depremler, heyelanlar, derin kütle hareketleri vb. olgulara yönelik çalışmalar açısından, yeryüzünün gerilim 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 bölgeye 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, jeodezik yöntemlerle elde edilen gerilme parametrelerinin jeolojik yöntemlere göre çok daha kısa zamanda elde edilebilirliği de unutulmamalıdır.
- Çalışma bölgesinin jeolojik ve topoğrafik özellikleri nedeniyle potansiyel heyelan bölgesi olduğu bilinmektedir. Bölgenin deniz kıyısında olması nedeniyle insanlar bölgedeki bu sakıncalı durumu görmezden gelerek ve bölgeye çok sayıda bina ve yazlık evler inşa etmişlerdir. Heyelanların insan hayatında tehlikelere yol açmadan, etkilerinin azaltılması ve ortadan kaldırılması gereklidir. Heyelanı önleme ve hafifletme çalışmalarında, heyelan bloklarının belirlenmesi yanında heyelan tipi de önemli bir bilgidir. Heyelanların oluştuğu yamaçlardaki bozulmaları onarma yamaç yükseklik ve eğimlerini azaltma çalışmalarında yapılacak dolgu, yükleme ve istinat duvarlarının nerelere ve ne kadar yükseklikte olacağıın belirlenmesinde büyük kolaylık sağlayacaktır.

Bu çalışma sırasında, ülkemizde çok sık yaşanan bir doğal afet olan heyelanlar ile ilgili çalışmalarda kuramsal bir doğruluk olduğu da görülmüştür. Koordinasyonun, emeğin başarıya dönüşmedeki etkisi yadsınamaz. Bu nedenle, değişik ortamlarda ve değişik çalışmalarda dile getirilen sorun (Bayrak, 2003) ve öneriler derlenmiş ve aşağıya sıralanmıştır.

- Dünyanın gelişmiş ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de ulusal bir heyelan izleme merkezi kurulmalıdır.

- Tüm ülke genelinde heyelan risk haritaları oluşturulmalı ve heyelan bilgi sistemi kurulmalıdır.
- Heyelanların bölgelere göre tarihsel gelişimleri araştırılmalı, geleceğe yönelik olası heyelan kestirimleri yapılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.
- Heyelan tehlikesi olan alanlardaki yerleşimler önlenmeli ve yerleşimciler bu konuda bilinçlendirilmelidir.
- Ülkemizde heyelanların sosyal ve ekonomik etkileri (insan hayatı kayıpları, mülkiyet hakları, yer altı ve yerüstü boru hatlarının hasar görmesi, barajların yıkılması, ulaşımın aksaması gibi) üzerine araştırmalar yapılmalı ve bu konulardaki problemler (özellikle mülkiyet) çözüme kavuşturulmalıdır.
- Heyelanların belirlenmesi ve zararlarının önlenmesi konusunda heyelan araştırmaları artık jeodezi, jeoloji, jeofizik ve jeomekanik bilim dallarının ortaklaşa çalışmaları ile yürütülmelidir.
- Heyelanların farklı disiplinler tarafından birlikte araştırılması konusunda üniversitelerde yapılan çalışmalar desteklenmeli ve araştırmacılar teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Acar, M., Haberler-Weber, M. ve Ayan, T.,** 2008a. Bulanık çıkarım sistemleri ile heyelan bloklarının belirlenmesi: Gürpınar örneği, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, **98**, 28- 35.
- Acar, M. ve Ayan, T.,** 2008b. Bulanık mantık yöntemi ile heyelan bloklarının belirlenmesi, *Yerbilimlerinde Esnek Hesaplama Yöntemleri Sempozyumu*, CÜ, Sivas, 12- 13 Mayıs, s. 36- 38
- Acar, M., Özlüdemir, M.T., Erol, S., Çelik, R.N. and Ayan, T.,** 2008c. Kinematic Landslide Monitoring with Kalman Filtering, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **8(2)**, 213-221.
- Acar, M., Özlüdemir, M.T., Haberler-Weber, M. and Ayan, T.,** 2008d. 3D Determination of Landslide Block Movements, *European Geophysical Union (EGU) 2008*, Vienna, Austria, 13-18 April.
- Acar, M., Haberler-Weber, M. ve Ayan, T.,** 2007. Heyelan bloklarının belirlenmesi, *III. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, SÜ, Konya, 24-26 Ekim, s. 30- 38
- Acar, M., Özlüdemir, M.T., Akyılmaz, O. and Ayan, T.,** 2006a. Total Least Squares in Geodetic Coordinate Transformation, *AGU 2006 Fall Meeting*, San Francisco, USA, 11–15 December 2006.
- Acar, M., Özlüdemir, M.T. and Ayan, T.,** 2006b. Global Congruency Test Methods in Deformation Networks: A case Study in Gürpınar, *Proceeding of Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World*, Sofia, Bulgaria, 9- 10 November, 89-98.
- Acar, M., Özlüdemir, M.T., Çelik, R.N. and Ayan, T.,** 2006c. Local Geoid Determination by Fuzzy Inference Systems: Case Studies in Turkey, in *Gravity Field of the Earth*, Spec. Publ. Journal of Mapping, **18**, p. 49-54, Eds. Kılıçoğlu, A., Forsberg, R., General Commander of Mapping, Ankara.

- Acar M., Özlüdemir M.T., Akyılmaz O., Çelik R.N. and Ayan T., 2006d.** Deformation Analysis with Total Least Squares, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **6(4)**, 663–670.
- Acar, M., 2006e.** Deformasyonların İzlenmesinde Esnek Hesaplama Yöntemleri, Doktora Tez Raporu (I), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Basılmadı).
- Acar, M., Özlüdemir, M.T. and Ayan, T., 2006f.** Kinematic Modelling on a Levelling Network in a Landslide Area, *Proceeding of Fifth International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days*, Berlin, Germany, 28- 31 March.
- Acar, M., Özlüdemir, M.T., Çelik, R.N., Erol, S. and Ayan, T., 2004.** Landslide Monitoring Through Kalman Filtering: A Case Study in Gürpınar, *Proceeding of XXth ISPRS Congress*, Istanbul, Turkey, 12- 23 July 2004.
- Acar, M., Özlüdemir, M.T., Çelik, R.N., Erol, S. and Ayan, T., 2003.** Investigation of Deformations on Landslides with Kinematic Model, *Proceeding of Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World*, Sofia, Bulgaria, 6- 7 November, 89-98.
- Akyılmaz, O., Acar, M. ve Özlüdemir, M.T., 2007.** Koordinat dönüşümünde en küçük kareler ve toplam en küçük kareler yöntemleri, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, **97**, 15- 22.
- Akyılmaz O., 2007.** Total Least Squares solution of coordinate transformation, *Survey Review*, **39(303)**, 68–80.
- Akyılmaz, O., 2005.** Esnek hesaplama yöntemlerinin jeodezide uygulamaları, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akyılmaz, O. ve Ayan, T., 2003.** Bulanık mantık ve jeodezide uygulamaları, *9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 31 Mart-4 Nisan, s. 377-385.
- Akyılmaz, O., 2001.** Jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçmeleri ve analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altan, M.O., Ayan, T., Deniz, R., Tekin, E. and Özür, B., 1994.** Determination of soil movements at a landslide area, *Proceedings of 1st Turkish International Symposium on Deformations*, 5-9 September, Istanbul, Turkey, 692-699.

- Altaş, İ.H.**, 1999. Bulanık mantık: bulanıklılık kavramı, *3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi*, **62** , 80-85.
- Ayan, T.**, 2003. Dengeleme hesabı, Lisans ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ayan, T., Çelik, R.N., Denli, H.H., Özlüdemir, M.T., Erol, S., Özener, B., Güney, C.**, 2001. GPS ölçüleri ile mühendislik yapılarındaki deformasyonların analizi, İ.T.Ü. Araştırma Fonu Proje Raporu, 786, İstanbul, Türkiye.
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., Külür, S., , Özşamlı, C., Alanko,G., Denli, H.**, 1991a. Büyükçekmece Gürpınar Köyü Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması Projesi, Teknik Rapor: 1, İstanbul, İstanbul, Türkiye
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., Külür, S. ve Özşamlı, C.**, 1993. Büyükçekmece Gürpınar Köyü Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması Projesi, Teknik Rapor: 6, İstanbul, Türkiye.
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., Külür, S., Özşamlı, C., Çelik, R. N., Alanko,G., Denli, H. ve Özlüdemir, M.T.**, 1991a. Büyükçekmece Gürpınar Köyü Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması Projesi, Teknik Rapor: 5, İstanbul, Türkiye.
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., Özşamlı, C., Çelik, R. N., Alanko,G. ve Denli, H.**, 1991b. Büyükçekmece Gürpınar Köyü Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması Projesi, Teknik Rapor: 4, İstanbul, Türkiye.
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., Külür, S., , Özşamlı, C., Alanko,G. ve Denli, H.**, 1991c. Büyükçekmece Gürpınar Köyü Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması Projesi, Teknik Rapor: 3, İstanbul, İstanbul, Türkiye
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., Külür, S., Çelik, R. N. ve Özşamlı, C.**, 1991d. Büyükçekmece Gürpınar Köyü Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması Projesi, Teknik Rapor: 2, İstanbul, Türkiye.
- Ayan, T., Tekin, E., Deniz, R., Külür, S., Toz, G. ve Çelik, R. N.**, 1990. Büyükçekmece Gürpınar Köyü Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması Projesi, Teknik Rapor: 1, İstanbul, Türkiye.
- Ayan, T.**, 1982. Jeodezik ağlarla deformasyon analizine genel bakış, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, **40-1** , 20- 25.

