



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



DÜŞEY YÖNDEKİ DEFORMASYONLARIN
KİNEMATİK MODELLE BELİRLENMESİ:
ERMENEK BARAJI ÖRNEĞİ

Recep İBAOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Recep İBAOĞLU tarafından hazırlanan “Düşey Yöndeki Deformasyonların Kinematik Modelle Belirlenmesi: Ermenek Barajı Örneği” adlı tez çalışması 14/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

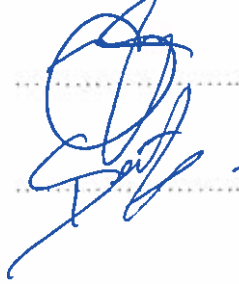
Başkan-Danışman
Prof. Dr. Cevat İNAL

Üye
Doç. Dr. Tamer BAYBURA

Üye
Doç. Dr. Serkan DOĞANALP

İmza





Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Recep İBAOĞLU

Tarih:14/06/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜŞEY YÖNDEKİ DEFORMASYONLARIN KİNEMATİK MODELLE BELİRLENMESİ: ERMENEK BARAJI ÖRNEĞİ

Recep İBAOĞLU

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cevat İNAL

2019, 51 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Cevat İNAL
Doç. Dr. Tamer BAYBURA
Doç. Dr. Serkan DOĞANALP

Yapılarda, makine tesislerinde ve yer kabuğunda kalıcı ya da geçici etkiler altında oluşan şekil değişimlerine deformasyon adı verilir. Deformasyonlar, şekil değişimlerinin yapısına göre kalıcı ve elastiki olmak üzere ikiye ayrılırlar. Deformasyonlar, zamana ve koşullara bağlı olarak oluşur. Bu değişimlerin belirlenmesi için yapılan ölçümlere “Deformasyon Ölçmeleri”, bu ölçülerin değerlendirilip, yorumlanması işlemine de “Deformasyon Ölçülerinin Analizi” denilmektedir. Deformasyon ölçülerinin analizinin yapılabilmesi amacıyla Statik, Dinamik ve Kinematik modeller olarak farklı modeller geliştirilmiştir. Kinematik modelde deformasyon analizi 1960 yılında Rudolf Kalman tarafından geliştirilen Kalman filtreleme yöntemi ile yapılabilmekte ve bu yöntem birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Ermenek barajındaki düşey yöndeki hareketleri belirlemek için 12 tane obje 2 tane referans olmak üzere toplam 14 noktadan oluşan bir yükseklik ağı oluşturulmuştur. Noktalar arasındaki yükseklik farkları hassas nivelmanla belirlenmiştir. Deformasyon analizinde Aralık 2010, Aralık 2011, Mayıs 2012, Temmuz 2012, Mart 2013 ve Şubat 2014 tarihlerinde yapılan altı periyot ölçü kullanılmıştır. Barajın kreti üzerinde oluşturulan nivelman ağının statik modelde deformasyon analizi S- transformasyonu yardımıyla, kinematik modelde deformasyon analizi ise Kalman filtreleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ermenek Barajı, Kalman Filtreleme Yöntemi, Kinematik Model, Statik Model, S-transformasyonu

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF VERTICAL DEFORMATIONS WITH KINEMATIC MODEL: THE CASE OF ERMENEK DAM

Recep IBAOGLU

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Cevat INAL

2019, 51 Pages

Jury

Prof. Dr. Cevat INAL

Assoc. Prof. Dr. Tamer BAYBURA

Assoc. Prof. Dr. Serkan DOGANALP

The shape variations that occur under the permanent or temporary effects in the structures, machine facilities and earth's crust are called deformation. Deformations, according to the structure of the shape variations are divided into permanent and elastic. Deformations occur depending on time and conditions. Measurements to determine these variations are called as "Deformation Measurements". The evaluation of these measurements and interpretation of the results are also called as "Analysis of Deformation Measurements". Different models have been developed as static, dynamic and kinematic models in order to analyze deformation measurements. In the kinematic model, deformation analysis can be done by Kalman filtering method developed by Rudolf Kalman in 1960 and this method is used in many fields.

In this study, a levelling network of 14 points, 12 of which are object and 2 reference, were established in order to determine the vertical deformations in Ermenek dam. The height differences between the points are determined by precise levelling. In the deformation analysis, six epochs measurements, which were carried out in December 2010, December 2011, May 2012, July 2012, March 2013 and February 2014, were used. The deformation analysis of the levelling network established on the crest of the dam was carried out by S-transformation in the static model and by Kalman filtering method in the kinematic model. The results obtained from both methods were compared and the results were found to be compatible with each other.

