T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS YÖNTEMİ İLE DEFORMASYONLARIN TESPİTİNDE GERİNİMLERİN BELİRLENMESİ

Yusuf KIRANLIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI

GEBZE
2006

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS YÖNTEMİ İLE DEFORMASYONLARIN TESPİTİNDE GERİNİMLERİN BELİRLENMESİ

Yusuf KIRANLIOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd.Doç.Dr. M. Halis SAKA

GEBZE
2006

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI : GPS Yöntemi ile Deformasyonların Tespitinde Gerinimlerin Belirlenmesi

YAZAR ADI :Yusuf KIRANLIOĞLU

Deformasyonlar çeşitli dinamik etkiler altında yeryüzünde ve yapılarda meydana gelen değişimlerdir. Bunların en önemlilerinden birisi de heyelanlardır. Bu çalışmada, Altaş Ambarlı liman bölgesindeki potansiyel heyelan alanında yapılan GPS ölçüleri değerlendirilmiş ve inklinometre, piezometre verileri ile karşılaştırılmıştır. GPS verileri kullanılarak gerinim parametreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada iki farklı zamanda ölçülmüş 8. ve 10. peryod GPS verileri S-transformasyonu kullanılarak ortak datuma dönüştürülmüş ve deformasyon analizi yapılmıştır. Gerinimlerin hesaplanmasında GPS sonuçları Chen modeli yardımı ile değerlendirilmiş, maksimum asal gerinim, minimum asal gerinim, maksimum asal gerinimin doğrultusu, alan bozulması ve toplam kayma değerleri geliştirilen bir MATLAB programı ile hesaplanmıştır. Maksimum asal gerinim sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. Sonuç olarak, GPS ve İnklinometri, verilerinden elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu ve heyelan bölgesinde anlamlı bir gerinim birikiminin oluştuğu görülmüştür.

SUMMARY

TITLE OF THESIS :Determining the Strain Rate For Deformations Using GPS

AUTHOR :Yusuf KIRANLIOĞLU

Deformations occur under the various dynamic effects on the earth and buildings. One of the most important deformation types is landslide. In this study, GPS measurements were evaluated, and later compared with inclinometers and piezometers data, for İstanbul Ambarlı Harbor, a potential landslide site. Strain parameters were computed using GPS data. In the computations, since GPS measurements of 8th and 10th periods have different datums. The S-Transformation is applied to convert the GPS measuremets to the same datum. In the estimation of strains the Chen model is applied to the data set. Maximum and minimum principal strain, direction of maximum principal strain, field deformation, and total slide values were computed through a developed MATLAB program. Maximum principal strain results were demonstrated with figures. As a result it is determined that the results produced with GPS measurements and inclinometer data were harmonious, and significant strain accumulation occured in the study area.

TEŞEKKÜR

"GPS ve Deformasyonların tespitinde Gerinimlerin Belirlenmesi " konulu bu çalışmada bana desteğini esirgemeyen danışman hocam Yrd.Doç.Dr. M. Halis SAKA'ya bu çalışmada değerlendirilen verilerin kullanılmasına izin veren Doç. Dr. Yunus KALKAN' a, Doç.Dr. Reha Metin ALKAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Yusuf KIRANLIOĞLU

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. HEYELAN VE HEYELANA NEDEN OLAN ETKENLER	3
2.1. Heyelan Tipleri	5
2.2. Heyelan Bölümleri ve Heyelanı Oluşturan Faktörler	6
3. HEYELANLARIN İZLENMESİNDE KULLANILAN ÖLÇME YÖNTEMLERİ	8
3.1. İnklinometre	10
3.2. Piezometre	10
3.3. GPS (Global Positioning Systems) Ölçmeleri	11
3.4. S-Transformasyonu ve Deformasyon Analizi	12
3.4.1.S-Transformasyonu Yardımıyla Global Test	13
3.5. Gerinim	14
3.5.1. Jeodezik Verilerden Gerinim (Streyn) Analizi	16
4. UYGULAMA	21
4.1. Çalışma Alanı ve Veriler	21
4.2. Çalışma Yapılan Bölgenin Genel Jeolojik Yapısı	23
4.3. İnceleme Alanına İlişkin Bölgenin İklim ve Meteorolojik Verileri	25
4.4. Çalışma Alanına Ait Ölçmeler	26
4.4.1. İnklinometre Verileri	27
4.4.2. Boşluk Suyu Basıncı (Piezometre) Verileri	28
4.4.3. GPS Verileri	30
4.4.4. Gerinim Analiz Sonuçları	32
5. SONUÇ	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$(\underline{Q}^{i}_{ff})_1$ = Eşlenik noktaların kofaktörler matrisi

$\underline{X}^{k}$ = Parametreler vektörüdür

$\underline{Q}_{xx}^{k}$ = Ağırlık katsayılar matrisi

$\in_1$ = Maksimum asal gerinim,

$\in_2$ = Minimum asal gerinim,

Δ = Alan bozulması

d_s = Koordinat farkları

I = Birim matris

R_s =Karesel form için artım miktarı.

δ = Üç boyutlu yatay gerinim tensörü

F = İki boyutlu yatay gerinim tensörü

β = En büyük gerinimin doğrultusu

ΔS_i =Strain oranı

$\underline{D}_{y1y1}$ =Varyans-kovaryans matrisi

$\gamma_{\max}$ =Toplam kayma

$\underline{S}_i$ = S transformasyon matrisi

e_{xx} = X ekseni doğrultusunda birim uzunlukta meydana gelen değişim

e_{xy} = Kesme gerinimi

e_{yy} = Y ekseni doğrultusunda birim uzunlukta meydana gelen değişim

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
2.1. Dünyada meydana gelen doğal afetlerin kıtalar bazındaki dağılımı	4
2.2. Heyelan bölümleri	7
3.1. Geoteknik ölçme donanımları	9
3.2. Gerinim tensör bileşenleri	15
4.1. Ambarlı liman bölgesi ölçme noktaları	22
4.2. Çalışma yapılan bölgenin jeolojik tabakalanma yapısı	23
4.3. 1925-2005 yılları arası bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarının aylara göre dağılımı	26
4.4. Heyelan izlemesi yapılan bölge, GPS referans ağı ve obje noktalarından oluşan deformasyon ağı	30
4.5. Aynı zaman aralığına (2002 yılı) ait; GPS ve İnklinometre ölçümleri yatay deformasyon miktarlarının karşılaştırılması	32
4.6. Asal gerinim sonuçlarının grafik gösterimi	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
4.1. 2002 Yılına ait İnklinometre verileri	27
4.2. Piezometre verileri	29
4.3. GPS (2002) verileri	31
4.4. Gerinim parametrelerinin sayısal değerleri	33

1. GİRİŞ

Yeryüzü ve üzerinde yer alan yapılar, çeşitli dinamik etkiler altında zamanla birçok değişime uğrarlar. Bu değişime genel olarak "deformasyon" adı verilmektedir. Mühendislik açısından deformasyonların sürekli olarak izlenmesi ve modellendirilmesi önemlidir. Bu izleme "deformasyon analizi" kavramı altında gerçekleştirilmektedir. Deformasyon analizi yeryüzündeki yapılarda meydana gelen değişimlerin tespit edilip belirlenmesi olarak tanımlanır.

Deformasyonlara neden olan birincil etkenler yerkabuğu hareketleridir. Sismik aktivite, tektonik plaka hareketleri, volkanik patlamalar, gibi jeolojik olaylar deformasyon nedenleri olarak sıralanır. Deformasyonların izlenmesi için birçok neden vardır. Bunların en önemlileri olarak, yer kabuğu hareketlerinin takibi (depremleri önceden belirleme çalışmaları), mühendislik yapılarının güvenlik ve sağlamlıklarının test edilmesi, volkanik hareketler ve heyelan gibi nedenlerle mühendislik ve çevre yapılarının zarar görmesinin önlenmesi olarak sıralanabilir.

Deformasyon ölçme yöntemlerini genel olarak jeofizik, geoteknik ve jeodezik yöntemler oluştursa da, son yıllarda jeodezik yöntemler ön plana çıkmaktadır. Jeodezideki elektronik uzaklık ölçerlerin ve 1980'li yıllardan itibaren GPS uydu ölçme tekniğinin ortaya çıkışıyla yüksek doğrulukta konum belirleme mümkün hale gelmiştir. GPS ölçmelerinin yüksek doğruluğu, ekonomik olması, kıtalar arası hareketleri bile izlenebilir hale getirmesi, yersel ölçme yöntemlerine rağbeti azaltmış ve çoğunun terk edilmesine yol açmıştır.

Deformasyon ölçümlerinde gerinim analizi jeodezik verilerin değerlendirilmesinde başvurulan önemli bir yöntemdir. Deformasyona uğrayan bölgelerdeki gerinim hesapları sayesinde gerinim miktarları ve gerinim boşanım zaman peryodlarının tespitiyle bu gerinimlerin nasıl ve ne şekilde bir deformasyona yol açtığı tespit edilebileceği gibi, birçok afet için de önceden tedbir alınabilir. Bu şekilde yapılan gerinim analizleriyle deprem ve heyelan gibi afetlerin oluşumuna yol açan gerinim miktarlarının bilinmesi ve önceden tahminleri ile can ve mal kayıplarının önüne geçilmektedir. Heyelanlar, Türkiye'yi çok yakından ilgilendiren doğal afetler içerisinde yer alır. Deformasyon açısından bakıldığında heyelanlar bina,

yol, baraj, köprü ve liman gibi çeşitli mühendislik yapılarında, önemli derecede zararlara yol açabilmekte ve bazı durumlarda, topoğrafyada derin izler bırakabilmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul, Yakuplu İlçesi, Altaş Liman bölgesinde heyelan izlenmesine yönelik elde edilen ölçme verileri değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler ALTAŞ Limanında heyelan izleme çalışması amacıyla, İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri bölümü elemanlarınca kurulan 28 noktalı kontrol ağının 2002 yılı Global Positioning System (GPS), İnklinometre, ve Boşluk Suyu Basıncı verileridir. Oldukça önemli bir liman kompleksini içinde bulunduran Ambarlı Liman ve Depolama Tesisleri sahasında yatay yer kabuğu hareketlerinin ve gerinim birikiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu tezde bu amaç doğrultusunda bölgenin jeolojik yapısı ve uygulama bölgesine ilişkin meteorolojik veriler incelenmiş, inceleme alanının aldığı yağış miktarları ile heyelana meyilli bir tabakallanma içeriğinin olduğu, belirtilmiştir. Deformasyon analizi (gerinimlerin hesaplanması) amacıyla jeodezik bir ağ üzerinde farklı zaman peryodlarındaki ölçüler datum birliği sağlamak için S-transformayonu ile dönüşümleri açıklanmıştır. Genel olarak gerinim tensör elemanlarının tanımları yapılmıştır. Bölgedeki gerinimlerin hesaplanmasıyla o yerde ölçülen eksen yönlerindeki gerinim tensörü'nün bileşenleri belirlenerek asal gerinimler sayısal olarak tespit edilmiştir. Bu uygulama sonucunda sayısal değerler olarak bulunan her bir GPS noktası için maksimum asal gerinim, minimum asal gerinim, maksimum gerinim doğrultusu, alan bozulması ve toplam kayma miktarları sayısal değerler olarak ortaya konmuştur. Geoteknik ve Jeodezik yöntemlerle gerçekleştirilen inklinometre, piezometre, ile GPS verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yatay deformasyon tespit yöntemlerinden olan inklinometre ölçüleri ve GPS ölçüm yöntemini sonuçlarının uyum içinde oldukları görülmüştür. Genel olarak sonuçlara göre bölgedeki heyelanın karakteristiği ve ölçüm noktalarına göre heyelan alanındaki gerinim özellikleri ortaya konularak daha fazla kaymaya meyilli alanlar ve daha stabil alanlar belirlenmiştir.