- Ayan, T.**, 1981. Matematik istatistik ve hipotez testleri, Lisansüstü ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bayrak, T.**, 2003. Heyelanlar için bir dinamik deformasyon ve bir dinamik hareket yüzeyi modelinin oluşturulması, *Doktora Tezi*, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Brunner, F. K.**, 1979. On the analysis of geodetic networks for the determination of the incremental strain tensor, *Survey Review*, **25**, 56–67.
- Brunner, F. K., Coleman, R. ve Hirsch, B.**, 1981. A comparison of computation methods for crustal strains from geodetic measurements, *Tectonophysics*, **71**, 281–298.
- Bildirici, İ.Ö. ve Selvi, H.Z.**, 2005. Model genelleştirmesinde geometri değişimlerinden alan-çizgi dönüşüm yöntemleri, *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 28 Mart- 1 Nisan, Ankara.
- Brückle E.P.**, 2001. Cause-Effect Models of Large Landslides, *Natural Hazards*, **23**, 291–314.
- Çakır, L.**, 2005. Sayısal yükseklik modellerinde hacim hesapları ve kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çelik R.N., Ayan, T., Denli, H.H, Özlüdemir, T., Erol, S., Groten, E. and Leinen, S.**, 1999. Land Sliding Monitoring Using GPS and Conventional Techniques in Gürpınar, *Proceeding of Third International Symposium Turkish- German Joint Geodetic Days*, İstanbul, Turkey, 1- 4 June, 839-624.
- Demirel, H.**, 1987. S-Tranformasyonu ve Deformasyon analizi, Türkiye 1. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 23-27 Şubat, s. 593-608.
- Deniz, İ.**, 2007. Determination of velocity field and strain accumulation of densification network in Marmara Region, *MSc Thesis*, Bosphorus University, İstanbul.
- Deniz, R.**, 1997. Jeodezik verilerden strain analizi, *İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı seminerleri*, İstanbul.
- Deniz, R.**, 1990. Jeodezik ölçmelerden yerkabuğundaki lokal gerilimlerin belirlenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, **48-4**, 15- 22.
- Denli, H.H.**, 2008. Stable Point Research on Deformation Network, *Survey Review*, **40-307**, 74-82.

- Denli, H.H.**, 2004. Crustal Deformation Analysis in the Marmara Sea Region, *Journal of Surveying Engineering*, **130-4**, 151-155.
- Denli, H.H., Güney, C.**, 2001. Deformation Analysis on GPS Network, *Proceeding of Fourth International Symposium Turkish- German Joint Geodetic Days*, Berlin, Germany, 3- 6 April, 617-624.
- Denli, H.H.**, 1998. GPS ile Marmara Bölgesindeki yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğanalp, S., Turgut, B. ve İnal, C.**, 2005. Yükseklik ağlarında S transformasyonu ve Kalman filtreleme yöntemi ile deformasyon analizi, 2. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İ.T.Ü., İstanbul, 23-35 Kasım, s. 28-40.
- Erol, S.**, 2008. GPS ve nivelman ölçüleriyle deformasyonların belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erol, S., Erol, B. and Ayan, T.**, 2005. An Investigation on Deformation Measurements of Engineering Structures with GPS and Levelling Data: Case Study, *Proceedings of International Symposium on Geodetic Deformation Monitoring: from Geophysical to Engineering Roles*, Jaen, Spain, 17-19 March.
- Erol, S. and Ayan, T.**, 2003. Analyzing the Deformations of a Bridge Using GPS and Levelling Data, *Proceedings of International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World*, Sofia, Bulgaria, 6-7 November.
- Everitt, B. S.**, 2002. The Cambridge Dictionary of Statistics, Cambridge University Press, Cambridge.
- Felus, Y.**, 2004., Application of Total Least Squares for Spatial Point Process Analysis, *Journal of Surveying Engineering*, **130-3**, 126-133.
- Geosan A.Ş.**, 1992. Heyelan Jeolojisi ve Önlem Önerileri (İstanbul Gürpınar Belediyesi Pekmez Mevkii), Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Golub, H.G. and Loan, F.C.**, 1980. An analysis of the Total Least Squares problem, *SIAM Journal of Numerical Analysis*, **17-6**, 883-893.
- Güdükbay, U. ve Sinop, A.K.**, 2006. Hesaplamaya Dayalı Geometri, *Türkiye Bilişim Ansiklopedisi*, s. 445-448, Editörler: Ören, T., Çölkesen, R. ve Üney, T, Papatya Yayıncılık, İstanbul.

www.cs.bilkent.edu.tr/~gudukbay/publications/papers/tba/Hesaplama
ya_Dayali_Geometri.pdf

- Güllü, M.**, 1998. GPS ve yersel gözlemlerin birlikte dengelenmesi, *Doktora Tezi*, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- 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.
- Haberler, M.**, 2004. A Fuzzy System for the Analysis of Geodetic Landslide Monitoring Data, *Proceedings of the Third European Conference on Structural Control*, Vienna, Austria, 12-15 July 2004, 33-36.
- Haberler, M.**, 2003. 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*, Sapporo, 30 June- 11 July 2003, 95– 100.
- Haberler, M. and Kahmen, H.**, 2003. Detection of Landslide Block Boundaries by means of an Affine Coordinate Transformation, *Proceedings of 11th FIG Symposium on Deformation Measurements*, Santorini, Greece, 25- 28 May 2003, 355-361.
- Heine, K.**, 2001. Potential applications of fuzzy methods in geodetic fields, Carosio A. and Kutterer H (eds.): *First International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS*, Zurich, Switzerland, 12-16 March, 7-12, 87-94.
- Helmert, F.R.**, 1872. Adjustment computation with the least-squares method (Almanca), Teubner, Leipzig, s. 348
- Hoaglin, D. C., Mosteller, F. and Tukey, J. W.**, 1983. Understanding Robust and Exploratory Data Analysis, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Jang, J.-S.R.**, 1993. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system, *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, **23**, 665-685.
- Jang, J.-S. R.** 1996. Input Selection for ANFIS Learning, *Proceedings of the Fifth IEE Int. Conf. on Fuzzy Systems FUZZ-IEEE '96*, 1493-1499.
- Jang, J.-S.R., Sun, C.-T. and Mizutani, E.**, 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. 1st Edition, Prentice Hall.

- Kılıçoğlu, A.**, 1995. Jeodezi’de dönüşümler, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kişi, Ö.**, 2003. Nehir enkesitindeki askı malzemesi miktarının bulanık mantık ile modellenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koch, K.R.**, 1999. Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models (2nd Edition.), Springer, Berlin.
- Kutoğlu, Ş.H.**, 2004. Figure Condition on Datum Transformation, *Journal of Surveying Engineering*, **130-3**, 138-141.
- Kutoğlu, Ş.H.**, 2001. GPS ağlarının ülke nirengi ağlarına entegrasyonu, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kutoğlu, Ş.H., Mekik, Ç. ve Köksal, E.**, 2001. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü için kullanılan Bursa- Wolf ve Moledensky- Badekas modellerinin karşılaştırılması, *8. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 19-23 Mart, s. 87-94
- Leick, A.**, 1995. GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Leon, S.**, 2002. Linear Algebra with Applications, Prentice Hall, New Jersey.
- Mamdani, E.H., Assilian, S.**, 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *Int. Journal of Man-Machine Studies*, **7-1**, 1-13.
- Markovsky, I., Van Huffel S. and Kukush A.**, 2004. On the Computation of the Multivariate Structured Total Least Squares Estimator, *Numerical Linear Algebra with Applications*, **11**, 591-608.
- Pietrantonio, G. and Riguzzi, F.**, 2004. Three-dimensional strain tensor estimation by GPS observations: methodological aspects and geophysical applications, *Journal of Geodynamics*, **38**, 1–18.
- Pope, A.J.**, 1972. Some pitfalls to be avoided in the iterative adjustment of nonlinear problems. *In: Proceedings of the 38th Annual Meeting, American Society of Photogrammetry*, Washington, 449-471
- Siyahi, B., Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M.B. ve Akman, H.**, 2003. Sıvılaşma ve şev stabilitesi hassaslığı ve potansiyeli haritaları: İstanbul örneği, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 26-30 Mayıs.
- Selvi, H.Z. ve Bildirici, İ.Ö.**, 2005. CBS açısından topolojinin önemi ve alan - çizgi geometrik dönüşüm yöntemleri, *Ege CBS Sempozyumu*, 27-29 Nisan, İzmir.