Keywords: Ermenek Dam, Kalman Filtering Method, Kinematic Model, Static Model, S-transformation

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübeleriyle bana yol göstererek maddi, manevi destekte bulunan sayın danışman hocam Prof. Dr. Cevat İNAL'a, yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Arş. Gör. Sercan BÜLBÜL ile Arş. Gör. Burhaneddin BİLGİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Recep İBAOĞLU
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. DEFORMASYON ÖLÇMELERİ	7
2.1. Deformasyonların nedenleri, oluşumu ve sınıflandırılması.....	7
2.2. Kalıcı Deformasyonlar	8
2.3. Elastiki Deformasyonlar	9
2.4. Deformasyon Ölçme Yöntemleri.....	9
3. DEFORMASYON MODELLERİ	10
3.1. Statik Model.....	10
3.2. Kinematik Model	11
3.2.1. Kinematik yüzey modeli	12
3.2.2. Genelleştirilmiş kinematik modeller.....	12
3.2.3. Kinematik tek nokta modeli.....	12
3.2.3.1. Kinematik tek nokta modeli I	13
3.2.3.2. Kinematik tek nokta modeli II	13
3.2.3.3. Kinematik tek nokta modeli III.....	14
3.2.3.4. Kalman filtreleme yöntemi	14
3.2.3.5. Kinematik tek nokta modeli IV	15
3.3. Dinamik Model	15
4. S TRANSFORMASYONU İLE DEFORMASYON ANALİZİ	16
4.1. S Transformasyonu Yardımıyla Anlamlı Nokta Hareketlerinin Araştırılması	18
5. KALMAN FİLTRELEME YÖNTEMİ İLE DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ	20
5.1. Kalman Filtreleme ile Analiz Aşamaları	20
5.1.1. Kalman filtreleme yönteminin global testi	22
5.1.2. Hareket parametrelerinin anlamlılık testi	23
5.2. Kalman filtreleme yönteminde başlangıç periyodunda yapılacak işlemler	23

5.2.1. Sıfır periyodu (t_0) değerlendirilmesi	24
5.2.2. Birinci periyodun (t_1) değerlendirilmesi	24
5.2.3. İkinci periyodun (t_2) değerlendirilmesi	26
6. UYGULAMA	27
6.1. Çalışma Alanı	27
6.2. Ermenek Barajında Yapılan Deformasyon Ölçüleri ve Analizi	31
7. SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	50



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

\hat{Y}_{k-1}	Durum vektörü
$Q_{\hat{y}\hat{y},k-1}$	Durum vektörünün ters ağırlık matrisi
l_k	Küçültülmüş gözlem vektörü
$Q_{ll,k}$	Küçültülmüş gözlem vektörünün ters ağırlık matrisi
A_H	Katsayılar matrisi
T	Dönüştürme matrisi
S	Bozucu etkiler matrisi
$Q_{a,a}$	Bozucu ivmelerin ters ağırlık matrisi
\bar{Y}_k	Prediksiyonla kazanılan durum vektörü
$Q_{\bar{y}\bar{y},k}$	Prediksiyonla kazanılan ters ağırlık matrisi
Q_{ss}	Bozucu etkilerin ters ağırlık matrisi
$Q_{yy,k}$	Prediksiyonla kazanılan bozulmuş durum vektörünün ters ağırlık matrisi
D	Yeğnimenin ters ağırlık matrisi
K	Kazanç (Kuvvetlendirme) matrisi
d_k	Yeğnime
\hat{Y}_k	Yeni durum vektörü
$Q_{yy,k}$	y_k 'nin ters ağırlık matrisi
$v_{y,k}$	Prediksiyonla kazanılan durum vektörü y_k 'nin düzeltmeleri
$v_{l,k}$	Ölçü vektörü l_k 'nin düzeltmeleri
$Q_{vy,vy}$	v_y nin ters ağırlık matrisi
$Q_{vl,vl}$	v_l nin ters ağırlık matrisi
s_0^2	Birim ağırlığın varyansı