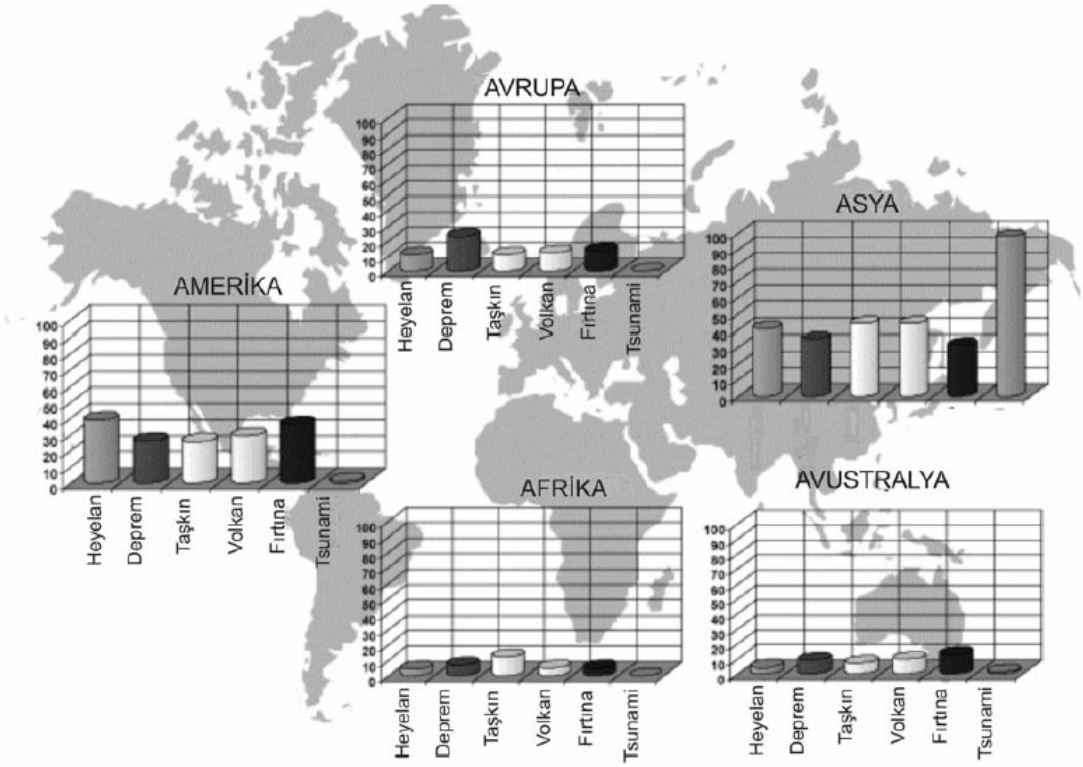
2. HEYELAN VE HEYELANA NEDEN OLAN ETKENLER

Heyelan, toprak, taş veya bunların karışımlarından oluşan bir zeminin yada çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde aşağıya veya dışarıya doğru hareket etmesidir. Genel olarak heyelana neden olan etkenler, eğim, şiddetli ve sürekli yağmurlar ya da karların erimesiyle toprağa sızan sular, su ile doygunluk, kaya yapısı, tabakaların duruş biçimleri, tektonik yapı şeklinde sıralanır. Heyelanlar, bu nedenlerden birisi veya birkaçının etkisiyle oluşurlar ve topoğrafyada çok önemli değişikliklere neden olabilirler. Kayan kütlenin koptuğu yerde genellikle hilale benzer bir kopma yarası oluşur. Bazı heyelanlar sonucunda yamaçlarda taraçalara benzer basamaklar oluşabilir [http://www.e-cografya.com,2006].

Literatürdeki çalışma sonuçlarına göre Türkiye'de 1950 - 2004 yılları arasında heyelandan etkilenmiş konut sayısı yaklaşık 65.000 dir. Bu yıllar arasında oluşan heyelan olayı sayısı yaklaşık 4.000 ve heyelandan etkilenmiş veya etkilenmekte olan yerleşim yeri sayısı ise yaklaşık 3.500'dür. Meydana gelen afetler nedeni ile nakil edilen konut sayısı 167.787'dir. Tortul jeolojisi ve yeraltı suları koşulları nedeniyle zemin hareketlerine uygun ortama sahip bölgelerimizden birisi Marmara bölgesidir. Bu bölgenin önemli heyelanları Avcılar, Esenyurt, Boğaz, Yalova (1981) ve Bolu Dağı çevresinde meydana gelmiştir. Kuzey Anadolu ve Karadeniz bölgesinde 1929, 1950, 1952, 1985, 1988, 1990 yıllarında büyük ölçüde can ve mal kaybına neden olan çok büyük heyelanlar olmuştur. 1950'lerde Trabzon-Sera heyelanı ve 1979 Kanlıdere heyelanı önemli heyelanlar arasına girmiştir. Sera/Trabzon, Sinop, Tortum, Geyve, Ayancık, Of, Sürmene, ve Maçka/Çatak heyelanları bu tarihlerde yaşanan heyelanlardan bazılarıdır. Heyelanlar sonucunda kütle altında kalarak telef olan hayvan miktarı ve kullanılamaz hale gelen konut sayısı önemli bir yekün teşkil etmektedir. Kütle hareketlerine bağlı olarak yaşanan sel ve çamur akıntısı sonucunda 13 Temmuz 1995 günü Senirkent (Isparta)'da bir çok konut akan çamurun altında kalırken 74 kişi hayatını kaybetmiştir. Yine 21 Haziran 1990 Günü şiddetli yağışa bağlı olarak Maçka/Çatak kesiminde görülen heyelanda 65 kişi yaşamını yitirmiş ve trilyonlara varan maddi kayıplar ortaya çıkmıştır. Ülkemizin en önemli deprem kuşağı olan Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alan ve kitle hareketlerinin

oluşumuna uygun bir jeolojiye sahip Sivas'ın Koyuhisar ilçesinde 17 Mart 2005 tarihinde meydana gelen moloz-çamur akması sonucunda 15 kişi hayatını kaybetmiştir.Heyelanlardan zarar gören veya bu tehlike altında bulunan bazı köylerin başka alanlarda yerleşimleri sağlanmıştır [Öztürk, 2002],[Tatar ve ark.,2005], [www.bayindirlik.gov.tr,2006].

Ülkemizde olduğu gibi dünyanın birçok yerinde heyelanların izlenmesi ve muhtemel zararlarının önlenmesi veya azaltılması konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Dünya geneli için Şekil (2.1)'de görülen ve Alacantara ve Ayala (2002) tarafından yapılan bir değerlendirmede heyelanların dünyanın hemen her bölgesinde karşılaşılan doğal tehlikeler olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, Türkiye'de ise heyelanlar neden oldukları kayıplar açısından depremlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır.



Şekil 2.1. Dünyada meydana gelen doğal afetlerin kıtalar bazındaki dağılımı [Alacantara and Ayala,2002].

2.1. Heyelan Tipleri

Heyelan tiplerini meydana geliş biçimlerine göre Göçmeler, Kaymalar, Akmalar, Karmaşık heyelanlar ve Asıl heyelanlar olarak sınıflandırabiliriz [Öztürk,2002].

Göçmeler veya devrilmeler olarak adlandırılan heyelanlar bir kaşığa benzeyen konkav kopma yüzeyleri boyunca dönerek yer değiştiren kısımlardan oluşur. Kayan kısımlardan her biri geriye doğru meyillenmiş basamaklar oluşturur. Bunun sonucunda, kayan kütlelerin başlangıç eğimleri değişir ve bunların yüzeyleri kopma yarasının bulunduğu tarafa doğru yeni bir eğim kazanır. Yamaçlarının alttan akarsular, dalgalar gibi etkenlerle oyulması, denge açısını aşan yol yarmaları ve yer altı maden ve benzeri işletmelerinin yaptığı boşaltmalar, göçme tipindeki heyelanların başlıca nedenlerindendir.

Kaymalar bir tabakanın ya da tabakalar kümesinin altta su ile doygunlaşarak kayganlaşmış killi bir tabaka üzerinde çekim etkisiyle aşağı doğru yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Toprak kaymaları, su ile doygun hale gelen ve bu şekilde bütünü ile kaygan bir hale gelen molozların, ya da toprağın kıvamlı bir hamur gibi yavaş yavaş yer değiştirmesi şeklinde meydana gelir. Kaymalar, çamur akıntılarına benzerlik gösteren bir heyelan türüdür. Fakat çok yavaş oluşmaları, belli bir yatağa bağlı olmamaları ve içerdikleri suyun çok daha az olması gibi özellikleriyle çamur akıntılarından farklılık gösterirler. Bu açıklamalardan anlaşılacağı üzere, toprak kaymaları asıl heyelandan daha yüzeyseldir. Nemli iklim bölgeleri litoloji bakımından da uygun olmak şartı ile bu kütle hareketinin en yaygın olduğu sahalardır. Kayma sırasında hareket eden malzemeler birbirleriyle etkileşim halindedir. Bu etkileşim sonucu kütleler belirli ölçüde esas özelliklerine bağlı kalarak dönüşüme uğrayabilir, bozulabilir ve parçalanabilir. Bunun sonucunda akmalar olarak tanımlanan heyelan sınıfı meydana oluşmaktadır.

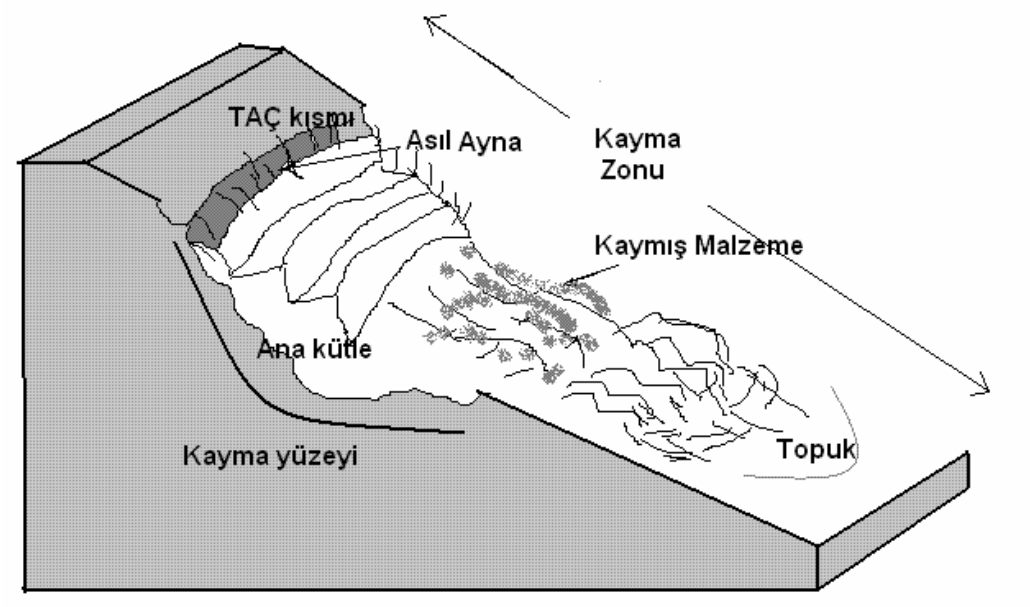
Akmalar olarak tanımlanan heyelan sınıfında daha çok yamaç döküntüsü, ayrışmış materyal gevşek formasyonlar gibi malzemelerin ıslak veya kuru zemin üzerindeki yer değiştirmesi akma hareketi olarak adlandırılır. Kayma direncini

azaltan su bu tür hareketin esas nedenidir. Akmalar genellikle şiddetli sağanaklar sırasında veya sonrasında ortaya çıkmaktadır. Kaynak sular, donmuş zeminlerin ani çözülmesi gibi diğer bazı etkenlerde yamaçtaki materyalin harekete geçmesine yani heyelanlara neden olabilmektedir. İnce taneli veya plastik malzemeden oluşan toprak akmalarında artan su miktarına göre, çamur akıntıları oluşmakta, büyük ölçüde can ve mal kayıpları ortaya çıkmaktadır.

Heyelanlar, klimatolojik, jeomorfolojik ve jeolojik koşulların uygunluğu, yamacı oluşturan malzemenin farklılığı nedeniyle birden fazla türde de görülebilir. Düşme, kayma ve akmanın gibi hareketler bir arada görülebilir. Bu şekilde gelişen heyelan tipleri karmaşık heyelanlardır. Heyelanların çoğu genellikle karmaşık türde oluşurlar. Bir heyelanın tek ve kesin bir nedene bağlanması hemen hemen olanaksızdır. Birçok heyelanlanın oluşmasına yukarıda belirtilen nedenler aynı anda etki etmektedir [www.bayindirlik.gov.tr,2006].

2.2. Heyelan Bölümleri ve Heyelanı Oluşturan Faktörler

Heyelana neden olan faktörler bilim adamlarınca değişik şekillerde sınıflandırılmış olup genel olarak iç-dış, doğal beşeri gibi sınıflandırma başlıkları altında toplanmıştır. Eğim, sağanak yağışlar, su ile doygunluk, litolojik özellikler, bitki örtüsünün zayıflığı, donma ve çözülme olayları, çökmeler, yükselmeler depremler ve erozyon gibi olaylar, heyelan oluşumunda önemli doğal etkenleri oluştururlar. Ancak, bunlardan bazılarının etkisi çok daha fazladır. Örneğin temel faktör eğimin varlığıdır. Eğimin, su ile doygunluğun ve kil katmanlarının yaygın olduğu alanlarda, heyelanlar her zaman meydana gelebilir. Eğimin olmadığı yerde, heyelanın meydana gelmesi söz konusu olamaz. Yamaç eğiminin değişmesi ve buna bağlı olarak, yamaçta bulunan materyalin dengesinin bozulması, heyelanın meydana gelmesinde en önemli faktördür. Yamaç eğiminin artması, kaya bloklarının ağırlığının artmasını sağlar. Böylece yamaç dengesi bozulmaya başlar. Daha sonrada kayma meydana gelir. Bir heyelanda kayma zonu olarak adlandırılan üst seviyeler aşağıya doğru hareket ederken, Birikme zonu olan alt kısımlarda ise “ÇÖKME”, “KABARMA” ve “AKMA” hareketleri görülmektedir. Genel olarak şekil (2.2)’de görülen heyelan kütlesi üzerindeki bölümleri şu şekilde açıklayabiliriz [www.bayindirlik.gov.tr,2006].



Şekil 2.2. Heyelan bölümleri [www.bayindirlik.gov.tr,2006].

Taç: Heyelanın en üst kısmına verilen isimdir. Taç kısmını belirgin olarak ayıran etmen gerinim çatlaklarının gözlemlenebilmesidir.

Esas Ayna: Kayan zeminin oluşturduğu kütlenin dik veya dike yakın durumdaki yüzeyine esas (ana) ayna adı verilir.