- Selvi, H.Z., Bildirici, İ.Ö. ve Yerci, M.,** 2007. Büyük ölçekli verilerde yol eksenlerinin üçgenleme yöntemiyle otomatik olarak oluşturulması, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, **97**, 32- 39.
- Schaffrin, B. ve Wieser, A.,** 2008. On weighted total least-squares adjustment for linear regression, *Journal of Geodesy*, **82-7**, 415-421.
- Şen, Z.,** 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Yayıncılık, İstanbul.
- Tanır, E.,** 2000. Deformasyon analizinde statik değerlendirme yöntemlerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Tatar, O., Gürsoy, H., Koçbulut, F. ve Mesci, B. L.,** 2005. Aktif Fay Zonları ve Heyelanlar : 17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar) Heyelanı, CumhuriyetGazetesi Bilim Teknik Dergisi, Sayı: 941, 2-04-2005
- Tukey, J.W.,** 1977. Exploratory data analysis, Addison-Wesley, Reading, Mass, ISBN 0-201-07616-0. OCLC 3058187.
- Turgut, B. ve İnal, C.,** 2003. Nokta konum duyarlıklarının iki ve üç boyutlu koordinat dönüşümüne etkisi, *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı*, SÜ, Konya, 24-25-26 Eylül, s.155- 161
- Uzun, S.,** 2005. Grid bölmeli paftalarda, sayısallaştırma modelleri ve sayısallaştırılmış harita bilgilerinin güvenilirlik analizleri, *Yüksek Lisans Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ünsal, N.,** (2007), Heyelanlar ve Kitle Hareketleri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı web sayfası, <http://www.bayindirlik.gov.tr/turkce/dosya/heyelan.pdf> (12/07/2007)
- Ünver, M.,** 1994. Düşey yöndeki yer kabuğu deformasyonlarının kinematik model ile belirlenmesi, *Doktora Tezi*, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Üstün, A.,** 1996. Datum dönüşümleri, *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Van Huffel, S.,** 1991. The Generalized Total Least Squares problem: formulation, algorithm and properties, in *Numerical Linear Algebra, Digital Signal Processing and Parallel Algorithms*, Eds. Golub, G. H. & Dooren, P. V., Springer, Berlin.

- Van Huffel S. and Vandewalle J.**, 1991. The Total Least Squares Problem: Computational Aspects and Analysis, Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia.
- Welsch, W. M.**, 1993. A General 7- Parameter Transformation for The Combination, Comparison and Accuracy Control of Terrestrial and Satellite Network Observations, *Manuscripta Geodetica*, **18**, 295- 305.
- Welsch, W.M.**, 1982. Description of homogeneous horizontal strains and some remarks to their analysis, *In: Proceedings of the International Symposium on Geodetic Networks and Computations*, DGK Reihe B, Heft Nr. 258/V. München.
- Weiss, N. A.**, 2002. Elementary Statistics, Pearson Education Inc., Boston.
- Wolf, R.P. and Ghilani, D.C.**, 1997. Adjustment Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS, Wiley & Sons, , New York.
- Xuegong, Z.**, 2000. Takagi-Sugeno Fuzzy Logic versus Mamdani Fuzzy Logic, Intelligent & Adaptive Systems course Report, University of The West of England (UWE), MSc. <http://www.cems.uwe.ac.uk/~xzhang/PDF/MSc/Fuzzy%20Logic.pdf>.
- Yanalak, M.**, 1997. Sayısal arazi modellerinden hacim hesaplarında en uygun enterpolasyon yönteminin araştırılması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yanalak, M.**, 2001. Yüzey modellemede üçgenleme yöntemleri, *Harita Dergisi*, **126**, 58- 69.
- Yılmaz, M.**, 2005. İstanbul metropolitan alanında geoit araştırması, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, S.**, 2007. Bulanık Mantık ve Mühendislik Uygulamaları, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Kocaeli.
- Yılmaz, M. and Arslan, E.**, 2006. Applican of Fuzzy Logic Theory to Geoid Height Determination, in *Gravity Field of the Earth*, Spec. Publ. Journal of Mapping, **18**, p. 66-71, Eds. Kılıçoğlu, A. & Forsberg, R., Genaral Commander of Mapping, Ankara.
- Yılmaz, M. ve Arslan, E.**, 2007. Geoit yüksekliğinin anfis ile adım adım hesaplanması, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, **96**, 31-38.

- Zadeh, L.A.**, 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern*, **SMC-3**, 28-44.
- Zadeh, L.A.**, 1965. Fuzzy sets, *Information and Control*, **8-3**, 338-353.
- Url-1** : <<http://www.e-cografya.com/fiziki/afetler/>>, alındığı tarih 20.06.2006.
- Url-2** : <<http://landslides.usgs.gov>>, alındığı tarih 20.06.2006.
- Url-3**: <<http://www.bahadiraktug.com/>>, alındığı tarih 01.10 2007.
- Url-4**: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Matematiksel_mant%C4%B1k>, alındığı tarih 12.07.2007.
- Url-5** : <http://ansiklopedi.turkcebilgi.com/Kantiller>, alındığı tarih 13.05.2008.
- Url-6** : <http://www.anadoluarastirma.com/?p=118>, alındığı tarih 15.05.2008.
- Url-7** : <http://blog.livaxmedia.com/2007/10/25/php-ile-kutu-biyik-grafikleri-box-whisker-plots/>, alındığı tarih 15.05.2008.
- Url-8** : www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/IstanbulVeDeprem/Documents/sorunlar.doc alındığı tarih 02.06.2008.
- Url-9** : www.insaatmuhendisligi.net/index.php?topic=4181.0, alındığı tarih 03.06.2008.
- Url-10**: <<http://www.mam.gov.tr/enstituler/ydbe/ydbe-projeler/mazdda.html>>, alındığı tarih 21.06.2008.
- Url-11** : *Google Earth* görüntüsü, alındığı tarih 21.06.2008.

EKLER

EK A : GPS ile Jeodezik kontrol ağı ölçme planı

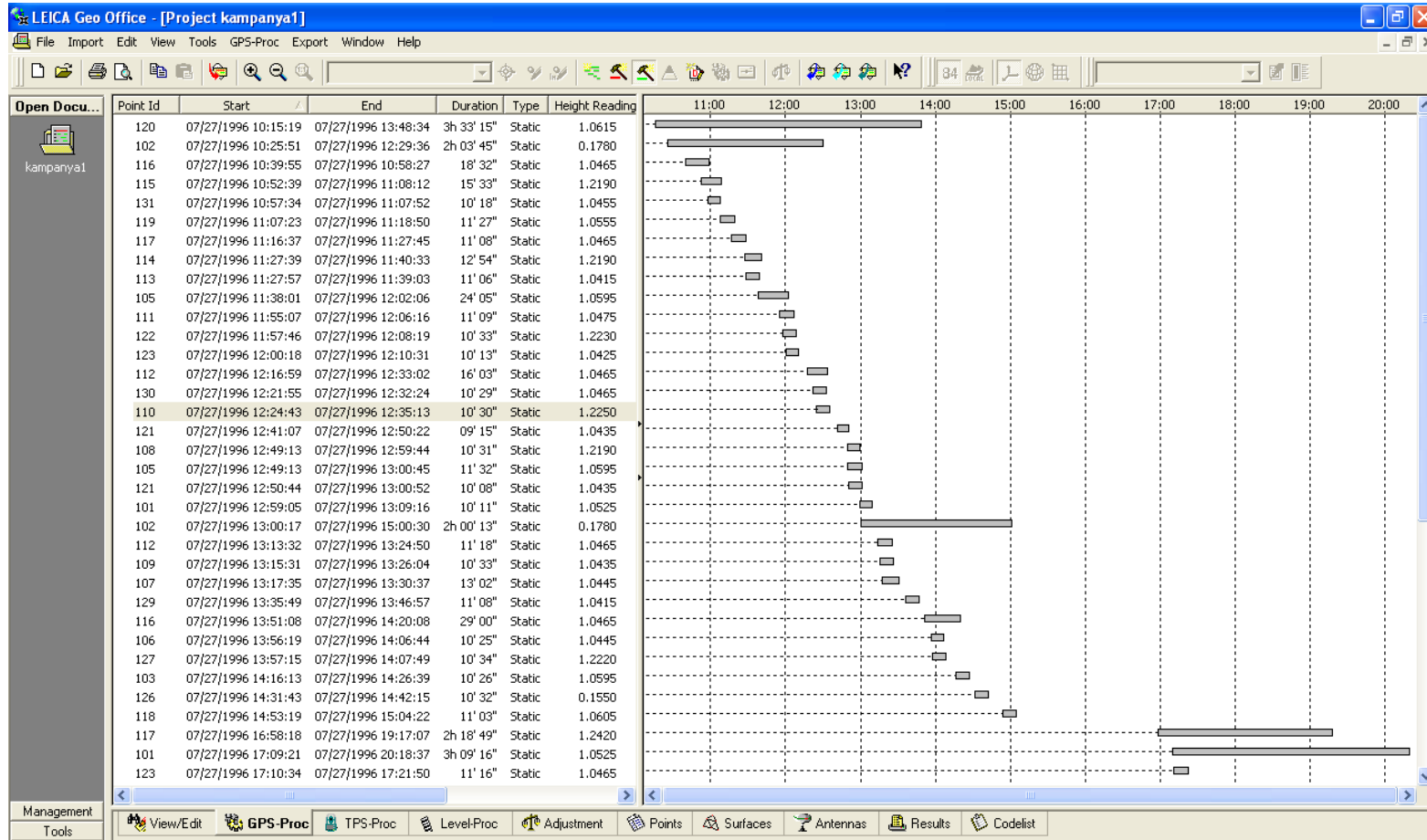
EK B : Dengeleme Hesaplarından Elde Edilen Kampanyalara Göre 3D Kartezyen
Nokta Korrdinatları ve Doğruluklar