Kısaltmalar

GIPSY/OASIS	GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software package
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System 1980
ITRF2005	International Terrestrial Reference Frame-2005
KRDAE	Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
1D	Bir boyutlu
2D	İki boyutlu
3D	Üç boyutlu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Deformasyonların sınıflandırılması.....	7
Şekil 3.1. Deformasyon modellerinin sınıflandırılması.....	10
Şekil 5.1. Kalman filtresi genel aşamaları.....	20
Şekil 6.1. Ermenek barajı lokasyonu	27
Şekil 6.2. Baraj ve hes projesi genel yerleşimi.....	27
Şekil 6.3. Baraj inşaatı şantiye alanı ve baraj gövdesi genel görünümü.....	28
Şekil 6.4. Baraj gövde inşaatının mansap tarafından görünümü.....	29
Şekil 6.5. Baraj gövdesi mansap tarafı zeminden görünümü.....	30
Şekil 6.6. Gövde betonu dökme projesi.....	31
Şekil 6.7. Baraj gövdesinde tesis edilecek obje noktalarının konumlarına ve sayılarına ilişkin tanımlayıcı bilgiler	32
Şekil 6.8. Baraj kreti ve memba tarafındaki obje noktalarının dağılımı.....	32
Şekil 6.9. Baraj kreti ve mansap tarafındaki obje noktalarının dağılımı.....	32
Şekil 6.10. Baraj gövdesinin her iki tarafına yerleştirilmiş obje noktaları hedef levhası..	33
Şekil 6.11. Baraj Kreti obje noktasına monte edilmiş tribrah ve GPH1P hassas prizma...	33
Şekil 6.12. Referans ve kret üstü obje noktalarından oluşan yatay yönlü deformasyon izleme ağı	34
Şekil 6.13. Kret üstünde muhafazalı obje noktası ile yerleşik kayada tesisli R1ve R2 referans noktaları	34
Şekil 6.14. Referans ve obje noktalarından oluşan düşey yönlü deformasyon izleme ağı.....	35
Şekil 6.15. Nivelman ölçülerinde kullanılan Leica DNA03 nivo ve invar barkodlu nivo.....	35
Şekil 6.16. Menba tarafındaki noktalarda mutlak değişimler (Aralık 2010 - Şubat 2014).....	44
Şekil 6.17. Mansap tarafındaki noktalarda mutlak değişimler (Aralık 2010 - Şubat 2014).....	44

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Deformasyon Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	9
Çizelge 6.1. Ağa ilişkin serbest dengeleme sonuçları.....	36
Çizelge 6.2. Ağa ilişkin serbest dengeleme sonuçları.....	37
Çizelge 6.3. Varyansların homojenlik testi	37
Çizelge 6.4. Statik deformasyon analizi sonuçları.....	38
Çizelge 6.5. Kinematik modelde kalman filtreleme yönteminin istatistik test sonuçları..	39
Çizelge 6.6. Aralık 2010 – Mayıs 2012 dönemlerine ait statik ve kinematik model sonuçları.....	40
Çizelge 6.7. Aralık 2010 – Mart 2013 dönemlerine ait statik ve kinematik model sonuçları	40
Çizelge 6.8. Aralık 2010 - Şubat 2014 dönemlerine ait statik ve kinematik model sonuçları.....	41
Çizelge 6.9. Aralık 2010 - Temmuz 2012 dönemlerine ait statik ve kinematik model sonuçları.....	42
Çizelge 6.10. Aralık 2010 - Şubat 2014 dönemine ait statik ve kinematik model sonuçları.....	42
Çizelge 6.11. Şubat 2014 zamanı için belirlenen mutlak konum değişimleri.....	43

1. GİRİŞ

Türkiye'nin büyük bir bölümünün deprem kuşağı içinde yer alması, olası tehlikeleri önceden belirlemek amacıyla yer kabuğu hareketlerinin ve deformasyonlarının izlenmesi çalışmalarını beraberinde getirmektedir. Aynı şekilde son zamanlarda mühendislik yapılarının sayısının artması ve ülkemizin deprem kuşağında olması gerçeği bu tür mühendislik yapılarının deformasyonlarının izlenmesini zorunlu kılmaktadır.

Yeryüzünde durağan olarak kabul edilen sonradan oluşturulmuş yapay nesnelere; konumlarında yatay / düşey yönde farklılaşmalar oluşturan, şekil olarak değişime maruz bırakan, zamana bağlı veya zamandan bağımsız olarak doğal ya da yapay kuvvetlerce etkilenmektedirler. Bu kuvvetlerin etkisiyle nesnelere meydana gelen şekil ve konum değişiklikleri deformasyon olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde mühendislik ölçmelerinde ve jeodezik çalışmalarda; mühendislik yapılarının hareketleri, heyelanlar, plaka hareketleri v.b. belirlenip gerekli tedbirlerin alınması açısından deformasyon izleme çalışmaları önemli bir yere sahiptir. Bu sayede can ve mal kaybına neden olan büyük felaketlerin şiddetinin azaltılabilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca bu ölçmelerin güncel teknikler kullanılarak kısa zamanda gerçekleştirilmesi hem analiz tekniği açısından hem de işletme aksaklıklarının en az indirilmesi açısından önemlidir. Bu durumun uydu izleme sistemleriyle beraber elektromekanikteki gelişmelere paralel olarak üretilen son teknoloji cihazlarla çeşitli ölçme teknikleriyle takip edilmesi deformasyon izleme, ölçüm aşamasından sonra yapılan tüm değerlendirme ve farklı hesaplama yöntemleri kullanılarak işletilen karar verme mekanizması da deformasyon analizi olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde yapılardaki deformasyonların belirlenmesi yapı sağlığı açısından hayati önem taşımaktadır. Süreklilik halini almış inovatif gelişme içerisinde olan bilimin ve teknolojinin doğal bir getirisi olarak deformasyonların ölçülmesi, izlenmesi ve analizinde de mevcut yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Deformasyon ölçmeleri ile yatay ve düşey yöndeki değişimler belirlenmeye çalışılır. Düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesi için ölçmeler genellikle hassas nivelman yöntemi ile gerçekleştirilir. Bu amaçla deformasyon bölgesini ve çevresini kapsayan bir ağ oluşturulur. Ölçüler değişik zamanlarda yapılacağı için ağ noktaları iyi korunmalıdır. Deformasyonun irdelenmesi için değişik modeller bulunmaktadır. 1960 yılında kendi adıyla anılacak Rudolf Emil Kalman tarafından teori olarak ortaya atılan kinematik bir yöntem olan Kalman filtreleme yöntemi günümüzde farklı disiplinlerce geliştirilerek