Tepe: Hareket eden kütle ile ana aynanın kesiştiği yerin tepe noktasıdır.

Ana Kütle*:* Kayma düzlemi boyunca hareket eden malzeme topluluğunun tamamına verilen isimdir..

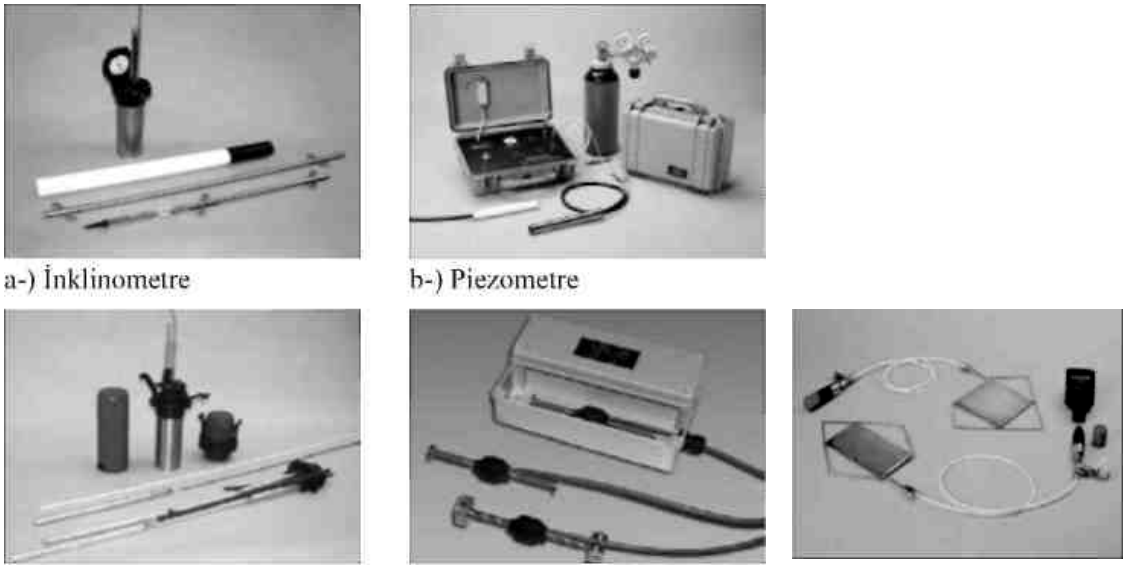
Çapraz Çatlaklar: Genellikle kabarma bölgesinde oluşurlar. Heyelanın topuğunun üst kısmında görülen çatlaklardır.

Topuk: Malzemenin toplandığı yerdir. Hareket eden kütlenin en son kısmıdır. Heyelanlarda üst kısımlar aşağı doğru kayarken alt kısımlarda çökme, kabarma ve akma bölgeleri gözlemlenebilir. Heyelanların orta kısımlarındaki oluşumlar çökmeler den oluşurken alt kısımlardaki oluşumlarda ise kaymalar meydana gelmektedir.

3. HEYELANLARIN İZLENMESİNDE KULLANILAN ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Son derece zahmetli ve yoğun çalışmalar gerektiren heyelan izleme çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için çok değişik ölçme donanımın kullanıldığı farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olan jeodezik yöntemlerle deformasyonların izlenmesidir. Yersel ve uzay tekniklerinin yer aldığı jeodezik yöntemler kullanılarak, yapılardaki ya da yeryüzü parçasındaki yatay ve düşey deformasyonlar belirlenebilmektedir. Jeodezik yöntemlerin kullanılabilmesi için noktalar arasında, nokta ile uydular arasında ya da kamera ile obje noktaları arasında görüşün olması gereklidir. Bunun sağlanmadığı durumlarda ya da deformasyona maruz kalan gövdenin içinde bir hareket olması durumunda jeodezik olmayan yöntemlerden yararlanılır. Geoteknik donanımların ve meteorolojik sensörlerin kullanıldığı ve genel olarak "Jeodezik Olmayan Yöntemler" deformasyon izleme yöntemleri de son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin büyük mühendislik yapılarının üzerine kurulduğu kaya zeminlerde, farklı toprak ya da kaya formasyonları'nın birbirine göre hareketlenmesini belirlemede, sadece yüzeydeki hareketi değil, yüzeyden belirli derinliklerdeki tabakaların hareketlerini belirlemede jeodezik olmayan yöntemlerden yararlanılır. Jeodezik olmayan yöntemler geoteknik donanımlar ve diğer özel izleme cihazlarını içerir. Bu donanımlar sayesinde değişik derinliklerdeki hareketlerle birlikte yapıda ve çevresinde deformasyonlara neden olan yükler, su basıncı, taban suyu seviyesi, gerinim, sıcaklık gibi değişik faktörlerin büyüklükleri ve değişimleri de ölçülmektedir. Jeodezik olmayan yöntemler, geoteknik donanımları ve diğer bazı özel izleme cihazlarını içerir ve yapılardaki ya da zemindeki hareketlerin izlenmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bu amaçla kullanılan temel geoteknik sensörler ve diğer cihazlar, inklinometre, Piezometre, Manyetik Oturma Kolonu (Settlement Gauges), Extensometre, Çatlak ölçer (Crackmeters and Jointmeters), Basınç Ölçer (Pressure Cell), Strengeç (Strain Gauges), Termometreler (Thermometers)'dir [Kalkan and et al.,2002], [Hill and Sippel,2002].

Geoteknik parametrelerin ölçülmesinde kullanılan donanımların bazıları Şekil 2'de verilmiştir. Bu cihazlar amacına uygun şekilde yapıya (bölgeye) tesis edilerek veriler toplanır. Veri toplama işlemi için dahili bir kayıt ünitesinden veya bir bilgisayardan yararlanılır. Bilgisayara bağlı olarak veri toplanmasının bazı avantajları vardır. Bunlardan bazıları, bir iletişim hattının kurulması halinde uzaktaki bir merkezde de verinin toplanabilmesi, veri toplama aralığının değiştirilebilmesi, değişikliklerin anında izlenebilmesi, veri aktarmak için bölgeye gidilme zorunluluğunun olmaması gibi sıralanabilir. Başarılı bir deformasyon izleme ve yorumlanmasında jeodezik verilere ek olarak geoteknik ve diğer ölçme donanımlarından elde edilecek bulgular son derece önemlidir.



a-) İnklinometre b-) Piezometre

c-)Extensometre d-)Strengeç e-)Basınç Ölçer

Şekil 3.1. Geoteknik ölçme donanımları [http://www.sisgeo.it,2006].

Projede, seçilen uygun yerlerde değişik derinliklerde sondajlar yapılarak yeraltında değişik derinliklerdeki yatay yer değiştirmeleri izlemek üzere inklinometreler ve gözenek suyu basıncının dağılımını izlemek üzere ölçmeler yapılmıştır. Bunlardan elde edilen veriler, deformasyonların belirlenmesinde ve yorumlanmasında jeodezik GPS verileri ile birlikte değerlendirilmiştir. Uygulamada verileri kullanılan bu yöntemler hakkında bazı tanım ve bulgular aşağıda verilmektedir [Kalkan ve ark.,2001].

3.1. İnklinometre

İnklinometreler zemin hareketlerinin ve yapısal deformasyonların ölçülmesinde, şev ve heyelan hareketlerinin incelenmesinde, yeraltındaki yatay deformasyonların ölçülmesinde, barajlarda, seddelerde, koruma yapılarında, heyelanlı bölgelerde vb. yapı ve sahaların yatay deformasyon ölçmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnklinometre ölçümleri bu araştırmada da heyelanlı kesimde yatay hareketlerin gözlenmesi ve kayma yüzeylerinin belirlenmesi amacıyla tesis edilmiştir. Ölçmeler, sahada uygun noktalarda açılan özel sondaj kuyularında, belirlenen derinliklerde ve uygun periyotlarda yapılacak inklinometre okumaları aracılığı ile gerçekleştirilir. Deformasyonun belirlenmesi işlemi, belirli yüksekliklerde düşeye göre eğim değişmelerinin ölçülmesi ve integrasyon metotları kullanılarak bu değişimlerin yatay deformasyon değerine dönüştürülmesi şeklinde yapılır. Zeminin kendi içindeki dönmesi de bu ölçmeler sonucunda elde edilebilir. Ölçmeler uygulama alanında açılan sondaj kuyusunun içine inklinometre kılıfı yerleştirilip belli aralıklarla cihaz ile belirlenen derinliklerde ölçüm yapılarak kaydedilir. Alıcı kablolar tarafından zemine indirilen prob, 50 cm yükseklikte bir çekilerek bulunduğu derinlikteki dönme açıları kaydedilir. Eğim değişimlerinin ölçümleri bu şekilde alınarak bilgisayar programı yardımı ile bu değerler yatay deformasyon değerlerine dönüştürülür [Kalkan ve ark.,2003].

3.2. Piezometre

Piezometre, suya doygun veya yarı doygun zeminlerde yer altı su seviyesi veya boşluk suyu basıncı ölçmeye yarayan bir cihazdır. Zeminlerdeki boşluk suyunun veya yer altı su seviyesi değişimlerinin önemli olduğu durumlarda piezometrelerle farklı derinliklerde bu basınçlar ölçülür ve ilgili bir yazılım desteği ile basınç farkları grafik gösterime dönüştürülür. İki tip Piezometre vardır:

- Açık uçlu piezometreler:

Casagrande tip ve Standpipe tip

- Kapalı uçlu piezometreler:

Pnömatik tip ve elektrikli tip

Bu uygulama uzun süreli bir ölçüm periyodu olduğu için vibrating wire elektrikli piezometreler kullanılmıştır. Çünkü bu tip piezometreler uzun tip ölçümler için güvenilirliği kanıtlanmış (10 yıl) boşluk suyu basıncı veya su seviyesi ölçümünde kullanılan performansı en yüksek Piezometre cihazlarıdır.

3.3. GPS (Global Positioning Systems) Ölçmeleri

Deformasyonların tespitinde kullanılan GPS yöntemi tüm dünyada birçok uygulamaya yeni ufuklar açmış, çok yüksek doğrulukta kıta ve fay atım miktarlarının belirlenmesinden, baraj, köprü, viyadük gibi önemli mühendislik yapılarının yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının belirlenmesinde başarıyla uygulanamıştır. Kullanım kolaylığı, hava koşullarına bağlı olmaması, gece-gündüz ölçme yapabilmesi, noktaların birbirini görme zorunluluğunun olmaması ve yüksek doğruluk sağlayabilmesi GPS' in deformasyonların tespitinde kullanılmasındaki önemli avantajlarındandır. Deformasyon analizi gibi önemli bir konuda değerlendirilen sonuçlar yörüngeden, atmosferden ve diğer tüm dış etkilerden (merkezlendirme donanımı, multipath) kaynaklanabilecek düzenli hatalardan arındırılmış olmalıdır. Buna dikkat edilmediği durumlarda farklı periyot ölçüleri arasında sistematik farklılıklar bulunabilir. Bulunan bu farklılıklar deformasyon olarak yorumlanabileceğinden önemli hatalara yol açabilir. GPS ölçülerinin matematik istatistik kontrol düzeneğinin esasını bağımsız bazlar şeklinde kapalı ağ yapısında ölçülmesi oluşturur. Çok uzun bazlı ağlarda zorunlu merkezlendirmeli bir ölçme düzeneğini uygulayan güçlü bir ölçme ekibiyle fiziksel ortamda oluşturulan kontrol şartları ile kapalı şekil oluşturmadan da çözüm yapılabilir [www.bluegps.tripod.com,2006], [Aydan,2000].

3.4. S-Transformasyonu ve Deformasyon Analizi

Deformasyon analizi amacıyla yapılan GPS ölçmeleri aynı kontrol ağının farklı zamanlarda ölçülmesini gerektirir. Bu sonuçlar belli yöntemlerle karşılaştırılarak deformasyon analizleri gerçekleştirilir. Bu yöntemlerin başlıcaları S-Transformasyonu ile analiz veya gerinimlerin hesaplanması şeklinde özetlenebilir. Bu çalışmada gerinim analizi ele alınacaktır. S-Transformasyonu yöntemi ağda deformasyon olup olmaması noktasına kadar ele alınacak, S-transformasyonu ile global test aşaması incelenecektir. Farklı zaman peryodlarında ölçülen ağlarda datum birliğinin sağlanması gerekmektedir. S-transformasyonu ile yeni bir dengelemeye gerek kalmadan bir datumdan diğer bir datuma geçiş yapılabilmektedir.

S transformasyonunda herhangi bir datumdan (i), diğer bir datuma (j) geçişi sağlayan denklem geçişi;

$$\underline{x}_j = \underline{S}_j \underline{x}_i \tag{3.1}$$

$$\underline{Q}_{xj} = \underline{S}_j \underline{Q}_{xi} \underline{S}_j^T \tag{3.2}$$

$$\underline{S}_{jj} = I - \underline{G}(\underline{B}^T \underline{G})^{-1} \underline{B}^T \tag{3.3}$$

şeklindedir. Üç boyutlu GPS ölçüleri ile oluşturulan ağlar için $\underline{G}$ matrisi;

$$\underline{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & . & . & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & . & . & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & . & . & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{3xn} \tag{3.4}$$

$$\underline{B} = \underline{E}\underline{G} \tag{3.5}$$

$$\underline{E} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathrm{I} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

şeklindedir. GPS ağındaki diğer yönlendirme parametreleri bellidir. Burada I birim matris, $\underline{E}$ ise datumu belirlemesi istenen noktalara köşegen üzerinde 1; diğer yerlerdeki değeri 0 olan seçici matristir. $\underline{S}$ transformasyon matrisi ise;

$$\underline{S} = \underline{I} - \underline{G}(\underline{G}^T \underline{E}_i \underline{G})^{-1} \underline{G}^T \underline{E}_i \tag{3.7}$$

şeklindedir.