EK C : Yatay Hareket Blok Belirleme Sonuç Çıktıları

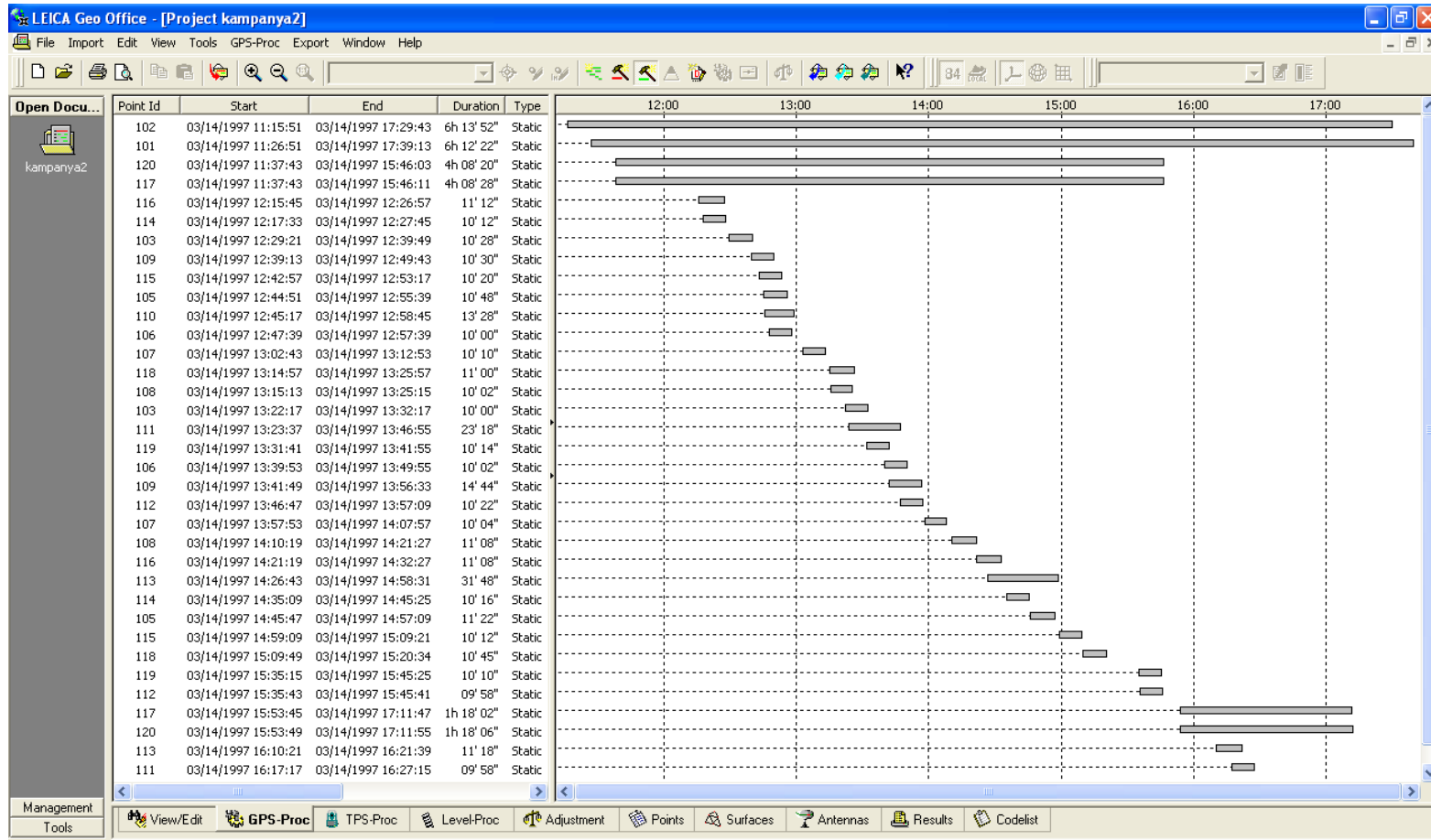
EK D : (Quasi) 3D Sistemde Blok Belirleme Sonuç Çıktıları

EK E : 1937- 2007 Yılları Arasında Florya Meteoroloji Gözlemine Ait Yıllık
toplam yağış miktarları