barajların ve yüksek yapıların deformasyonlarının analizinden tutun da savunma sanayisindeki sistemlere kadar geniş alanlarda kullanılmaktadır (Gülal, 2013).

Tarihte ilk deformasyon ölçmeleri, 1860 yılında San Andreas fay kuşağında gerçekleştirilmiştir. Yenileme ölçüleri ise 1876 ve 1906 yıllarında yapılmıştır. 1908 yılında Almanya'da Thüringen Gotheaer barajında kret üzerindeki nokta hareketleri aliyman yöntemiyle belirlenmiştir. 1921 yılında da İsviçre'de Montervals barajında benzer bir çalışma yapılarak gövde üzerindeki noktaların konumları önden kestirme ile belirlenmiştir.

Deformasyon ölçmelerinde jeodezik kontrol ağlarının kullanımının yaygınlaşması ise 1928 yılında San Francisco barajında yaşanan çökme kazasında 436 kişinin hayatını kaybetmesi sonucu gerçekleşmiştir. 1929'da çeşitli Avrupa ülkelerinde de deformasyon araştırmaları konusunda çalışmalar yapılmıştır.

1960'lı yıllara kadar çalışmalar deformasyon analizinde yapılan hesaplamaların kolaylaştırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Türkiye'de ilk deformasyon ölçmeleri de aynı yıllarda Sarıyar barajında yapılmış fakat, değerlendirmenin nasıl yapılacağı bilinmediği için yenileme ölçüleri yapılmamıştır. Ayrıca; Keban, Kemer Bozdoğan, Gökçekaya, Oymapınar barajlarında ve Kuzey Anadolu Fay Zonunda da deformasyonların analizine yönelik ölçmeler yapılmıştır (İnal, 2014).

Deformasyon ölçülerinin analizi ancak matematik ve istatistik bilimindeki gelişmeler ile modern bilgisayarların üretilmesi ile birlikte gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Literatürde deformasyon analizi ile ilgili pek çok bilimsel çalışma mevcuttur. Erol (2008) doktora tezinde, presizyonlu nivelman tekniği ile GPS tekniğinin matematiksel ve stokastik olarak kombinasyonunun sağlanması ve GPS tekniğinin deformasyon belirleme amaçlı çalışmalarda kullanılabilirliğinin test edilmesini amaçlamıştır. Bunun için İstanbul'un güneybatısında, 30 noktalı bir jeodezik kontrol ağında, yaklaşık altı-sekiz aylık aralıklarla, 1996-1998 yılları arasında iki yıl boyunca toplam dört ölçme kampanyasından elde edilen GPS ve presizyonlu nivelman ölçüleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, presizyonlu nivelman ölçülerinin GPS tekniğinden elde edilen doğruluklara, bilinmeyenlere ve deformasyon vektörlerine dikkate değer olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür. Ayrıca GPS tekniğinin, bazı özel önlemlerin alınması şartıyla milimetre mertebesindeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılabileceği ve presizyonlu nivelman tekniği ile desteklenmesiyle daha küçük deformasyonların elde edilebileceği öngörülmüştür.

Uluişik (2006) yüksek lisans tezinde, İstanbul'un yüksek yapılarından biri olan 42 katlı Şişli Plaza'da, yapı hareketlerinin izlenmesine dair bir uygulama gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda, 5 noktalı bir jeodezik ağ oluşturulmuş, 30 saniyelik statik ölçüler yapılmış ve ölçüler Ashtech Solution 2.6 yazılımında değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler zaman serisine açılmıştır. Serilerdeki periyodik bileşenlerde Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanarak yapıdaki titreşimin maksimum genliğinin 5mm, toplam bağıl koordinat değişiminin de 5cm olduğu tespit edilmiştir.