3.4.1. S-Transformasyonu Yardımıyla Global Test

Deformasyon amaçlı kontrol ağ noktalarının koordinatları *f* (datum) ve *n* (datum olmayan) şeklinde ikiye ayrılır. Global test iki peryod ölçülerinin değerlendirme sonuçlarına göre, sadece eşlenik noktalardan oluşan bir ağ için uygulanmalıdır.

$$\underline{X}^k = \begin{bmatrix} \underline{X}_f^k \\ \underline{X}_n^k \end{bmatrix} \tag{3.8}$$

$\underline{X}^k$ parametreler vektörüdür ve bu vektörün ayrımıyla

$$\underline{Q}_{xx}{}^k = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ff}^k & \underline{Q}_{fn}^k \\ \underline{Q}_{nf}^k & \underline{Q}_{nn}^k \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

$\underline{Q}_{xx}{}^k$ ağırlık katsayılar matrisi belirlenmiş ve datum olan ve datum olmayan alt matrislere ayrılmış olur.

$$\begin{bmatrix} \underline{X}_f^i \\ \underline{X}_n^i \end{bmatrix} = \underline{S}_i \begin{bmatrix} \underline{X}_f^k \\ \underline{X}_n^k \end{bmatrix}, \tag{3.10}$$

$$\underline{Q}_{xx}^i = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ff}^i & \underline{Q}_{fn}^i \\ \underline{Q}_{nf}^i & \underline{Q}_{nn}^i \end{bmatrix} = \underline{S}_i \underline{Q}_{xx}^k \underline{S}_i^T \tag{3.11}$$

Eşitlikleriyle de k datumundan i datumuna seçici $\underline{E}_i$ matrisiyle ağın eşlenik noktalarına için konumlandırılması sağlanır. Bu denklem sıralanımı 1. ve 2. peryodlar için uygulanır. Aynı bir i datumunda eşlenik noktaların $(\underline{X}_f^i)_1$ ve $(\underline{X}_f^i)_2$ koordinat bilinmeyenleriyle bunların kofaktör matrisleri $(Q_{ff}^i)_1$ ve $(Q_{ff}^i)_2$ belirlenir. Eşlenik noktaların global testi için sıfır hipotezi,

$$H_o : E(\underline{X}_f^i)_1 = E(\underline{X}_f^i)_2 \tag{3.12}$$

şeklinde yazılır.

$$\underline{d}_f = \underline{X}_{f2}^i - \underline{X}_{f1}^i \tag{3.13}$$

$$(\underline{Q}_{dd})_f = (\underline{Q}_{ff}^i)_1 + (\underline{Q}_{ff}^i)_2 \tag{3.14}$$

$$\underline{R}_f = \underline{d}_f^T (\underline{Q}_{dd})_f \underline{d}_f \tag{3.15}$$

$$S_o^2 = \frac{f_1 S_{o1}^2 + f_2 S_{o2}^2}{f_1 + f_2} \tag{3.16}$$

$$T = \frac{\underline{R}_f}{S_o^2 \underline{h}_f} \tag{3.17}$$

şeklinde test büyüklüğü elde edilir. $\underline{R}_f$ 'nin serbestlik derecesi $h_f = u_f - d$ 'dir. $T \rangle F_{h_f, f; 1-\alpha}$ durumunda ağın eşlenik noktalarının oluşturduğu bölümde bir deformasyon olduğu kanaatine varılır. Bu istatistik değerlendirme aşamasıyla, ağda deformasyon olduğuna karar verildikten sonra gerinimler hesaplanır.

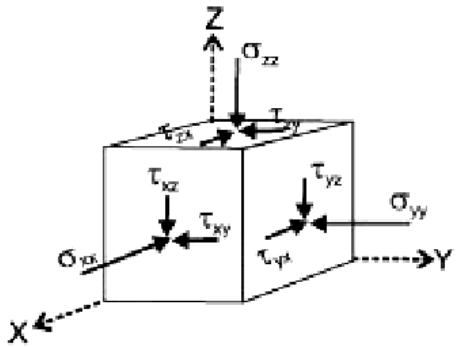
3.5. Gerinim

Gerinim, şekil değiştirme ve deformasyon terimleri birçok bilim dalında incelenen ve kullanılan vazgeçilmezlerdendir. Gerinim, ΔS alanı üzerine etkileyen

ΔF kuvvetinin bu alana bölümü şeklinde tanımlanır. Gerinimin matematik tanımı:

$$\delta = \lim_{\Delta s \to 0} \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta S} \text{ 'dir.} \qquad (3.18)$$

Fiziksel anlamda gerinim, bir kuvvetin meydana getireceği deformasyona karşı cismin içinde meydana gelen birim yüzeye düşen iç kuvvettir. Bir yerdeki gerime ölçümünden amaç, o yerdeki ölçülen eksen yönlerindeki gerinim tensörü' nün bileşenlerinin belirlenerek asal gerinimlerin hesaplanması, ya da doğrudan asal gerinimlerin belirlenmesidir. Gerinim ortamının doğru ifade edilebilmesi için Şekil (3.2) de görülen tensör' ün bileşenlerinin tanımı ve belirlenmesi gerekir.



Şekil 3.2. Gerinim tensör bileşenleri [Alptekin,1990].

Şekil (3.2)'de gerinim için kullanılan rotasyonda ilk indis gerinimin doğrultusunu, ikinci indis ise gerinimin etkilediği yüzeyi belirtir. Örneğin δ_{XZ} bileşeni, x ekseni yönündeki ve z eksenine dik olan düzleme etkiyen gerinimi gösterir. Böylece cisim içindeki herhangi bir O noktasına etkiyen gerinim;

$$\delta = \begin{bmatrix} \delta_{XX} & \delta_{XY} & \delta_{XZ} \\ \delta_{YX} & \delta_{YY} & \delta_{YZ} \\ \delta_{ZX} & \delta_{ZY} & \delta_{ZZ} \end{bmatrix} \qquad (3.19)$$

şeklinde 9 bileşenli bir tensördür. Gerinim bileşenlerinin hepsi birbirinden bağımsız değildirler. Herhangi bir hareket söz konusu olmadığından Şekil 3.2'de göz önüne aldığımız elemanter küp denge durumundadır. Dolayısıyla kübe etkiyen kuvvetlerin

denge halinde olmaları gerekir. Tanımlanan 9 gerinim bileşeninden sadece altısı birbirinden bağımsızdır. Böylece gerinim,

$$\delta = \begin{bmatrix} \delta_{XX} & \delta_{XY} & \delta_{XZ} \\ \delta_{XY} & \delta_{YY} & \delta_{YZ} \\ \delta_{XZ} & \delta_{YZ} & \delta_{ZZ} \end{bmatrix} \tag{3.20}$$

şeklinde yazılabilir. Gerinimin küpün yüzeylerine dik olan δ_{XX}, δ_{YY}, δ_{XX} bileşenleri pozitif iseler çekme gerinimleri (tansions), negatif iseler basınç gerinimleri (pressures) olarak bilinirler. Diğer bileşenler $\delta_{XY}, \delta_{YX}, \delta_{YZ}, \delta_{ZY}, \delta_{XZ}, \delta_{ZX}$ kayma gerinimleri olarak bilinirler [Alptekin,1990].

3.5.1. Jeodezik Verilerden Gerinim (Streyn) Analizi

Bir cismin birim miktarındaki gerinime karşı meydana gelen şekil ve hacim değişmesine streyn (birim deformasyon) denir. Gerinim, bir noktanın komşu noktalara göre yer değiştirme miktarının noktanın başlangıçtaki yeri ile referans noktası arasındaki uzaklığa bölümü şeklinde tanımlanabilir. Yerkabuğundaki gerinimlerin belirlenmesinde jeodezik yöntemlerin kullanımına ilişkin bilinen ilk rapor 75 yıl önce (Terada and Miyabe, 1929; Tsuboi 1930) Japon jeofizikçiler tarafından yayınlanmıştır. Takip eden yıllarda yapılan çalışmalarda gerinim tensörünün veya elemanlarının belirlenmesine yönelik farklı yönelik birçok değişik yöntem bulunmuştur. Gerinim analizi, tekrarlı jeodezik gözlemlerin kinematik analizi için en uygun matematiksel araçtır [Schneider and Vanicek,1991].

Gerinim tensörünün belirlenmesine yönelik uygulanan yöntemler iki farklı metot üzerinde durulmuştur. Bunlar Jeodezik nokta çevresindeki gerinimlerin sonsuz küçük varsayıldığına dayanan metotlar ve sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan metotlar şeklindedir. GPS yöntemi kullanılan uygulamlarda iki boyutlu yatay gerinim tensörü elemanları belirlenmektedir. Bunun nedeni yüksekliğin doğrulukları ile yatay konum doğruluğunun farklı olması ve üç boyutlu gerinim tensörü elemanlarının sayısının çok fazla olmasıdır. Zira Jeodezik ağın tüm

noktalarında bu elemanların belirlenmesi imkânsızdır [Denli,1998], [Aydan,2000], [Demir,1999].

İki boyutlu yatay gerinim tensörü:

$$F = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{xy} & e_{yy} \end{bmatrix} \tag{3.21}$$

olarak ifade edilirse;

e_{xx} = X ekseni doğrultusunda birim uzunlukta meydana gelen değişim (3.22)

e_{xy} = Kesme gerinimi (3.23)

e_{yy} =Y ekseni doğrultusunda birim uzunlukta meydana gelen değişim (3.24)

olarak belirtilebilir.

Ayrıntıları (Denli,1998) ve (Demir,1999)'da belirtilen iki boyutlu lokal bir X (kuzey), Y (doğu) koordinat sisteminde P_1 ve P_2 noktalarını birleştiren ve Y ekseni ile θ_i açısı yapan bir doğrultudaki strain oranı $\Delta S_i = S_i' - S_i$ olmak üzere birim uzunluktaki ε_i değişimi

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta S_i}{\Delta t.S_i} = e_{xx} \sin^2 \theta_i + e_{xy} \sin\ 2\theta_i + e_{yy} \cos^2 \theta_i \tag{3.25}$$

bağıntısı yazılabilir. Eşitlikteki; S_i' değeri Δt süre sonunda değişmiş uzunluğu, S_i değeri ise değişime uğramamış uzunluğu belirtir.

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

$$\underline{V} = \underline{B}.\underline{e} - \underline{\varepsilon} \tag{3.26}$$

şeklinde yazabiliriz.

$$\underline{\varepsilon} + \underline{V} = \underline{B}.\underline{e} \tag{3.27}$$

$$\left[\underline{V}^T \underline{P}\underline{V}\right] = \min \tag{3.28}$$

$$\frac{\partial\left[\underline{V}^T \underline{P}\underline{V}\right]}{\partial e} = 0 \tag{3.29}$$

Burada

$$\underline{\varepsilon}^T = \left[\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 ..., \varepsilon_n\right],$$

$$e^T = \left[e_{xx}, e_{xy}, e_{yy}\right] \tag{3.30}$$

ve

$$\underline{\mathrm{B}} = \begin{bmatrix} \sin^2\theta_1 & \sin 2\theta_1 & \cos^2\theta_1 \\ \sin^2\theta_2 & \sin 2\theta_2 & \cos^2\theta_2 \\ \sin^2\theta_3 & \sin 2\theta_3 & \cos^2\theta_3 \\ . & . & . \\ . & . & . \\ \sin^2\theta_n & \sin 2\theta_n & \cos^2\theta_n \end{bmatrix} \tag{3.31}$$

yazılabilir ki burada n, P noktasının doğrudan ölçülerle bağlı olduğu nokta sayısıdır.

$$\underline{\varepsilon} + \underline{V} = \underline{B}.\underline{e} \tag{3.32}$$

eşitliğinde yerine konularak gösterim;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ . \\ . \\ . \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ . \\ . \\ . \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{Sin}^2\theta_i & \mathrm{Sin}2\theta_i & \mathrm{Cos}^2\theta_i \\ . & . & . \\ . & . & . \\ . & . & . \\ \mathrm{Sin}^2\theta_n & \mathrm{Sin}2\theta_n & \mathrm{Cos}^2\theta_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_{xx} \\ e_{xy} \\ e_{yy} \end{bmatrix} \tag{3.33}$$

şeklinde ortaya çıkar.

$$\underline{\mathrm{D}}_{\varepsilon\varepsilon} = (\underline{\mathrm{D}}_{y1y1} + \underline{\mathrm{D}}_{y2y2}) \tag{3.34}$$

$$\underline{Q}_{\varepsilon\varepsilon} = \frac{\underline{D}_{\varepsilon\varepsilon}}{s_o^2} \tag{3.45}$$

eşitliklerinde $\underline{Q}_{\varepsilon\varepsilon}$, kofaktörler matrisi; $\underline{D}_{y1y1}$ ve $\underline{D}_{y2y2}$, birinci ve ikinci peryod dengelenmiş koordinatlara ait varyans - kovaryans matrisleridir.

$$\underline{e} = (\underline{B}^T \underline{Q}^{-1}_{ee} \underline{B})^{-1} \underline{B}^T \underline{Q}^{-1}_{ee} \underline{\varepsilon} \tag{3.36}$$

çözüm vektörü ve

$$\underline{Q}_{ee} = (\underline{B}^T \underline{Q}^{-1}_{ee} \underline{B})^{-1} \tag{3.37}$$

kofaktörler matrisi bulunur.