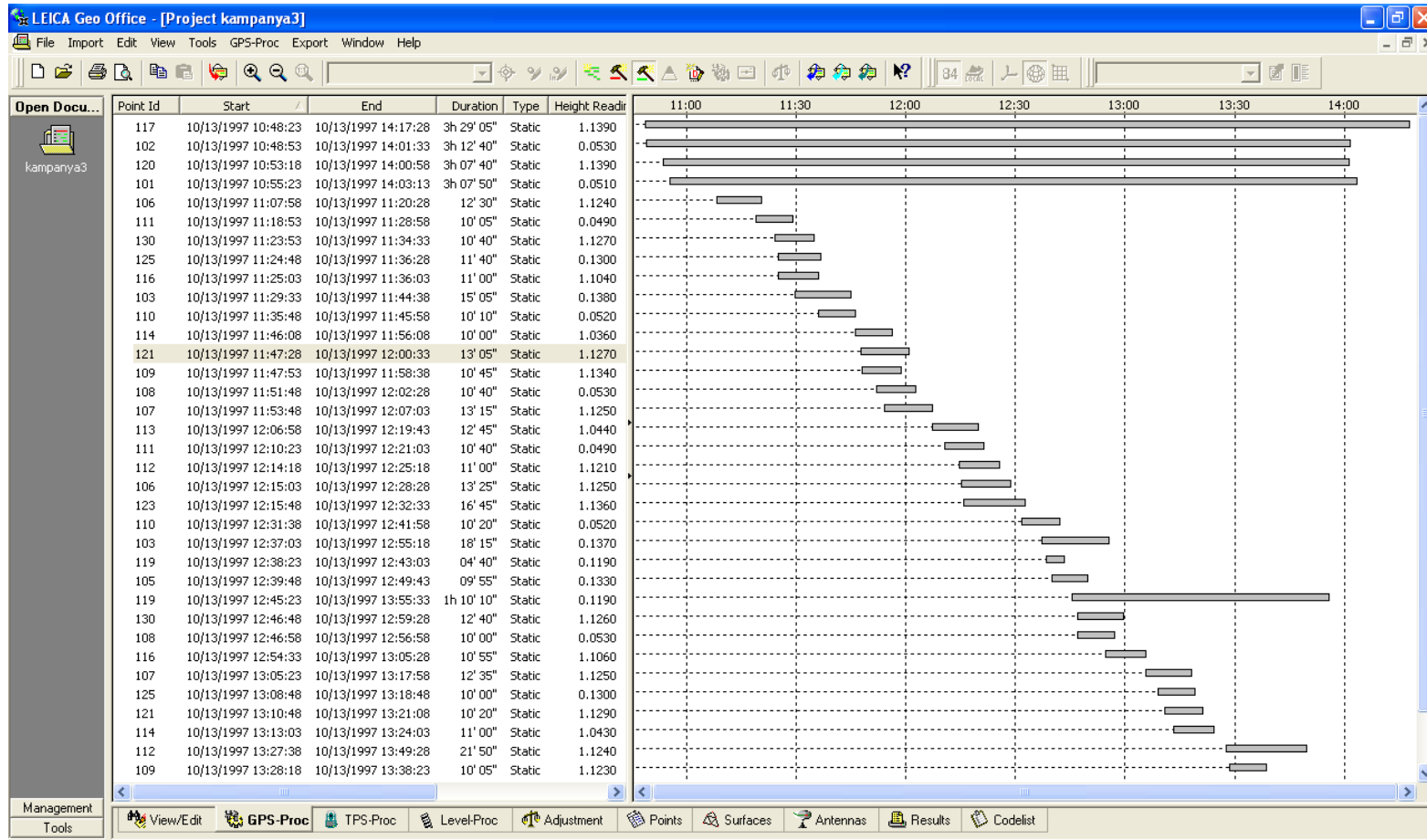
EKA



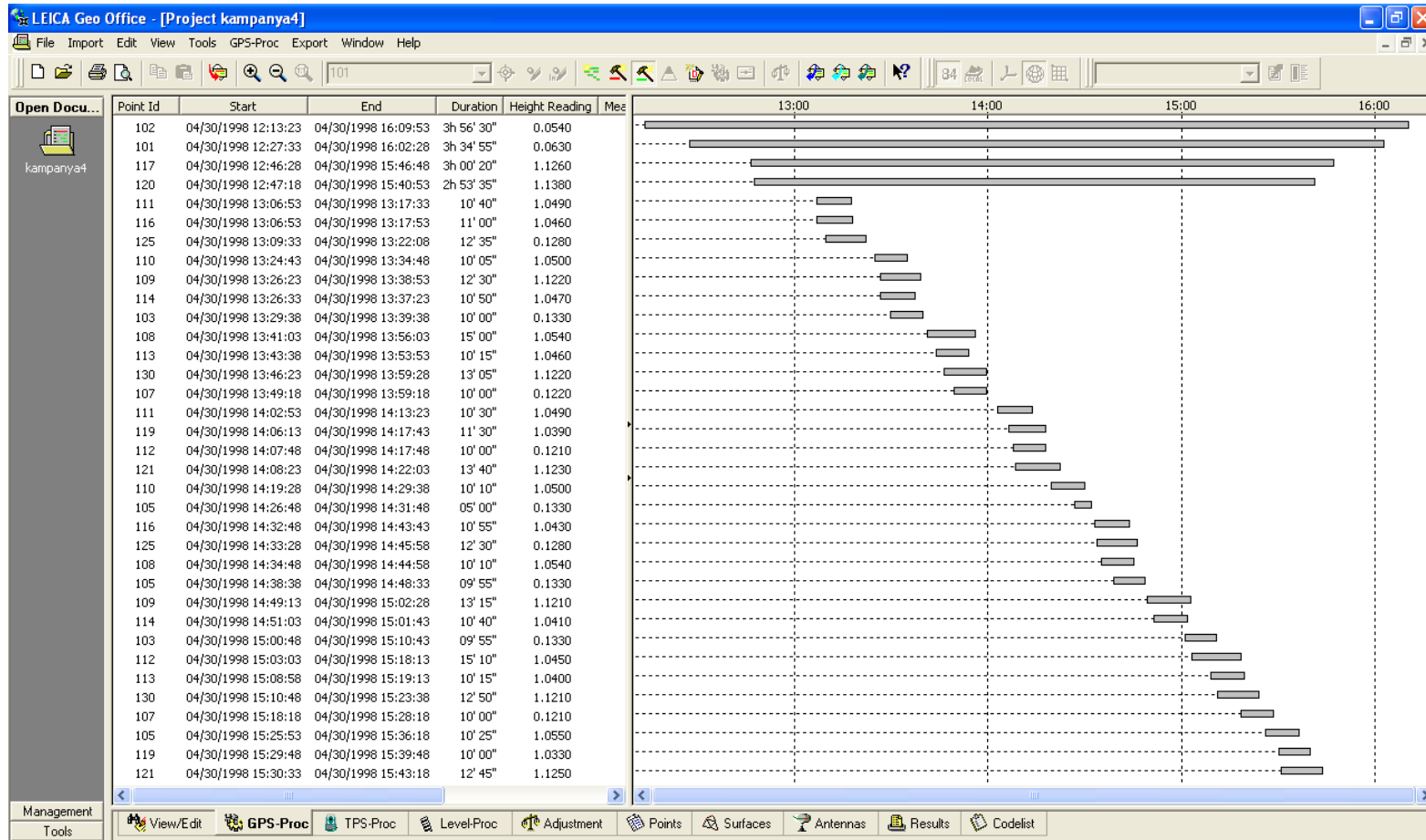
Şekil A.1 : Jeodezik kontrol ağı GPS ölçme Planı (I. Kampanya)



Şekil A.2 : Jeodezik kontrol ağı GPS ölçme Planı (II. Kampanya)



Şekil A.3 : Jeodezik kontrol ağı GPS ölçme Planı (III. Kampanya)



Şekil A.4 : Jeodezik kontrol ağı GPS ölçme Planı (4. Kampanya)

EK B**Çizelge B.1 : I. Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları**

N. N.	X (m)	Y (m)	Z (m)	m_x (m)	m_y (m)	m_z (m)	m_p (m)
101	4233183.774	2308222.523	4161460.183	0.0018	0.0012	0.0017	0.0028
102	4233373.562	2308357.058	4161182.990	0.0028	0.0016	0.0023	0.0040
103	4233186.571	2308512.141	4161327.334	0.0050	0.0043	0.0055	0.0086
104	4233253.436	2308266.130	4161340.314	0.0041	0.0031	0.0043	0.0067
105	4233220.794	2307817.343	4161581.961	0.0054	0.0030	0.0038	0.0072
106	4233302.809	2308423.883	4161225.991	0.0041	0.0032	0.0055	0.0075
107	4233285.430	2308326.063	4161294.080	0.0050	0.0038	0.0046	0.0078
109	4233156.998	2308104.067	4161551.869	0.0073	0.0063	0.0067	0.0117
110	4233313.574	2308231.041	4161285.471	0.0145	0.0058	0.0147	0.0215
111	4233364.186	2308080.981	4161283.664	0.0082	0.0044	0.0057	0.0109
112	4233136.852	2307873.568	4161651.264	0.0037	0.0026	0.0044	0.0063
113	4233415.833	2307989.593	4161248.758	0.0044	0.0028	0.0036	0.0064
114	4233319.068	2307933.876	4161406.669	0.0075	0.0039	0.0049	0.0098
115	4233303.769	2307877.435	4161454.577	0.0040	0.0025	0.0031	0.0056
116	4233281.067	2307851.889	4161495.158	0.0041	0.0025	0.0038	0.0062
117	4233425.042	2307869.046	4161283.461	0.0018	0.0013	0.0017	0.0028
118	4233207.890	2307878.116	4161585.503	0.0047	0.0039	0.0051	0.0080
119	4233255.769	2307706.116	4161544.543	0.0063	0.0042	0.0060	0.0097
120	4233766.418	2308334.345	4160731.392	0.0022	0.0014	0.0019	0.0032
121	4233226.246	2308123.242	4161434.277	0.0030	0.0022	0.0032	0.0049
122	4233321.871	2308022.867	4161363.575	0.0038	0.0027	0.0039	0.0061
123	4233284.274	2307937.093	4161453.921	0.0051	0.0040	0.0038	0.0075
125	4233160.786	2308099.086	4161552.185	0.0036	0.0027	0.0039	0.0059
126	4233329.894	2307999.856	4161380.290	0.0043	0.0034	0.0064	0.0084
127	4233088.582	2308281.241	4161537.673	0.0046	0.0036	0.0063	0.0086
129	4233167.796	2307996.103	4161583.661	0.0078	0.0058	0.0078	0.0125
130	4233195.530	2308154.010	4161460.590	0.0092	0.0049	0.0086	0.0136
131	4233371.400	2307779.930	4161386.750	0.0033	0.0019	0.0028	0.0048

Çizelge B.2 : II. Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

N. N.	X (m)	Y (m)	Z (m)	m_x (m)	m_y (m)	m_z (m)	m_p (m)
101	4233183.822	2308222.520	4161460.199	0.0006	0.0004	0.0005	0.0008
102	4233373.605	2308357.085	4161183.023	0.0005	0.0003	0.0004	0.0007
103	4233186.583	2308512.157	4161327.348	0.0015	0.0011	0.0017	0.0025
105	4233220.794	2307817.343	4161581.961	0.0015	0.0011	0.0013	0.0022
106	4233302.823	2308423.894	4161226.013	0.0013	0.0009	0.0014	0.0021
107	4233285.446	2308326.074	4161294.092	0.0014	0.0009	0.0014	0.0021
108	4233232.097	2308252.720	4161370.098	0.0025	0.0015	0.0023	0.0037
109	4233160.786	2308099.093	4161552.192	0.0021	0.0015	0.0020	0.0032
110	4233313.615	2308231.011	4161285.448	0.0012	0.0008	0.0012	0.0018
111	4233364.299	2308080.890	4161283.585	0.0013	0.0008	0.0012	0.0019
112	4233136.847	2307873.566	4161651.269	0.0017	0.0011	0.0019	0.0028
113	4233416.026	2307989.449	4161248.680	0.0013	0.0009	0.0010	0.0019
114	4233319.227	2307933.749	4161406.567	0.0017	0.0013	0.0013	0.0025
115	4233303.945	2307877.357	4161454.506	0.0018	0.0012	0.0015	0.0027
116	4233281.129	2307851.855	4161495.160	0.0019	0.0014	0.0016	0.0029
117	4233425.055	2307869.050	4161283.469	0.0005	0.0003	0.0005	0.0008
118	4233207.875	2307878.074	4161585.484	0.0018	0.0012	0.0023	0.0031
119	4233255.780	2307706.121	4161544.558	0.0015	0.0009	0.0017	0.0025
120	4233766.413	2308334.345	4160731.385	0.0005	0.0004	0.0005	0.0008