Açıkgöz (2010) doktora tezinde, Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağının kurulması ve sıklaştırılması kapsamında yapılan yersel ölçüler ile sonraki yıllarda yapılan GPS ölçüleri birlikte değerlendirerek Yatay Kontrol Ağının kuzeybatı bölümünde yer kabuğu hareketleri sonucu oluşan deformasyonu araştırmıştır. Bölgedeki ağ noktalarında oluşan yer değiştirmeler yersel ölçülerin GRS80 elipsoidinde ITRF2005 koordinat sisteminde dengelenmesi ve sonuçların güncel GPS koordinatları ile karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir.

Akay (2007) yüksek lisans tezinde, HGK tarafından yersel gözlem amacıyla inşa edilen İznik-Mekece fayının kuzeyi ve güneyine dağılmış, ilk hali dokuz pilyeden oluşan ve sonradan Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Jeodezi Anabilim Dalı tarafından mikrojeodezik ağlara dahil edilen ağ kullanılarak Marmara Bölgesi'ndeki hareketlerin zamana bağlı olarak analizini gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda ağ 1941 ve 1963 yıllarında doğrultu ölçüleri, 1981 yılında doğrultu ve kenar ölçüleri, 2004 ve 2007 yıllarında da GPS kampanyaları kullanılarak serbest dengelenmiş ve noktaların yer değiştirme miktarları hesaplanmıştır.

Uydu bazlı konum ölçmelerine örnek olarak, Yıldırım (2007) yüksek lisans tezinde, Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi binasında meydana gelen düşey ve yatay yöndeki hareketliliğin belirlenmesinde GPS tekniğinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla, yapı üzerine 4 adet obje noktası ve yapıya 1-2 km mesafede hareket etmeyeceği düşünülen noktalara da pilye şeklinde 4 adet obje noktası tesis edilmiştir. Üç periyot ölçü yapılarak oluşturulan jeodezik ağda anlamlı nokta hareketleri araştırılmıştır. GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde Leica Geo Office ve GNSS Solutions ticari yazılımları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ağda 5 noktada anlamlı nokta hareketlerinin olduğu saptanmış ve GPS tekniğinin mühendislik yapılarının deformasyon analizinde kullanılması için ölçü planlamasının iyi yapılması, uygun ölçü zamanının seçilmesi, GPS alıcılarının yanında ivme ölçer, eğim ölçer, total station gibi ek ölçü

sistemlerinin kullanılması, yapıya etkiyen kuvvetlerin de sürekli izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Satirapod (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, 2004 Sumatra ve 2005 Nias depremlerinden sonra Thai jeodezik kontrol ağındaki deformasyon izlenmiştir. Bu amaçla 2004'teki 9.3 şiddetindeki deprem sonrası yer değiştirmeyi izlemek için GPS kampanyaları yapılmıştır. Ancak 2005'te 8.7 şiddetindeki ikinci depremden sonra durum daha komplike bir hal almıştır. Yapılan GPS kampanyaları ve mevcut sürekli GPS istasyonlarında 2006 yılının sonuna kadar toplanan veriler GIPSY-OASIS II yazılımında PPP tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kalooop ve Li (2009) gerçekleştirdikleri bir çalışmada, Çin'de bulunan Tianjin Yonghe köprüsünün ömrünü uzatmak ve mevcut durumunu korumak için köprünün izlenmesi gereği duymuşlardır. Deformasyon ölçülerinin yapılmasında GPS tekniği kullanılmış, Kalman filtreleme tekniği ve Parametrik En Küçük Kareler Tekniği kullanılarak analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda trafik yükünün köprü hasarında ana etken olduğu, trafiğe açıldıktan on ay sonra köprünün güney kulesinin orijinal durumuna döndüğü belirlenmiştir.

Gravite ölçüleriyle birlikte uydu ölçülerinin birlikte kullanıldığı başka bir çalışma olan (Selendi, 2011)'nin yüksek lisans tezinde, Marmara Bölgesi'nde gravite ve GPS ölçme yöntemleri kullanılarak meydana gelen yatay ve düşey yerkabuğu deformasyonlarına ve gerinim birikimine ilişkin bilgilerin sağlanması amacıyla, 2006-2010 yılları arasında 12 Marmara Sürekli GPS Ağı ve 47 GPS kampanya noktalarında beş periyot GPS ölçmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu ağın 24 noktasında bağıl gravite ve 10 noktasında da mutlak gravite ölçmeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen ölçüler Bernese 5.0 yazılımında değerlendirilerek noktaların zamana bağlı yatay ve düşey konum değişiklikleri belirlenmiş ve deformasyon analizi yapılarak hareketlerin anlamlı olup olmadığı ortaya konulmuştur.