Gerinim analizinde yapılan dilatasyon (Δ), kesme gerinimi ($\gamma_{\max}$) ve asal gerinimlerin ($\in_{1,} \in_2$) karşılaştırılmasıdır.

Alan bozulması ..... $\Delta = e_{xx} + e_{yy}$ (3.38)

Toplam kayma ..... $\gamma_{\max} = \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2}$ (3.39)

Maksimum asal gerinim ..... $\in_1 = \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy} + \gamma_{\max})$ (3.40)

Minimum asal gerinim ..... $\in_2 = \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy} - \gamma_{\max})$ (3.41)

denklem eşitlikleriyle gerinim tensörleri chen formüllerine göre hesaplanmış olur.

$\in_1$; maksimum asal gerinimi, $\in_2$; minimum asal gerinimi, Δ; dilatasyon ise alan bozulmasını ifade eder ki koordinat transformasyonlarından etkilenmeyen bir büyüklüktür. En büyük gerinimin doğrultusu;

$$\omega = \frac{e_{xy}}{e_1 - e_{xy}} \tag{3.42}$$

$$\beta = \arctan \omega \tag{3.43}$$

şeklinde bulunmuş olur.

Parametrelerin varyans kovaryans matrisleri ise şu şekilde ifade edilir;

$$\phi = \left[\Delta\gamma_{\max} \ \in_1 \in_2 \ \beta\right] \tag{3.44}$$

çözüm vektörü olmak üzere;

$$\underline{D}_{\phi\phi} = \underline{C}\underline{D}_{ee}\underline{C}^T \tag{3.45}$$

Varyans – kovaryans matrisi olarak bulunmuş olur. Denklemdeki $\underline{D}_{ee}$ bilinmeyen parametreler kofaktörler matrisidir. C matrisinin ifadesi ise;

$$\mathrm{a} = \frac{(e_{xx} - e_{yy})}{\gamma_{\max}} \tag{3.46}$$

$$\mathrm{b} = \frac{4\mathrm{e}_{\mathrm{xy}}}{\gamma_{\max}} \tag{3.47}$$

$$c = \frac{1}{1+k^2} \cdot \frac{k}{\gamma_{\max}} \tag{3.48}$$

$$\mathrm{d} = \frac{1}{1+k^2} \cdot \left(\frac{k}{e_{xy}} - \frac{2k^2}{\gamma_{\max}}\right) \tag{3.49}$$

$$k = \frac{2e_{xy}}{e_{xx} - e_{yy} + \gamma_{\max}} \tag{3.50}$$

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ a & b & -a \\ \frac{1}{2}(1+a) & \frac{1}{2}b & \frac{1}{2}(1-a) \\ \frac{1}{2}(1-a) & -\frac{1}{2}b & \frac{1}{2}(1+a) \\ -c & d & c \end{bmatrix} \tag{3.51}$$

şeklinde bulunmuş olur [Denli,1998].

4. UYGULAMA

4.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Bu uygulamada, Altaş Ambarlı Limanına ilşikin farklı peryot GPS ölçümleri ile deformasyonların analizi yapılmış, GPS kontrol ağlarına ilişkin gerinimler hesaplanmıştır. Şekil (4.1)'de bölgenin uydu görüntüsü üzerinde uygulama verilerinin elde edildiği GPS, inklinometre ve boşluk suyu basıncı ölçme noktaları gösterilmektedir. Bu bölgede değerlendirilen deformasyon amaçlı heyelan izlemesine yönelik Jeodezik ağ, İ.T.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı öğretim üyelerince kurulmuştur.

Altaş Ambarlı liman bölgesindeki jeodezik kontrol ağı noktalarının 5 tanesi hareket etmeyen sağlam zeminli bölgede seçilmiş, diğer 23 tanesi obje noktası olarak düşünülmüştür. GPS ölçmeleri çift frekanslı Leica system 300 donanımıyla statik ölçme şeklinde yapılmıştır. Kullanılan donanım için nominal doğruluk kıstası statik ölçmeler için ± 5 mm ± 1 ppm olarak verilmektedir. Değerlendirilen GPS kampanyaları, Nisan 2002 tarihli 8. periyot ve Ekim 2002 tarihli 10 periyot ölçmeleridir.

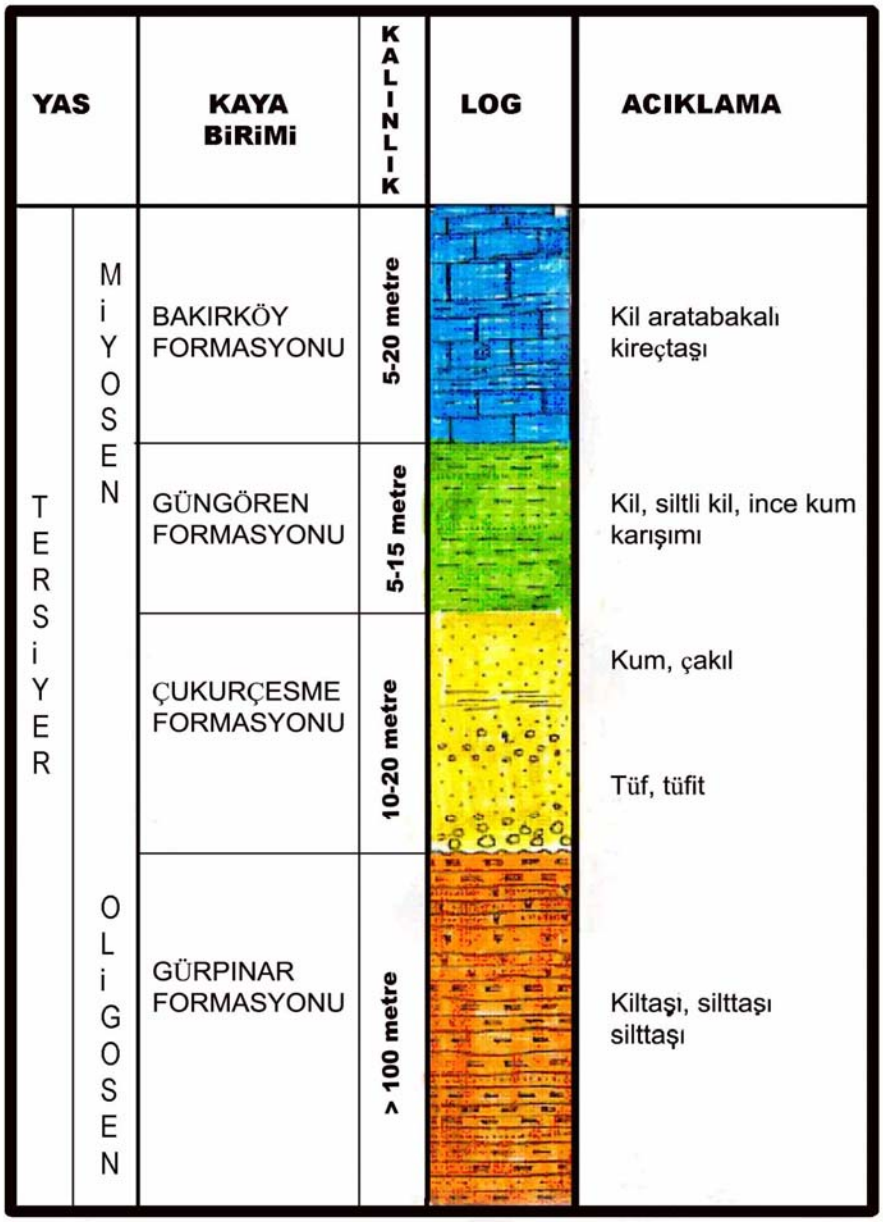
Atlaş- Ambarlı Liman sahasında yatay deformasyonları incelemek amacıyla çeşitli derinliklerde 9 adet inklinometre kuyusu teçhiz edilmiş ve bunlardan aylık okumalar alınmıştır. Bu çalışmada bu kuyulardan GPS ölçme noktalarına yakın olanların sonuçları kullanılmıştır (2a, 4, 6 ve 7 kuyuları).

Bölgedeki boşluk suyu basıncı değerlerini incelediğimiz Piezometre kuyuları 4 tane ve derinlikleri 30 m dir. 2002 yılı itibariyle okuma alınan bir kısmının değerleri uygulamada değerlendirilmiştir.

Şekil 4.1. Ambarlı liman bölgesi ölçme noktaları [Kalkan ve ark.,2003].

4.2. Çalışma Yapılan Bölgenin Genel Jeolojik Yapısı

Bu bölgeye ilişkin İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı (İ.B.B.) Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğünce 2005 yılında yapılan jeolojik-jeoteknik duraylılık etüdü raporlarına göre Şekil (4.2) altta oligomiyosen yaşlı kalın Gürpınar Formasyonu istifi, üzerinde de üç asbirimden kurulu Neojen yaşlı Çekmece Formasyonu'nun tortul tabakaları bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Çalışma yapılan bölgenin jeolojik tabakalanma yapısı [Yüzer ve ark.,2005].

En altta yer alan Gürpınar Formasyonu, güneye, Marmara denizinin açıklarına, doğru kalınlaştığı ve kalınlığının da 500 m'yi aştığı bilinen; tortul kökenli tabakalardan kurulu bir birimdir. Kuzeyden Güneye kalınlaştığı görülen bu birim, eosen marnların örttüğü görülen kuzey kesimde daha çok laminalı kiltaşı, silttaşı ve şeylerden oluşmakta ve özellikle de içerdiği balık fosilleriyle tanınmaktadır. Güney kesimde baskın olarak görülen killer; fisurlu aşırı konsolide olup genelde sert ve kil taşı kıvamında, bazı düzeylerde karbonat topaklı, alacalı renklidir

Gürpınar Formasyonu üzerine açısal bir uyumsuzlukla gelen çukurçeşme formasyonu yüksek enerjili bir akarsu ortamında birikmiştir. Üst düzeylerinde şiddetli bir aşınmaya uğradığı görülmektedir. Bu nedenle kalınlığı değişkendir. İçinde yer yer kil mercekleri, arada ince çimentolu kumtaşı bantları bulunmaktadır. Genel olarak demir oksit ile renklenmiş, sarımsı, bej ve pas rengidir.

Güngören kil birimi olarak tanınan ve yeşilimsi bej renkli bir kil-silt istifinden oluşan ana birim çukurçeşme formasyonundan sonra gelmektedir. Genel olarak yeşil kil, silt ve marnlı kilden oluşmaktadır. Çoğu yerde de 5–20 m arasında değişen kalınlıktadır. Bu kil ince silt bantlı, fissürlü, pekiştirilmiş, kireç konkresyonlu, siyah oksit lekeli alaca renklidir. Yer yer kum-ince çakıl ve kumtaşı bantları ihtiva etmektedir.

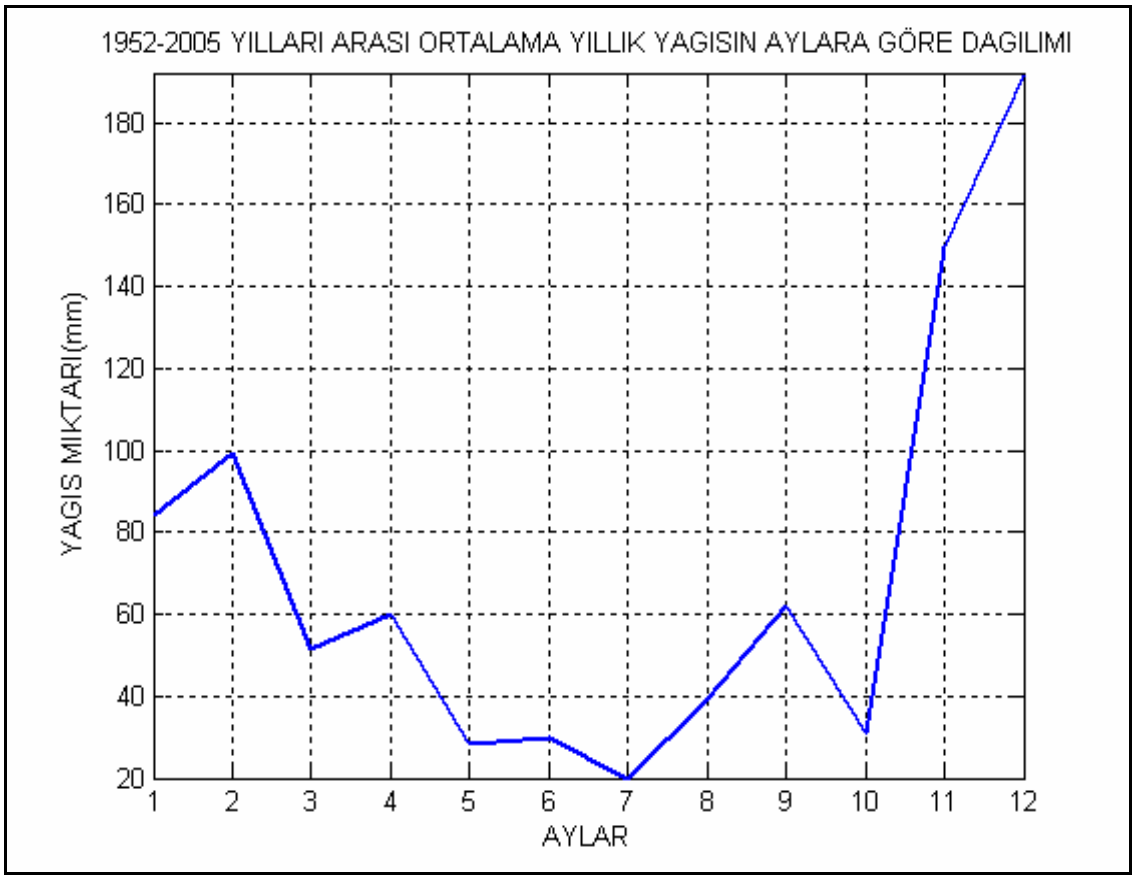
Yer yer istifin tavanını oluşturan Bakırköy formasyonu beyaz-krem renkli, kaba ve düzensiz tabakalı, yumuşaktan-orta serte, yer yer kof ve tebeşirsi, marnlı kireçtaşları ile bununla yanal ve düşey olarak yer değiştiren grimsi yeşil renkli kil tabakalarından kuruludur. Bol fosil katkıları kapsar [Yüzer ve ark.,2005].