Çizelge B.3 : III. Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

N. N.	X (m)	Y (m)	Z (m)	m_x (m)	m_y (m)	m_z (m)	m_p (m)
101	4233183.793	2308222.502	4161460.184	0.0004	0.0002	0.0004	0.0006
102	4233373.595	2308357.084	4161183.011	0.0003	0.0002	0.0004	0.0005
103	4233186.560	2308512.146	4161327.314	0.0013	0.0008	0.0014	0.0021
105	4233220.759	2307817.340	4161581.970	0.0012	0.0008	0.0011	0.0018
106	4233302.800	2308423.882	4161225.983	0.0010	0.0007	0.0011	0.0016
107	4233285.426	2308326.065	4161294.067	0.0010	0.0006	0.0010	0.0016
108	4233232.076	2308252.670	4161370.017	0.0014	0.0008	0.0015	0.0022
109	4233156.987	2308104.064	4161551.852	0.0016	0.0009	0.0019	0.0026
110	4233313.646	2308230.984	4161285.419	0.0009	0.0006	0.0010	0.0014
111	4233364.559	2308080.666	4161283.351	0.0010	0.0006	0.0011	0.0016
112	4233136.836	2307873.558	4161651.240	0.0012	0.0007	0.0012	0.0019
113	4233416.546	2307989.009	4161248.435	0.0010	0.0005	0.0010	0.0015
114	4233319.524	2307933.472	4161406.318	0.0009	0.0006	0.0010	0.0014
116	4233281.183	2307851.743	4161495.075	0.0010	0.0007	0.0011	0.0016
117	4233425.055	2307869.045	4161283.460	0.0004	0.0003	0.0004	0.0006
119	4233255.775	2307706.124	4161544.545	0.0007	0.0005	0.0007	0.0011
120	4233766.413	2308334.346	4160731.385	0.0004	0.0002	0.0004	0.0006
121	4233226.283	2308123.176	4161434.206	0.0012	0.0007	0.0013	0.0019
123	4233284.559	2307936.885	4161453.615	0.0013	0.0008	0.0013	0.0020
125	4233160.772	2308099.081	4161552.171	0.0015	0.0010	0.0017	0.0025
130	4233195.529	2308153.915	4161460.510	0.0012	0.0008	0.0012	0.0019

Çizelge B.4 : IV. Kampanya 3B GPS dengelemesinden elde edilen bilinmeyenler ve nokta konum doğrulukları

N. N.	X (m)	Y (m)	Z (m)	m_x (m)	m_y (m)	m_z (m)	m_p (m)
101	4233183.827	2308222.531	4161460.210	0.0005	0.0003	0.0004	0.0007
102	4233373.600	2308357.079	4161183.019	0.0005	0.0003	0.0004	0.0006
103	4233186.571	2308512.140	4161327.336	0.0018	0.0012	0.0014	0.0026
105	4233220.814	2307817.246	4161582.008	0.0014	0.0007	0.0009	0.0018
107	4233285.435	2308326.056	4161294.071	0.0027	0.0017	0.0025	0.0041
108	4233232.051	2308252.587	4161369.891	0.0015	0.0007	0.0011	0.0020
109	4233156.997	2308104.057	4161551.861	0.0018	0.0010	0.0012	0.0024
110	4233313.680	2308230.922	4161285.351	0.0010	0.0006	0.0009	0.0015
111	4233365.488	2308079.791	4161282.473	0.0010	0.0007	0.0009	0.0015
112	4233136.854	2307873.561	4161651.283	0.0016	0.0009	0.0012	0.0022
113	4233419.724	2307985.814	4161246.684	0.0015	0.0010	0.0014	0.0022
114	4233320.750	2307932.276	4161405.183	0.0011	0.0007	0.0008	0.0015
116	4233281.819	2307851.292	4161494.861	0.0010	0.0006	0.0008	0.0014
117	4233425.062	2307869.048	4161283.471	0.0006	0.0004	0.0005	0.0008
119	4233255.796	2307706.125	4161544.572	0.0013	0.0008	0.0011	0.0018
120	4233766.414	2308334.346	4160731.385	0.0006	0.0003	0.0005	0.0008
121	4233226.343	2308123.098	4161434.147	0.0013	0.0008	0.0011	0.0019
125	4233160.784	2308099.075	4161552.174	0.0021	0.0013	0.0016	0.0029
130	4233195.559	2308153.817	4161460.447	0.0015	0.0009	0.0012	0.0021

EK C

filename of coordinates: Epoch_1and2_new.txt
number of points loaded: 22
filename of logfile:yatayblok.txt
probability chosen for F-test: 0.95

neighbourhood matrix done!

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag output(FS)
2.58 0.01 5.566 0.040 0.91 1.007 0.8590

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

103 102 117 120
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag output(FS)
2.68 0.01 7.504 0.103 0.91 1.014 0.8555
Seçilen blok noktaları 103 125 102 120

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
1.90 0.01 7.543 0.072 19.02 0.490 0.7104

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 112
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
2.30 0.02 10.257 2.086 6.00 0.281 0.6866

unused number of points: 17

this was iteration number: 1

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
1.97 0.04 9.696 0.404 2.19 0.339 0.6937

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 119
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
1.79 0.03 8.611 1.293 -0.62 0.382 0.6828

unused number of points: 16

this was iteration number: 2

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112 106
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
2.28 0.04 8.385 1.672 28.91 0.682 0.7063

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112 119
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
1.75 0.05 9.627 1.141 -0.98 0.506 0.6889

unused number of points: 15

this was iteration number: 3

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112 106 119
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
2.06 0.05 8.616 2.270 -5.11 0.539 0.6912

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112 106 107
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
2.82 0.05 8.056 0.041 -29.63 0.558 0.6756

unused number of points: 14

this was iteration number: 4

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112 106 119 107
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
2.59 0.07 8.291 0.559 -28.99 0.618 0.6750

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112 106 119 118
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
7.96 0.17 14.387 1.267 51.58 0.174 0.4815

unused number of points: 13

this was iteration number: 5

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112 106 119 107 118
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
7.60 0.20 14.230 0.787 54.80 0.186 0.4976

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

103 125 102 120 117 112 106 119 107 105
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
10.20 0.22 7.645 0.196 126.59 0.179 0.4774

Block finished!

Last Outputs Fuzzy System: 0.4927 0.8680

Testvalue: 0.5677

Used points:

103 125 102 120 117 112 106 119 107

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag output(FS)

0.78 0.01 202.586 171.940 0.95 0.973 0.7331

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

110 116 130 999

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag output(FS)

18.33 0.10 21.213 10.746 0.98 1.010 0.7312

Gewählt wurden Punkte 105 116 130 999

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999 110

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)

17.58 0.28 17.287 38.011 3.16 1.215 0.5861

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999 101

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)

13.71 0.16 251.841 151.713 -12.89 1.881 0.4514

unused number of points: 8

this was iteration number: 1

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999 110 101

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)

16.42 0.16 71.272 13.010 -13.52 1.814 0.4783

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999 110 115

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)

47.89 0.86 436.602 18.251 16.04 0.271 0.3913

unused number of points: 7

this was iteration number: 2

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999 110 101 118
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
17.85 0.47 100.196 3.728 -51.18 1.380 0.4627

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999 110 101 111
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
28.41 0.50 345.344 20.426 11.60 0.296 0.3991

unused number of points: 6

this was iteration number: 3

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999 110 101 118 115
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
39.71 0.94 437.424 0.590 25.61 0.241 0.4558

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

105 116 130 999 110 101 118 123
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
60.50 1.00 523.175 1.408 28.49 0.181 0.4197

Block finished!