Hızlı değişimlerin yaşandığı heyelan, çökme alanları gibi yerlerde anlık GPS verilerinin deformasyon analizinde kullanılabilir olup olmadığı noktasında yapılan üç ayrı araştırmanın ilkinde, Wang ve Soler (2012) web tabanlı konumlandırma hizmetinin GPS verilerinin değerlendirilmesinde ve Porto Riko, Virjin Adaları bölgesinde uzun süreli heyelanların izlenmesinde kullanışlılığını göstermeyi amaçlamışlardır. Heyelan alanında 2 yıllık sürekli GPS verisi; heyelan izlemede sürekli veya kampanya, uzun süreli veya kısa süreli, gündüz veya öğleden sonra, yağışlı veya yağışsız hava gibi durumların etkilerini de değerlendirmek için farklı koşullarda toplanmıştır. Kullanıcı tarafından

toplanan veri, web tabanlı konumlandırma hizmeti ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yağış miktarının yüksek doğruluklu GPS performansını önemli ölçüde düşürdüğü ve web tabanlı statik ve hızlı statik konumlandırma hizmetlerinin santimetre doğrulukta heyelan izlemek için alternatif araçlar olduğu görülmüştür. Wang ve Soler (2013) tarafından yapılan ikinci çalışma olan uluslararası makalede, uzun yıllardır çökme alanı olan Houston'da bu hareketi izlemek için kurulan CORS ağı kullanılarak düşey deformasyonlar belirlenmiştir. Ölçülerin değerlendirilmesinde web tabanlı konumlandırma hizmeti ve GIPSY/OASIS yazılımı kullanılmıştır. Her iki değerlendirme sonucu birbiriyle karşılaştırılmış, web tabanlı konumlandırma hizmetinin 1 günlük periyotlar da 1 santimetrelik düşey doğruluğa ulaştığı görülmüştür. Wang ve Soler (2015) tarafından yapılan uluslararası makalede ise Houston, Texas'taki bir çökme alanı ve Porto Riko, Ponce'daki bir heyelan alanında uzun süreli GPS gözlemleri kullanılarak arazi çökmesinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuca göre, doğrudan GPS'ten elde edilen elipsoidal yükseklikler ve bir jeoid modeli kullanılarak GPS'ten türetilen ortometrik yükseklikler aynı çökme sonuçlarını vermiştir. Bu nedenle uzun süreli çökmeyi ölçmek için nivelman tekniklerinin uygulanmasına gerek kalmadan GPS'in doğrudan kullanılabilir olduğu kanısına varılmıştır.

Kearns ve ark. (2015) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, 2005-2012 dönemi boyunca Houston metropolitan alanında meydana gelen arazi çökmesi ve yer altı suyu seviyesi değişimleri izlenmiştir. Bu kapsamda, 95 sabit GPS istasyonu verisi ile 11 sondaj genişleme ölçerinden çökme ölçümlerinin yanı sıra 490 su kuyusundan yer altı suyu seviyeleri izlenmiştir. GPS ve genişleme ölçer gözlemleri bölgede ortalama çökme hızının 2005'ten beri azaldığını göstermiştir.

Görüldüğü üzere günümüzde artık yoğun bir şekilde GPS verileri kullanılarak, tektonik hareketlerin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Hareketlerin sürekli izlenebilmesi için algoritmaların dinamik modelleri içermesi ve kinematik/dinamik bileşenlerin yorumlanması ihtiyacı doğmuştur (Kurt ve ark., 2007).

Deformasyon modelleri ve farklı yöntemlerle deformasyon analizi ile ilgili literatürdeki bazı çalışmalarda; (Doğanalp ve ark., 2005) tarafından 6 obje 5 referans noktasından oluşan 11 noktalı bir trigonometrik yükseklik ağında yapılan üç periyot ölçüden yararlanarak hem düşey açılar ile hem de yükseklik farklarıyla S-transformasyonu ve Kalman filtreleme yöntemiyle deformasyon analizi yapılmış ve elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı ulusal bildiriye; deformasyonların izlenmesi ve zararların azaltılması yönündeki çalışmalara vurgu yapılmıştır. Deformasyon