Bu sonuçlara göre üç as as birimin yanal olarak birbirine geçişli olduğu ve aralarında kesin sınırların bulunmadığı gözlenmiştir. jeolojik kesitlerde izlenebileceği gibi saha birkaç bin yıl önceden beri bir heyelanlaşmakta olan bir yapı üzerine kuruludur. Heyelan oluşumuna meyilli ve etken bu yapı altta geçirimsiz Gürpınar kili; üzerinde, geçirimli Çukurçeşme kumu; üzerinde, şişme gizili yüksek, geçirimsiz Güngören Kili; tavanda geçirimli nadir Bakırköy kireçtaşı katmanları bulunmaktadır. Kayma yenilmesi genellikle Gürpınar kili içinde olmuştur. Genel

olarak bölgenin genel jeolojik incelemesinde tabakalar arasında kaymaya elverişli bir yapılanma olduğu killenme'nin bu kaymayı kolaylaştırıcı bir etken olarak yer aldığı görülmektedir.

4.3. İnceleme Alanına İlişkin Bölgenin İklim ve Meteorolojik Verileri

Ambarlı Limanı bölgesinde incelenen heyelan hareketini oluşturan en büyük etkenlerden biri de bölgeye düşen yağış miktarıdır. Heyelanlar ve şev kaymalarını tetikleyen en önemli unsur sudur. Heyelanlarda yağışın etkisi özel bir öneme sahiptir. Zemindeki su miktarı boşluk suyu basıncı deneyleriyle belirlenmiştir. Bu periyodik ölçümlerin hangi zamanlarda anlamlı olacağını belirlemek amacıyla inceleme alanına yakın gözlem evleri vasıtasıyla da yağış miktarları temin edilmiştir. İnceleme alanına en yakın meteoroloji gözlem evleri Florya, Büyükçekmece, Çatalca ve Terkos gözlem evleridir. İçlerinde en uzun dönemli gözlem yapılmış 1925 yılında kurulmuş olan Florya gözlem evidir. Yıllık ortalama sıcaklık 13,9 C' tır. Bölgeye ait bulunan gizli buharlaşma terleme, EP 706 mm/yıl; fazla su 243 mm/yıl ve gerçek EP 401,3 mm/yıl'dır. İnceleme alanına düşen su yüzeyde düzensiz biçimde yayılarak akmakta ve yeraltına daha çok süzülmektedir. Florya gözlem evi verilerine göre 1925-2005 yılları arası ortalama yıllık yağış miktarının aylara göre dağılımı Şekil (4.3)'de gösterilmiştir [Yüzer ve ark.,2005].



Şekil 4.3. 1925-2005 yılları arası bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarının aylara göre dağılımı [Yüzer ve ark.,2005].

Genel olarak bölgeye ait Florya gözlemevi meteorolojik verileri değerlendirildiğinde; heyelan alanının mevsimsel özelliklere bağlı olarak su tutma kapasitesinin üzerinde yağış aldığı, jeolojik tabakalanma yapısıyla bölgeye düşen yağış miktarının birleşmesiyle heyelan oluşumuna etken şartlar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kontrolsüz yapılan hafriyatlar, yapılaşma, yüzey suları, mevsimsel yağışlar, sahanın genel jeolojisi ve drenajı konusunda yaşanan problemler sahadaki yüzey heyelanlarını harekete geçirmektedir.

4.4. Çalışma Alanına Ait Ölçmeler

Yapılan çalışmada proje alanında kurulan GPS ölçüm ağından elde edilen sonuçlarla İnklinometre ve Piezometre verilerinin 2002 yılına ait kısmı değerlendirilmiştir.

4.4.1. İnklinometre Verileri

Çalışma bölgesi olan Ambarlı liman sahasında açılan 2A, 4, 6, 7A, 8A, 9, 10, 11, 12, 13, 14 No'lu inklinometre kuyularından 2002 yılına ait elde edilen verilerden GPS noktalarına yakın olan 2a, 4, 6, 7A kuyularının değerleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Deformasyon miktarları mm. olarak verilen Kuzey–Güney ve Doğu–Batı yönlerindeki atım miktarlarıdır. Bu kuyularda (2A, 4, 6, 7A) yüzey heyelanları 1.00 - 40.00 mm arasında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.1. 2002 Yılına ait İnklinometre verileri

Altaş 2A Deformasyon (mm)

	KUZEY-GÜNEY	DOĞU-BATI
Nisan02	1,2	1.3
Tem02	2	3,8
Ekim02	1	2

Altaş 4 toplam deformasyon (mm)

	KUZEY-GÜNEY	DOĞU-BATI
Nis.02	10	10
Haz.02	2,5	2
Tem02	4,8	2,3
Eyl.02	5	12
Ekim02	5	10

Altaş 6 toplam deformasyon (mm)

	KUZEY-GÜNEY	DOĞU-BATI
Nis.02	8	20
Haz.02	5	10
Tem02	3	35
Eyl.02	10	40
Ekim02	10	40

Altaş 7A toplam deformasyon (mm)

	KUZEY-GÜNEY	DOĞU-BATI
Nis.02	28	20
Haz.02	30	38
Ağu.02	40	20
Eyl.02	40	20
Ekim02	40	20

4.4.2. Boşluk Suyu Basıncı (Piezometre) Verileri

2002 yılına ait Ambarlı Liman Bölgesi Boşluk suyu basıncı verileri çizelge (4.2)‘de verilmiştir. En alt tabakaya yerleştirilen sensör SWB4 olup diğerleri sırasıyla yüzeye doğru sıralanmaktadır. Ölçülen değerler boşluk suyu basıncı olup birimi kPa’dır.

Piezometre 2, GPS 12 ve GPS 8 ölçüm noktalarının yakınında yer almaktadır. Ölçülen boşluk suyu basıncı değerleri 274 – 737 kPa arasında gerçekleşmiştir. Bu değişimlerin mevsimsel yağışlara bağlı olduğu düşünülmektedir.

Piezometre 3, GPS 22 ölçüm noktasının yakınında yer almaktadır Bu kuyuda 1000 kPa’ a ulaşan yüksek boşluk suyu basınçları ölçülmüştür. Bu bize sahanın iyi drene olamadığını göstermektedir. Bu çok yüksek boşluk suyu basınç değerleri heyelanları negatif olarak etkileyen değerlerdir. Özellikle yüzeye yakın tabakalar yüksek boşluk suyu basıncına maruz kalmaktadırlar.

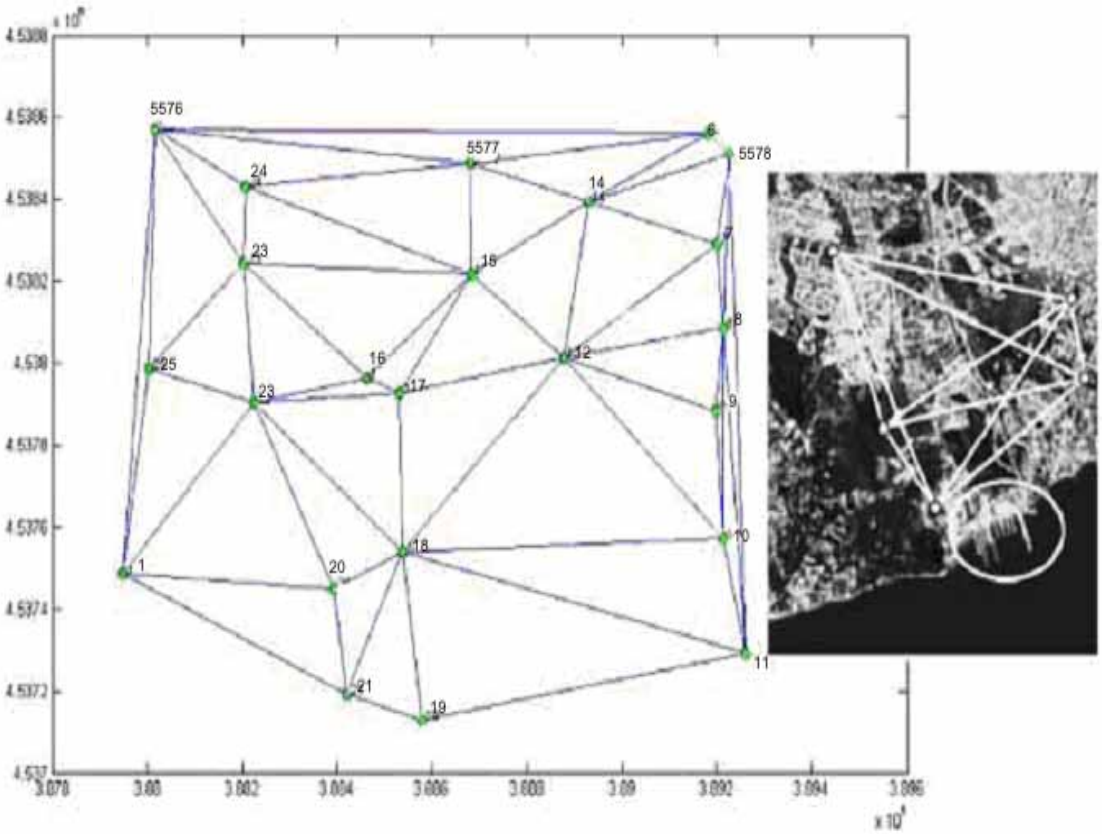
Piezometre 4’te yüksek boşluk suyu basınçları ölçülmüştür (980 kPa). Bu kuyu en büyük maksimum asal gerinim sonuçlarının bulunduğu GPS 24 noktası yakınında yer almaktadır. Temmuz 2002 okumasında alt tabakalarda yüksek boşluk suyu basınç azalımı gözlenmiş, diğer sensörlerde çok az miktarda boşluk suyu basınç artışı söz konusu olmuştur. Ağustos ayında tüm sensörlerde azalım görülmektedir.

Çizelge 4.2. Piezometre verileri

Piezometre 2	**SENSÖRLER**			
	SWB1	SWB2	SWB3	SWB4
Şub.02	290	400	735	505
Mar.02	280	390	720	500
Nis.02	275	380	725	510
May.02	270	370	710	480
Haz.02	275	370	710	475
Tem.02	280	380	702	490
Ağu.02	275	375	702	480
Eyl.02	272	380	705	475
Eki.02	275	385	712	490
Kas.02	270	375	720	488
Ara.02	285	380	730	490
Piezometre 3				
	SWB1	SWB2	SWB3	SWB4
Şub.02	980	826	480	185
Mar.02	990	830	500	200
Nis.02	998	820	475	195
May.02	980	840	476	205
Haz.02	970	870	495	200
Tem.02	1000	880	510	200
Ağu.02	990	850	502	198
Eyl.02	990	850	500	198
Eki.02	1000	870	520	200
Kas.02	993	880	518	200
Ara.02	995	882	522	207
Piezometre 4				
	SWB1	SWB2	SWB3	SWB4
May.02	450	420	590	980
Haz.02	430	418	515	900
Tem.02	515	470	510	760
Ağu.02	510	420	500	750
Eyl.02	510	420	500	755
Eki.02	510	420	500	760
Kas.02	510	420	500	760
Ara.02	512	420	510	770

4.4.3. GPS Verileri

Ambarlı ALTAŞ Limanı projesi kapsamında tesis edilen GPS noktalarından oluşmuş kontrol ağında periyodik ölçmeler yapılmış bu ölçümlerden 2002 yılına ait olanları incelenmiştir. Bu doğrultuda öncelikle jeolojik ve geoteknik etütlerle sağlam olduğu belirlenmiş zeminlerde ve deformasyon alanının dışında 5 nokta seçilmiş ve böylelikle çalışmanın referans ağı oluşturulmuştur. Şekil (4.4) Buna ilave olarak çalışma alanının hareket beklenen kısımlarında seçilmiş 23 obje (deformasyon) noktası Şekil (4.4) ile birlikte toplam 28 noktalı bir deformasyon ağı oluşturulmuştur. Ölçmelerde çift frekanslı Leica System-300 GPS alıcıları kullanılmıştır. Obje noktalarında en az 20 dakika süreyle ölçmeler yapılmıştır. Kullanılan GPS donanımına ait nominal doğruluk ölçütü statik ölçmeler için ± 5mm ± 1 ppm olarak verilmiştir [Kalkan ve ark.,2003], [http://www.colorado.edu,2006].