Last Outputs Fuzzy System: 0.5548 0.6988

Testvalue: 0.7939

Used points:

105 116 130 999 110 101 118

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

113 114 115 122
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag output(FS)
10.42 0.19 42.501 300.373 0.99 0.991 0.6291

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

114 115 122 123
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag output(FS)
9.99 0.16 55.754 1128.736 1.00 0.976 0.6083
Gewählt wurden Punkte 113 114 115 122

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

113 114 115 122 123
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
16.89 0.45 47.339 426.435 8.55 0.880 0.6688

Combination 2 from Fuzzy System:

Points

113 114 115 122 111
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
37.81 1.00 239.125 140.421 -1.02 1.383 0.4807

unused number of points: 1

this was iteration number: 1

Combination 1 from Fuzzy System:

Points

113 114 115 122 123 111
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag output(FS)
34.83 1.00 178.670 232.070 -2.74 1.420 0.5029

unused number of points: 0

this was iteration number: 2

not Used points:

0

stop algorithm...

EK D

Koordinatların okunduğu Dosya ismi Epoch_1and2_new.txt
Okunan Nokta Sayısı : 22
Sonuçların yazılacağı Dosya ismi: Dusey.txt
F-testi için seçilen olasılık: 0.95

Delaunay-Üçgenlemesi ile komsuluk matrisi oluşturulmuştur!

Fuzzy Sistemi ile Elde Edilen 1. Kombinasyon:

Noktalar

103 102 117 120

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag dh[mm] output(FS)
2.68 0.01 7.504 0.103 0.914 1.014 -2.475 0.8613

Fuzzy Sistemi ile Elde Edilen 2. Kombinasyon:

Noktalar

106 119 117 120

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag dh[mm] output(FS)
1.29 0.01 7.917 6.978 0.892 0.912 -2.975 0.8576

Secilen Noktalar 103 102 117 120

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta için elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106

s0 [mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
2.82 0.024 6.753 1.191 33.206 0.429 -1.780 0.6491

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta için elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 125

s0[mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
1.90 0.026 7.543 0.072 19.642 0.499 -6.720 0.6408

Kullanılmamis Nokta Sayisi: 17

Iterasyon Sayisi: 1

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta için elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125

s0 [mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
2.33 0.034 6.037 1.140 13.000 0.632 -5.433 0.6352

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta için elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 119

s0[mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
2.44 0.058 8.207 2.182 -3.328 0.402 -3.633 0.5841

Kullanılmamis Nokta Sayisi: 16

Iterasyon Sayisi: 2

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125 119

s0 [mm]	iqr	e1[ppm]	e2[ppm]	diffAzimut[°]	ratioBetrag	Delta h[mm]	output(FS)
2.17	0.043	7.585	2.316	-5.495	0.441	-6.500	0.6081

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125 112

s0[mm]	iqr	e1[ppm]	e2[ppm]	diffAzimut[°]	ratioBetrag	Delta h[mm]	output(FS)
2.28	0.040	8.385	1.672	-2.688	0.392	-6.300	0.5991

Kullanilmamis Nokta Sayisi: 15

Iterasyon Sayisi: 3

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125 119 112

s0 [mm]	iqr	e1[ppm]	e2[ppm]	diffAzimut[°]	ratioBetrag	Delta h[mm]	output(FS)
2.06	0.068	8.616	2.270	-1.903	0.463	-7.125	0.6221

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125 119 107

s0[mm]	iqr	e1[ppm]	e2[ppm]	diffAzimut[°]	ratioBetrag	Delta h[mm]	output(FS)
2.78	0.070	7.414	0.555	-29.226	0.540	-6.813	0.5995

Kullanilmamis Nokta Sayisi: 14

Iterasyon Sayisi: 4

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125 119 112 107

s0 [mm]	iqr	e1[ppm]	e2[ppm]	diffAzimut[°]	ratioBetrag	Delta h[mm]	output(FS)
2.59	0.068	8.291	0.559	-28.988	0.618	-7.333	0.6251

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125 119 112 118

s0[mm]	iqr	e1[ppm]	e2[ppm]	diffAzimut[°]	ratioBetrag	Delta h[mm]	output(FS)
7.96	0.175	14.387	1.267	51.576	0.174	-10.289	0.4545

Kullanilmamis Nokta Sayisi: 13

Iterasyon Sayisi: 5

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125 119 112 107 118

s0 [mm]	iqr	e1[ppm]	e2[ppm]	diffAzimut[°]	ratioBetrag	Delta h[mm]	output(FS)
7.60	0.198	14.230	0.787	54.797	0.186	-10.160	0.4689

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

103 102 117 120 106 125 119 112 107 105
s0[mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
10.20 0.222 7.645 0.196 126.594 0.179 -8.180 0.4526

Blok Tamamlanmistir!

Last Outputs Fuzzy System: 0.4940 0.7872

Testvalue: 0.6276

Used points:

103 102 117 120 106 125 119 112 107

Fuzzy Sistemi ile Elde Edilen 1. Kombinasyon:

Noktalar

110 130 101 999
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag dh[mm] output(FS)
21.33 0.05 65.338 17.836 0.976 1.048 -13.800 0.7218

Fuzzy Sistemi ile Elde Edilen 2. Kombinasyon:

Noktalar

105 116 130 999
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag dh[mm] output(FS)
0.78 0.01 202.586 171.940 0.948 0.973 -15.775 0.7114
Secilen Noktalar: 110 130 101 999

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

110 130 101 999 116
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
16.08 0.117 71.285 16.696 -2.077 0.700 -9.100 0.5310

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

110 130 101 999 111
s0[mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
33.29 0.526 426.687 5.469 15.305 0.286 -17.280 0.4067

Kullanilmamis Nokta Sayisi: 8

Iterasyon Sayisi: 1

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

110 130 101 999 116 105
s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
16.42 0.151 71.272 13.010 24.739 1.393 -10.217 0.4620

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

110 130 101 999 116 123
s0[mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)
70.55 0.764 424.912 8.319 25.299 0.198 -16.083 0.3810

Kullanilmamis Nokta Sayisi: 7

Iterasyon Sayisi: 2

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

110 130 101 999 116 105 118

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2 [ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h [mm] output(FS)
17.85 0.471 100.196 3.728 -51.182 1.380 -13.843 0.4388

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

110 130 101 999 116 105 111

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2 [ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h [mm] output(FS)
28.41 0.502 345.344 20.426 11.598 0.296 -13.214 0.3847

Kullanilmamis Nokta Sayisi: 6

Iterasyon Sayisi: 3

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

110 130 101 999 116 105 118 115

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2 [ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h [mm] output(FS)
39.71 0.935 437.424 0.590 25.610 0.241 -13.650 0.4335

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

110 130 101 999 116 105 118 123

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2 [ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h [mm] output(FS)
60.50 1.000 523.175 1.408 28.487 0.181 -18.488 0.4022

Blok Tamamlanmistir!

Last Outputs Fuzzy System: 0.5439 0.6550

Testvalue: 0.8304

Used points:

110 130 101 999 116 105 118

Fuzzy Sistemi ile Elde Edilen 1. Kombinasyon:

Noktalar

113 114 115 122

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2 [ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag dh [mm] output(FS)
10.42 0.19 42.501 300.373 0.991 0.991 -20.175 0.5837

Fuzzy Sistemi ile Elde Edilen 2. Kombinasyon:

Noktalar

113 115 122 123

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2 [ppm] cosdiffAzimut ratioBetrag dh [mm] output(FS)
19.42 0.44 68.264 418.816 0.987 0.954 -19.275 0.5690

Secilen Noktalar 113 114 115 122

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta icin elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

113 114 115 122 123

s0 [mm] iqr e1 [ppm] e2 [ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h [mm] output(FS)
16.89 0.447 47.339 426.435 8.554 0.880 -26.340 0.6101

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta için elde edilen 2. Kombinasyon

Noktalar

113 114 115 122 111

s0[mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)

37.81 1.000 239.125 140.421 -1.025 1.383 -22.380 0.4489

Kullanılmamis Nokta Sayisi: 1

Iterasyon Sayisi: 1

Fuzzy Sistemi ile bloga eklenecek aday nokta için elde edilen 1. Kombinasyon

Noktalar

113 114 115 122 123 111

s0 [mm] iqr e1[ppm] e2[ppm] diffAzimut[°] ratioBetrag Delta h[mm] output(FS)