modellerinden kısaca bahsedilmiştir. (Doğanalp ve Turgut, 2009) tarafından yapılan başka bir ulusal makalede deformasyon analizinde S-transformasyonu yöntemi ve Kalman filtreleme yönteminin matematiksel modelleri teorik olarak verilmiş ve sayısal uygulama kapsamında üç periyot (Şubat 1998 – Nisan 1999 – Ocak 2000) ölçü ile periyotlar ayrı ayrı serbest dengelenmiş, statik ve kinematik olarak deformasyon analizi yapılmış ve analiz sonuçları incelenmiştir. Bu test alanında yükseklik ağı, trigonometrik ađ ve iki boyutlu ağda deformasyon analizleri, statik ve kinematik olarak iki modelde incelenmiştir. Statik deformasyon analizleri için S-transformasyonu yöntemi, kinematik deformasyon analizleri için de Kalman filtreleme yöntemi kullanılmıştır. Yükseklik ağı, trigonometrik ađ ve iki boyutlu ağda yapılan statik analiz ve kinematik analiz sonuçları karşılaştırılmış ve uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.

Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesindeki Aydın'da yerkabuğu hareketleri kalman filtreleme tekniği ile kinematik model kullanılarak Yalçinkaya (2003) tarafından araştırılmış ve sonuçların verildiği uluslararası makalede, kabuk hareketleri çok yavaş hareketler olduğu için periyot ölçülerinin uzun zaman aralıklarında ve hassas nivelman yöntemi kullanılarak yapıldığı, hassas nivelmanla yapılan periyot ölçüleri kullanılarak analiz gerçekleştirildiği ve sonucunda jeodezik kontrol noktalarının yılda ortalama 1 cm hareket ettiği bildirilmiştir.

Bu çalışmada, kullanım alanı oldukça geniş olan S-transformasyonu ve Kalman filtreleme yöntemleri, Ermenek barajında düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu amaçla baraj üzerinde kurulan nivelman ağında yapılan hassas nivelman ölçüleri serbest dengelenmiş, uyumsuz ölçüler ayıklanmış ve deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Statik modelde analiz, S-transformasyonu ile kinematik modelde ise Kalman filtreleme yöntemi ile gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

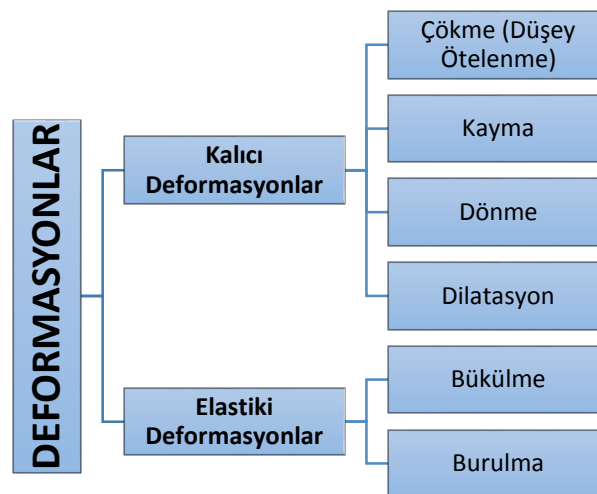
Yapılarda, makine tesislerinde veya yer kabuğunda kalıcı ya da geçici etkiler altında oluşan şekil değişimlerine “Deformasyon” adı verilmektedir.

Jeodezik deformasyon ölçmeleri yer kabuğunda, yapılarda veya makine tesislerinde var olan anlamlı bir hareketin tespit edilmesi veya henüz ortaya çıkmamış fakat daha sonra problem oluşturabilecek bir durum olup olmadığını ortaya çıkarmak için yapılmaktadır. Herhangi bir anlamlı hareket tehlike boyutuna geçip kötü sonuçlar doğurmadan önce tespit edilip gerekli tedbirler alındığı takdirde deformasyon ölçmeleri amacına ulaşmış olacaktır.

2.1. Deformasyonların nedenleri, oluşumu ve sınıflandırılması

Yer kabuğunda veya mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyon, oluşmasına sebep olan etkenlere göre çeşitlilik göstermektedir. Yapılarda meydana gelen deformasyonların nedenleri tabandaki değişimler, değişik nedenlerle yapı temelindeki gevşemeler ve nem miktarı değişimleri olarak sıralanabilir.

Maden işletmelerinde ya da temel suyunun çıkışı sonucu oluşan çökme, kayma, sürüklenme, tabandaki değişimler grubuna girmektedir. Raylı sistemlere yakın binaların temellerindeki gevşemeler ise değişik nedenlerle yapı temelindeki gevşemeler grubuna girerken, barajların menba ve mansap kısımlarının güneşin mansap tarafına baktığı durumlarda menba tarafıyla olan sıcaklık farklılaşmasını beton içinde gerilmelere neden olması ve bunun sonucunda deformasyonlar oluşması ise nem miktarı değişimleri grubu altındadır. Deformasyonlar, şekil değişimlerinin yapısına göre kalıcı ve elastiki olmak üzere ikiye ayrılırlar (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Deformasyonların Sınıflandırılması

2.2. Kalıcı Deformasyonlar

Deformasyona uğrayan obje deformasyona uğradıktan sonra eski halini alamıyorsa bu tür deformasyonlar kalıcı deformasyonlar olarak adlandırılır. Kalıcı deformasyonlar çökme (düşey ötelenme), kayma (yatay ötelenme), dönme veya dilatasyon şeklinde gerçekleşebilmektedir (Bilgen, 2017).