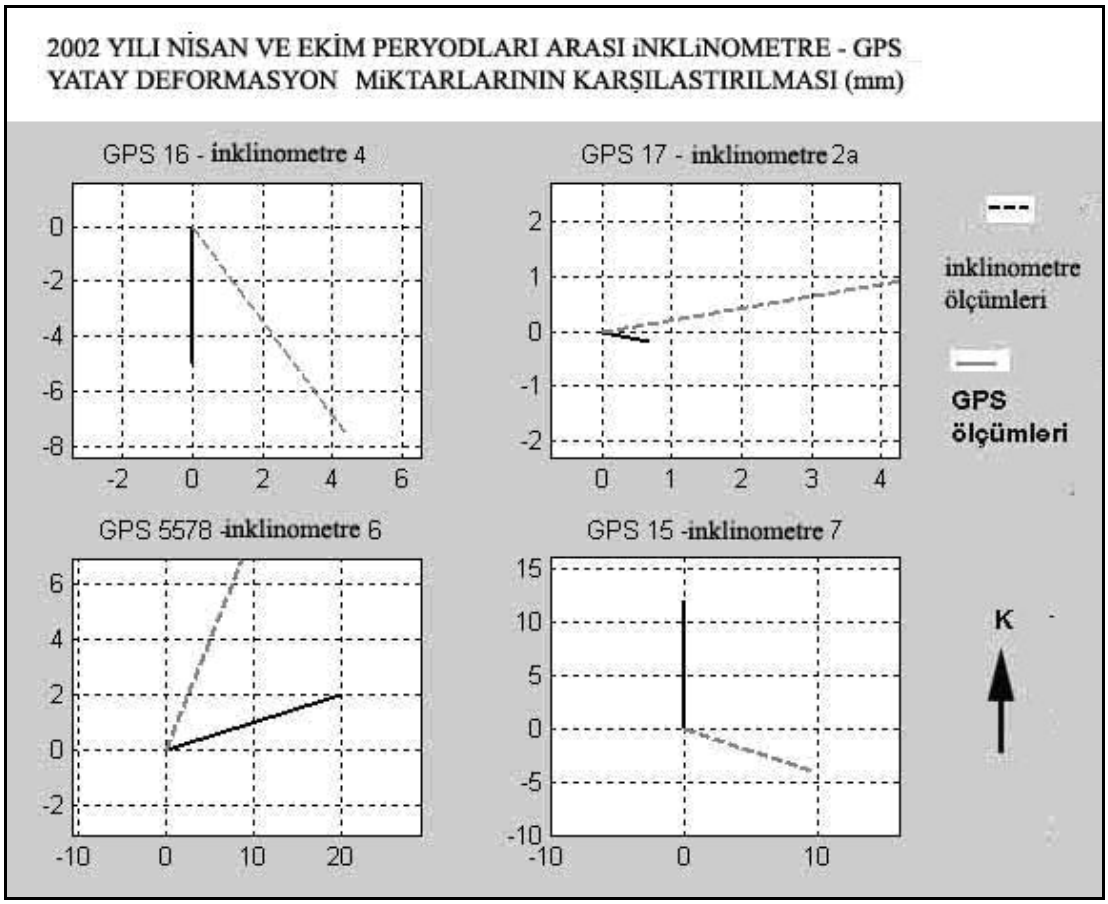


Şekil 4.4. Heyelan izlemesi yapılan bölge, GPS referans ağı ve obje noktalarından oluşan deformasyon ağı [Kalkan ve ark.,2003].

Ambarlı GPS deformasyon ağı'nda yer alan obje noktalarının Nisan 2002 (peryod 8), Ekim 2002 (peryod 10) ölçümlerinden elde edilen düzlem koordinatları çizelge (4.3) 'de verilmiştir.

Çizelge 4.3., GPS (2002) verileri

GPS ÖLÇÜM NOKTALARI	8. PERYOT ÖLÇÜLERİ			10. PERYOT ÖLÇÜLERİ	
	X (m)	Y (m)		X(m)	Y (m)
1	4537486.6777	387949.5605		4537486.6664	387949.5682
6	4538560.5870	389182.3983		4538560.5732	389182.4014
7	4538289.8682	389200.2415		4538289.8589	389200.2436
8	4538088.5872	389212.3884		4538088.5721	389212.4009
9	4537884.0066	389196.8681		4537884.0110	389196.8698
10	4537574.1782	389213.9245		4537574.1663	389213.9254
11	4537292.1246	389261.9483		4537292.1194	389261.9535
12	4538013.7100	388877.7812		4538013.7013	388877.7851
14	4538394.9502	388930.1167		4538394.9413	388930.1154
15	4538216.3754	388682.7558		4538216.3714	388682.7650
16	4537964.9833	388463.1960		4537964.9757	388463.2004
17	4537927.1275	388531.6432		4537927.1287	388531.6488
18	4537540.9373	388538.6639		4537540.9342	388538.6623
19	4537130.1960	388578.4442		4537130.1856	388578.4443
20	4537447.7893	388393.2372		4537447.7844	388393.2416
21	4537192.3052	388420.8376		4537192.2966	388420.8496
22	4537902.1749	388224.4057		4537902.1657	388224.4079
23	4538242.4033	388203.2544		4538242.3985	388203.2341
24	4538431.9665	388205.8218		4538431.8975	388205.8406
25	4537987.7286	388003.9663		4537987.7327	388003.9670
5576	4538572.0886	388016.9063		4538572.0879	388016.9117
5577	4538489.2349	388681.8433		4538489.2328	388681.8680
5578	4538511.7927	389226.4992		4538511.8358	389226.5532



Şekil 4.5. Aynı zaman aralığına (2002 yılı) ait; GPS ve İnklinometre ölçümleri yatay deformasyon miktarlarının karşılaştırılması.

Şekil (4.5)'te İnklinometre kuyularından 2A, 4, 6 ve 7' nin nisan ve eylül 2002 tarihlerine ait yatay deformasyon miktarları ile bu kuyulara yakın bölgelerdeki 15, 16, 17, 5578 no'lu GPS ölçüm noktalarının aynı tarihlere ait yatay deformasyon miktarları karşılaştırılmıştır. Her iki ölçme yönteminde de yatay deformasyonların aynı yönlerde gelişmiş olması farklı ölçüm yöntemlerinin birbirini desteklediğini göstermektedir. Ölçüm miktarlarında görülen farkların GPS noktalarının istinat duvarı yada sağlam zeminde olması, İnklinometre kuyularıyla GPS noktalarının yan yana olmadığından lokasyon farkı gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.4.4. Gerinim Analiz Sonuçları

Ambarlı heyelan bölgesindeki GPS deformasyon ağı'nda yer alan obje noktalarından hesaplanan gerinim parametrelerinin sayısal değerleri Çizelge (4.4)'te

verilmiştir. Gerinim parametreleri (E1, E2) gerinim/6 ay, toplam kayma grad/6 ay ve maksimum gerinimin doğrultusu (derece) olarak verilmektedir.

Çizelge 4.4. Gerinim parametrelerinin sayısal değerleri.

Nokta	**1**	**Nokta**	**6**
E1	15.71 x10^{-6}	E1	27.11 x10^{-6}
E2	-23.12 x10^{-6}	E2	7.9 x10^{-6}
Max_ger_doğ.	63.21	Max_ger_doğ.	-13.63
Alan_bozulması	-74.14 x 10^{-6}	Alan_bozulması	3.5 x10^{-6}
Toplam kayma	38.84 x10^{-6}	Toplam kayma	192.07 x10^{-6}

Nokta	**7**	**Nokta**	**8**
E1	51.71 x10^{-6}	E1	29.82 x10^{-6}
E2	-136.00 x10^{-6}	E2	-54.35 x10^{-6}
Max_ger_doğ.	71.30	Max_ger_doğ.	91.55
Alan_bozulması	-84.29 x10^{-6}	Alan_bozulması	-24.52 x10^{-6}
Toplam kayma	187.7 x10^{-6}	Toplam kayma	84.18 x10^{-6}

Nokta	**9**	**Nokta**	**10**
E1	19.20 x10^{-6}	E1	1.89 x10^{-6}
E2	22.81 x10^{-6}	E2	-6.07x10^{-6}
Max_ger_doğ.	-11.34	Max_ger_doğ.	103.38
Alan_bozulması	21.48 x10^{-6}	Alan_bozulması	-4.18 x10^{-6}
Toplam kayma	16.92 x10^{-6}	Toplam kayma	7.97 x10^{-6}

Nokta	**11**	**Nokta**	**12**
E1	0.87 x10^{-6}	E1	5.02 x10^{-6}
E2	-8.71 x10^{-6}	E2	9.94 x10^{-8}
Max_ger_doğ.	113.40	Max_ger_doğ.	-17.92
Alan_bozulması	7.84 x10^{-6}	Alan_bozulması	5.12 x10^{-6}
Toplam kayma	9.59 x10^{-6}	Toplam kayma	4.92 x10^{-6}

Nokta	**14**	**Nokta**	**15**
E1	29.56 x10^{-6}	E1	11.32 x10^{-6}
E2	-0.96 x10^{-6}	E2	-1.78 x10^{-6}
Max_ger_doğ.	-17.58	Max_ger_doğ.	-19.74
Alan_bozulması	30.52 x10^{-6}	Alan_bozulması	9.53 x10^{-6}
Toplam kayma	28.59 x10^{-6}	Toplam kayma	13.10 x10^{-6}

Çizelge 4.4. Gerinim parametrelerinin sayısal değerleri (Devamı)

Nokta	**16**	**Nokta**	**17**
E1	-29.36 x10^{-8}	E1	13.29 x10^{-6}
E2	-9.180 x10^{-6}	E2	65.47 x10^{-8}
Max_ger_doğ.	-49.640	Max_ger_doğ.	-15.78
Alan bozulması	-9.47 x10^{-6}	Alan_bozulması	13.94 x10^{-6}
Toplam kayma	8.88 x10^{-6}	Toplam kayma	12.64 x10^{-6}

Nokta	**18**	**Nokta**	**19**
E1	8.710 x10^{-6}	E1	22.16 x10^{-6}
E2	-8.78 x10^{-6}	E2	-12.13 x10^{-6}
Max_ger_doğ.	62.07	Max_ger_doğ.	-12.85
Alan_bozulması	-7.59 x10^{-8}	Alan_bozulması	10.025 x10^{-6}
Toplam kayma	17.49 x10^{-6}	Toplam kayma	34.30x10^{-6}

Nokta	**20**	**Nokta**	**21**
E1	19.36 x10^{-6}	E1	33.67 x10^{-6}
E2	-15.56 x10^{-6}	E2	-17.68 x10^{-6}
Max_ger_doğ.	72.66	Max_ger_dog	23.79
Alan_bozulması	3.79 x10^{-6}	Alan_bozulması	15.98 x10^{-6}
Toplam kayma	34.93 x10^{-6}	Toplam kayma	51.35 x10^{-6}

Nokta	**22**	**Nokta**	**23**
E1	1.76 x10^{-6}	E1	38.54 x10^{-6}
E2	-13.60 x10^{-6}	E2	-31.71 x10^{-6}
Max_ger_doğ.	-28.73	Max_ger_dog	58.76
Alan_bozulması	-11.83 x10^{-6}	Alan_bozulması	6.83 x10^{-6}
Toplam kayma	15.36 x10^{-6}	Toplam kayma	70.25 x10^{-6}