34.83 1.000 178.670 232.070 -2.735 1.420 -27.150 0.4657

Kullanılmamis Nokta Sayisi: 0

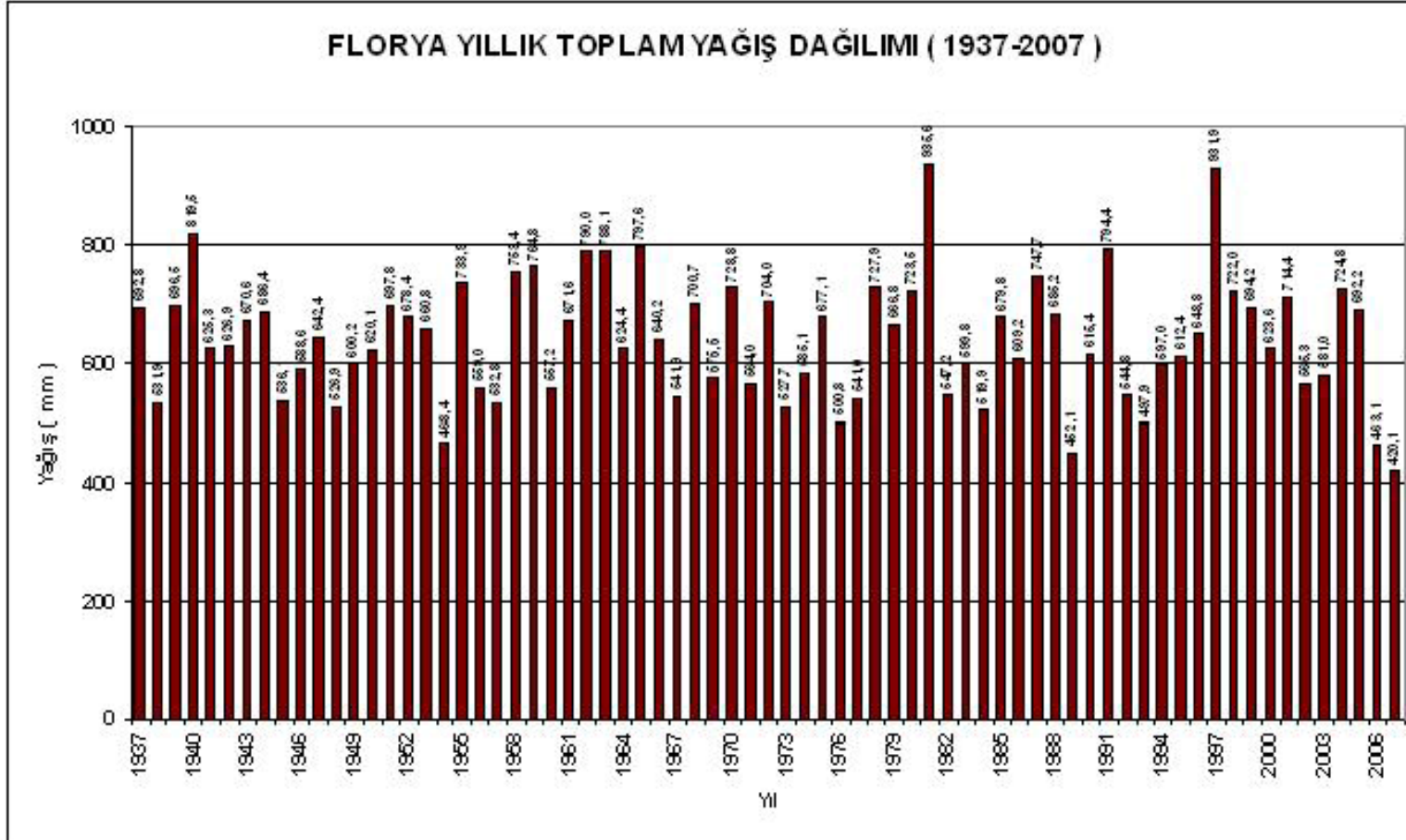
Iterasyon Sayisi: 2

Hesaplama Kulllanılmayan Noktalar:

0

algoritma tamamlandı...

EKE



Şekil E.1: 1937- 2007 yılları arasında Florya gözlemine ait yıllık toplam yağış miktarı

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mustafa ACAR
Doğum Yeri ve Tarihi: Bozkır (Konya)- 01.01.1973
Adres: İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı
Lisans Üniversitesi: Selçuk Üniversitesi

Yayın Listesi:

- **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.** ve Ayan, T., 2008: Bulanık mantık yöntemi ile heyelan bloklarının belirlenmesi, *Yerbilimlerinde Esnek Hesaplama Yöntemleri Sempozyumu*, CÜ, Sivas, 12- 13 Mayıs, s. 36- 38
- **Acar, M.**, Özlüdemir, M.T., Erol, S., Çelik, R.N. and Ayan, T., 2008: Kinematic Landslide Monitoring with Kalman Filtering, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(2), 213-221.
- **Acar, M.**, Özlüdemir, M.T., Haberler-Weber, M. and Ayan, T., 2008: 3D Determination of Landslide Block Movements, *European Geophysical Union (EGU) 2008*, Vienna, Austria, 13-18 April.
- **Acar, M.**, Haberler-Weber, M. ve Ayan, T., 2007: Heyelan bloklarının belirlenmesi, *III. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, SÜ, Konya, 24-26 Ekim, s. 30- 38
- **Acar, M.**, Özlüdemir, M.T., Akyılmaz, O. and Ayan, T., 2006: Total Least Squares in Geodetic Coordinate Transformation, *AGU 2006 Fall Meeting*, San Francisco, USA, 11–15 December 2006.
- **Acar, M.**, Özlüdemir, M.T. and Ayan, T., 2006: Global Congruency Test Methods in Deformation Networks: A case Study in Gürpınar, *Proceeding of Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World*, Sofia, Bulgaria, 9- 10 November, 89-98.
- **Acar, M.**, Özlüdemir, M.T., Çelik, R.N. and Ayan, T., 2006: Local Geoid Determination by Fuzzy Inference Systems: Case Studies in Turkey, in *Gravity Field of the Earth, Spec. Publ. Journal of Mapping*, 18, p. 49-54, Eds. Kılıçoğlu, A., Forsberg, R., General Commander of Mapping, Ankara.

- **Acar M.**, Özlüdemir M.T., Akyılmaz O., Çelik R.N. and Ayan T., 2006: Deformation Analysis with Total Least Squares, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(4), 663–670.
- **Acar, M.**, Özlüdemir, M.T. and Ayan, T., 2006: Kinematic Modelling on a Levelling Network in a Landslide Area, *Proceeding of Fifth International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days*, Berlin, Germany, 28- 31 March.
- **Acar, M.**, Özlüdemir, M.T., Çelik, R.N., Erol, S. and Ayan, T., 2004: Landslide Monitoring Through Kalman Filtering: A Case Study in Gürpınar, *Proceeding of XXth ISPRS Congress*, Istanbul, Turkey, 12- 23 July 2004.
- **Acar, M.**, Özlüdemir, M.T., Çelik, R.N., Erol, S. and Ayan, T., 2003: Investigation of Deformations on Landslides with Kinematic Model, *Proceeding of Modern Technologies, Education and Professional Practice in the Globalizing World*, Sofia, Bulgaria, 6- 7 November, 89-98.
- Çelik, R.N., **Acar, M.**, Kaplan, M.O., Ayan, T., 2004: Investigation of Displacement in Engineering Structures After Earthquakes Using Both Conventional and Satellite Geodetic Techniques, *International Symposium on “Modern Technologies, Education And Professional Practice In Geodesy and Related Fields*, Sofia, Bulgaria, 4-5 November.
- Çelik, R.N., **Acar, M.**, Kaplan, M.O., Ayan, T., 2005: Benefits Of Using Geodetic Approaches For Determining Earthquake Damages on Large Structures, *International Symposium on “Modern Technologies, Education And Professional Practice In Geodesy and Related Fields*, Sofia, Bulgaria, 3-4 November.
- **Acar, M.**, Ayan, T., 2005: An Overview of Satellite Altimetry, *International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields*, Sofia, Bulgaria, 3-4 November.
- **Acar, M.**, Kaplan, M.O., Ayan, T., Interactive Design of GPS Networks, 2004: *Turkish National Geodetic Commission, Scientific Meeting 2004*, Zonguldak, Turkey, 14-16 October.
- Çelik, R.N., Ayan, T., **Acar, M.**, Kaplan, M.O., 2005: Determination of Damages on Large Engineering Structures after Earthquake with Geodetic Techniques : A Case Study : Bolu pass”, *Earthquake Symposium Kocaeli 2005*, Kocaeli, 23-25 Mart,
- **Acar, M.**, Turgut, B., 2005: Astronomical Latitude, Longitude And Azimuth Determination With Kern Dkm 3-A, *10th Turkish Mapping Scientific and Technical Meeting*, Ankara, 28 March- 01 April.
- **Acar, M.**, Turgut, B., 2005: Astrogeodetic Deflection of Vertical: A Case Study in Selcuk University Gps Test Network, *10th Turkish Mapping Scientific and Technical Meeting*, Ankara, 28 March- 01 April.
- **Acar, M.**, Ayan, T., 2005: Satellite Altimetry Technique, Turkish National Geodetic Commission, Scientific Meeting 2005 *Geoid and Vertical Datum Workshop*, Trabzon, 22 - 24 September.
- **Acar, M.**, Haberler-Weber, M., Ayan, T., 2007: Determination of Landslide Blocks”, *Symposium of 3rd National Engineering Measurements*, Selcuk University – Konya, 24- 26 October.