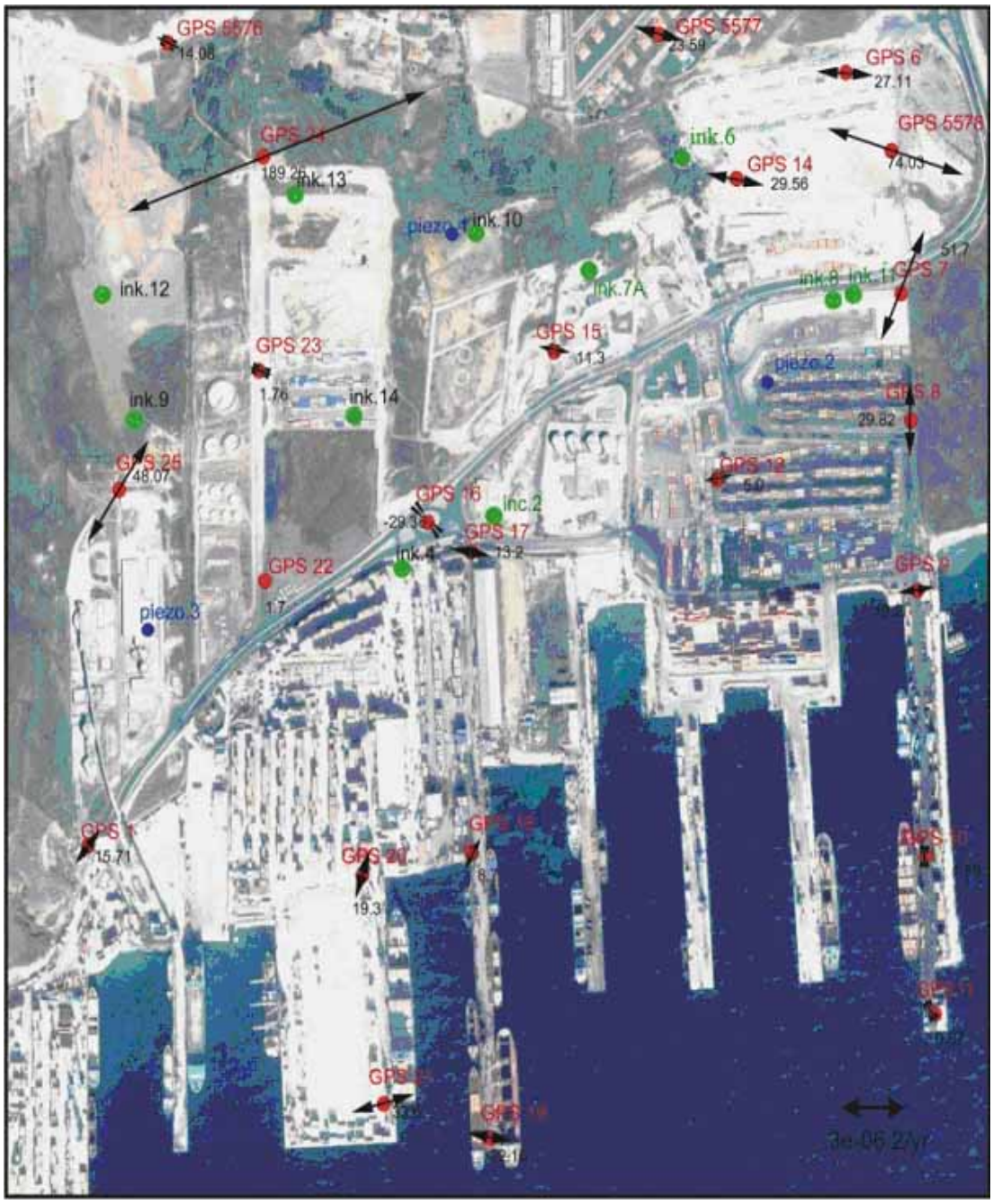
Nokta	**24**	**Nokta**	**25**
E1	189.26 x10^{-6}	E1	48.07 x10^{-6}
E2	-67.79 x10^{-6}	E2	-17.65 x10^{-6}
Max_ger_doğ.	31.06	Max_ger_doğ.	64.34
Alan_bozulması	121.48 x10^{-6}	Alan_bozulması	30.41 x10^{-6}
Toplam kayma	257.04 x10^{-6}	Toplam kayma	65.72 x10^{-6}

Nokta	**5576**	**Nokta**	**5577**
E1	14.08 x10^{-6}	E1	23.59 x10^{-6}
E2	-29.46 x10^{-6}	E2	-24.81 x10^{-6}
Max_ger_doğ.	-30.11	Max_ger_doğ.	-26.29
Alan_bozulması	-15.37x10^{-6}	Alan_bozulması	-1.21x10^{-6}
Toplam kayma	43.54x 10^{-6}	Toplam kayma	48.40 x10^{-6}

Çizelge 4.4. Gerinim parametrelerinin sayısal değerleri (Devamı)

Nokta	**5578**
E1	74.03 x10^{-6}
E2	-310.95 x10^{-6}
Max_ger_doğ	-35.82
Alan_bozulması	-236.98 x10^{-6}
Toplam kayma	384.98 x10^{-6}

Asal gerinim parametreleri pozitif yada negatif değerler alabilir. Pozitif değer ilgili doğrultudaki genişlemeyi negatif değere ise sıkışmayı belirtir. Her iki değer pozitif ise gerinim eliptik; Biri pozitif, diğeri negatif ise iki bölümlü hiperbol; İkiside negatif ise sanal elips biçimlidir. Gerinim analizindeki Alan Bozulmasının negatif çıkması alanın küçüldüğü, pozitif çıkması ise alanın genişlediği anlamını verir. Buna göre bölgedeki noktaların genelinde maksimum asal gerinimde bir genişleme görülürken alan bozulmaları yer yer genişlemeleri ve daralmaları ifade etmektedir. Bu da heyelanın karakteristiği bakımından arazinin genelinde farklı yönlü ve parçalı kaymaları göstermektedir. Gerinim analizindeki sonuçlarda Alan bozulma miktarının en fazla görüldüğü dolayısıyla yer genişlemesinin en çok gerçekleştiği noktalardan olan 24 no'lu GPS noktasıdır. Bu noktaya komşu inklinometre noktasında da en büyük yatay deformasyon miktarı tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Asal gerinim sonuçlarının grafik gösterimi

Çizelge (4.4)'te verilen gerinim parametrelerinden maksimum asal gerinim sonuçlarının rakamsal ve grafik olarak uygulama yapılan bölge üzerinde gösterilişi şekil (4.6) ' da verilmiştir. Grafik gösterimde de en yüksek maksimum asal gerinim olduğu noktanın 24 no'lu GPS noktası olduğu bu noktayı sırasıyla 5578, 7 ve 25 no'lu GPS noktalarının izlediği görülmektedir.

5. SONUÇ

Yerküre üzerindeki yapıların çeşitli etkiler altında zamanla değişime uğramasıyla deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. Deformasyonların oluşumunda en önemli etkenlerden birisi de heyelanlardır. Doğal afetler içinde önemli bir yer tutan heyelanlar, Dünyada ve Türkiyede önemli ölçüde can ve mal kaybına yol açan doğal olaylardır. Türkiye'nin birçok bölgesinde heyelanlar meydana gelmektedir. Heyelanlar gerek bina, yol, baraj, köprü ve liman gibi çeşitli mühendislik yapılarında, gerekse bunların çevresinde önemli derecede zararlara yol açabilmektedirler. Bu nedenlerden dolayı heyelan izleme çalışmaları büyük bir önem kazanmaktadır.

Bu tezde Yakuplu ilçesi Altaş Ambarlı Limanı bölgesindeki heyelan incelenmiştir. Bölgeye ait İ.T.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri bölümü elemanlarınca kurulan 28 noktalı GPS kontrol ağı verileri ile İnklinometre, ve Boşluk Suyu Basıncı verileri değerlendirilmiştir. 2002 yılına ait jeodezik ve geoteknik veriler üzerinde yapılan uygulamada verilerin uyumluluğu karşılaştırılmıştır.

- İnklinometre kuyularından alınan ölçümlerle bölgedeki heyelana ait yatay deformasyon ölçümleri belirlenmiştir. İnklinometre kuyularında yüzey heyelanlarının 2A, 4, 6, 7A kuyularında 1.00 mm ile 40.00 mm'ler arasında oluştuğu tespit edilmiştir. Birbirine yakın noktalardaki GPS ve inklinometre ölçme noktalarından elde edilen sonuçların birbirleriyle uyuştuğu; farklı ölçme yöntemleriyle yapılan çözümlemelerin birbirini desteklediği tespit edilmiştir.

- GPS ile inceleme alanına ait 2002 yılı 8. ve 10. peryod ölçüleri iki boyutlu jeodezik ağ üzerinde değerlendirilmiştir. Bu amaçla farklı zaman peryodlarında ölçülen ağlarda datum birliği sağlanması amacıyla S-transformayonu açıklanmıştır. Daha sonra gerinim tensör elemanlarının tanımları yapılmıştır. Bölgedeki gerinim ölçümüyle o yerde ölçülen eksen yönlerindeki gerinim tensörü'nün bileşenleri belirlenerek; maksimum asal gerinim, minimum asal gerinim, maksimum asal gerinimin doğrultusu, alan bozulması ve toplam kayma değerleri geliştirilen bir MATLAB programı ile hesaplanmıştır. Bu uygulamada sayısal değerler olarak bulunan gerinim parametreleri GPS sonuçlarından ortaya çıkılarak iki boyutlu bir ağ

sistematiğinde ortaya konulmuştur. Bölgedeki ortalama maximum asal gerinim miktarı 28.23 x 10^{-6} gerinim/6ay, minumum asal gerinim miktarı -30.06 x 10^{-6} gerinim/6ay olarak bulunmuştur. Maksimum ve minumum asal gerinim parametreleri ile maksimum asal gerinimler bölgede anlamlı gerinim birikiminin olduğunu ortaya koymakta ve bölgenin bir heyelan karmaşığı olduğunu desteklemektedir.

- Heyelanların muhtemel zararlarının azaltılması, önlenmesi ve izlenmesi yönündeki çalışmalar dünyada olduğu gibi ülkemizde de büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde yetersiz araştırma ve plansız yapılaşma sonucu riskli bölgelerde yerleşim alanları kurulmuş, sanayi bölgeleri tesis edilmiştir. Bu ve benzeri bölgelerde yapılacak jeodezik çalışmalarla ilgili bölgelerin risk faktörleri belirlenmeli ve gerekli tedbirler alınmalıdır

KAYNAKLAR

[1] Alacantara and Ayala, I., Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. Geomorphology, 47 (2-4), 107-124, 2002.

[2] Alptekin, Ö., Elastik Dalga Yayınımı Ders Notları, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1990.

[3] Aydan,Ö., GPS Ölçümlerine Dayanarak Türkiye'nin Yıllık Birim Deformasyon Ve Gerinim Hızı Dağılımının İrdelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 22 sayfa, (21-31), 2000.

[4] Bayata, H.F., GPS ile Deformasyon Analizi. Gebze Yüksek teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2002.

[5] Demir, C., Kuzey Anadolu Fay Zonu Batı Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerinim Birikiminin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1999.

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

[7] Hill, C.D., and Sippel, K.D., Modern Deformation Monitoring: A Multi Sensor Approach, Proc. Of 12th FIG Int. Symp. Deformation Measurements, Washington, DC, USA., 2002.

[8] Kalkan, Y., Baykal O., Alkan R.M.; Yanalak, M., Tarı, E., Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışmaları, İTÜ, Teknik Rapor, İstanbul, 2001-A, 2001-B,

[9] Kalkan, Y., Baykal O., Alkan R.M., Yanalak, M., Tarı, E., ve Erden T. Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması, Teknik Rapor, İstanbul, İTÜ, Geliştirme Vakfı AR-GE İşletmesi, 2003.

[10] Kalkan, Y., Baykal O., Alkan R.M., Yanalak, M., and Erden, T., Deformation Monitoring with Geodetic and Geotechnical Methods:A Case Study in Ambarlı Region, International Symposium on GIS, İstanbul, Turkey., September 23-26, 2002.

[11] Öztürk, K., Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 2 (2002), Sayfa, (35-50),2002.

[12] Schneider, D., Vanicek, P., A New Look at the U.S. Gololological Survey 1970-1980 Horizontal Crustal Deformation Data Around Hollister, California, Journal of Geophysical Research, Vol.96, No. B13, Pages (21641-21657), 1991.

[13] Tatar, O., Gürsoy, H., Koçbulut, F., Mesci, B.L., Aktif Fay zonları ve Heyelanlar:17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar) Heyelanı, Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi Sayı. 941, 2005.

[14] Terzi, U.N., ve Selçuk, M.E., YASS'nin Drenaj Hendekleri İle Düşürülmesinin Bir Şev Duraylılığı Örneğinde İncelenmesi, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi. İstanbul Sayfa.(467-473), 2005.

[15] URL Blue GPS şirketi Web Sayfası, www.bluegps.tripod.com, 2006.

[16] URL Colorado Üniversitesi Web Sayfası, http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html, 2006.

[17] URL Sis Geo Web Sayfası http://www.sisgeo.it/default.asp?idlingua=2, 2006.

[18] URL E-Coğrafya Web Sayfası, Heyelan.
http://www.e-cografya.com/fiziki/afetler/jeolojik/heyelan.html, 2006.

[19] URL Bayındırlık ve İskan Bakanlığı web sayfası, Heyelan
http://www.bayindirlik.gov.tr/ turkce/dosya/heyelan.pdf, 2006.

[20] Yüzer, E., Güler, E., Eyidoğan, H., Gürbüz. C., Öngür. T., Osmanoğlu. U., Oran, S., Bingöl, H., İstanbul Avcılar İlçesi Ambarlı Mahallesi güneyindeki Zemin Hareketlerine Yönelik (Ayrıntılı Jeolojik-Jeoteknik) Duraylılık Etüdü Cilt 1 ELC Group Mühendislik ve Müşavirlik Ltd.Şti., 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf KIRANLIOĞLU, 25.11.1974 tarihinde İstanbul'da dünyaya gelmiştir. İlköğrenimini Emin Ali Yaşin İlkokulunda, orta öğrenimini Yedikule Lisesinde tamamladıktan sonra Pertevniyal Lisesini bitirmiştir. İstanbul Üniversitesi Tıbbi Laboratuar Ön Lisans Bölümünü ve İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünü tamamlayan Yusuf KIRANLIOĞLU halen İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesinde mühendis kadrosunda görev yapmaktadır.

Yusuf KIRANLIOĞLU'na ulaşabilmek için;

Email:
ykiranlioglu@yahoo.com