Yüzeyi gevşek olmayan doğal zeminin, tamamen düşey olarak veya düşeye yakın bir şekilde yerçekimi kuvveti yönünde hareket etmesi çökme, bir yapının veya doğal zeminin yük ve çeşitli kuvvetlerin etkisiyle aşağıya doğru hareket etmesine de oturma adı verilmektedir. Çökme veya oturma türü deformasyonlarda yatay doğrultuda da çok az bir miktarda hareket olabilir. Çökmeler; kumlu zeminde yük uygulanmasıyla ani oturmalar, killi zeminlerde zamanla azalan konsolidasyon ve zeminin taşıma gücünün aşılmasıyla plastik oturmalar şeklinde meydana gelmektedirler (İnal, 2014).

Çoğu zaman konsolidasyon ile plastik oturmaları birbirinden ayırt etmek zor olmaktadır. Bir objenin bir kuvvete maruz kalmasıyla yatay yönde yer değiştirmesi kayma olarak adlandırılmaktadır. Objeye uygulanan kuvvet sürtünme kuvvetinden büyük olduğunda kayma meydana gelmektedir (İnal, 2014).

Objenin yatay düzlemde düşey eksen etrafındaki hareketi yatay dönme, düşey düzlemde yatay eksen etrafındaki hareketi de düşey dönme olarak tanımlanabilir. Dilatasyon olarak da isimlendirilen sünme betonda büzülmenin yanı sıra kalıcı yük altında zamana bağlı olarak oluşan deformasyon olarak tanımlanmaktadır. Sünme şeklinde meydana gelen deformasyonun büyüklüğü bazı değişkenlere bağlıdır. Bu değişkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Yıldırım, 2007):

- Yük uygulanan betonun yükleme anındaki yaş sünme oranına etki etmektedir. Yeni bir betondaki sünme eski betondaki sünmeye göre daha fazla olmaktadır.
- Karışımdaki su/çimento oranı arttıkça sünmenin miktarı da artar.
- Ortamdaki nem ve ısının artması sünme miktarını da artırmaktadır.
- Betona kalıcı yük uygulandığında oluşan gerilme düzeyinin betonun basınç dayanımına oranı 0.4'ten büyükse sünme daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir.
- Sünmenin hızı zamanla yavaşlamasına rağmen deformasyon miktarının artması yaklaşık üç yıl devam etmektedir.

Barajlarda düşey yöndeki deformasyonlar oturma olarak karşımıza çıkmaktadır. Oturmalar ise ani oturmalar, konsolidasyon ve plastik oturma olarak sıralanabilir.

- Ani oturmalar: Ayrık taneli zeminlerde söz konusudur. Kum üzerine yapılan binalardaki oturmalar buna örnektir.
- Konsolidasyon: Killi zeminlerde söz konusudur. Yük nedeniyle dışarı su çıkması sonucu zeminde oturma meydana gelir. Kil çekirdekli dolgu barajlardaki çökmeler bunun tipik örneklerindedir.
- Plastik oturmalar: Zeminin taşıma gücünün aşılması durumunda plastik oturma oluşur. Yumuşak zeminlerde plastik oturmayla konsolidasyon oturmayı birbirinden ayırmak güçtür (İnal, 2014).

2.3. Elastiki Deformasyonlar

Deformasyona uğrayan obje deformasyona uğradıktan sonra tekrar eski halini alabiliyorsa bu tür deformasyonlar elastiki deformasyonlar olarak tanımlanmaktadır. Elastiki deformasyonlar bükülme ve burulma şeklinde gerçekleşebilmektedir.

Objelerin ana eksenine dik şekil değişiklikleri bükülme olarak tanımlanmaktadır. Objelerin ana eksenini boyunca meydana gelen dönme hareketi ise burulma olarak adlandırılmaktadır.

2.4. Deformasyon Ölçme Yöntemleri

Deformasyonların belirlenmesi birden fazla meslek disiplininin ilgi alanına girdiği için farklı ölçme ve takip sistemleri kullanılmaktadır. Örneğin, barajlarda genellikle uygulanan deformasyon belirleme yöntemlerini jeodezik ve diğer yöntemler olarak aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkün olabilir (Kalkan ve Alkan, 2005).

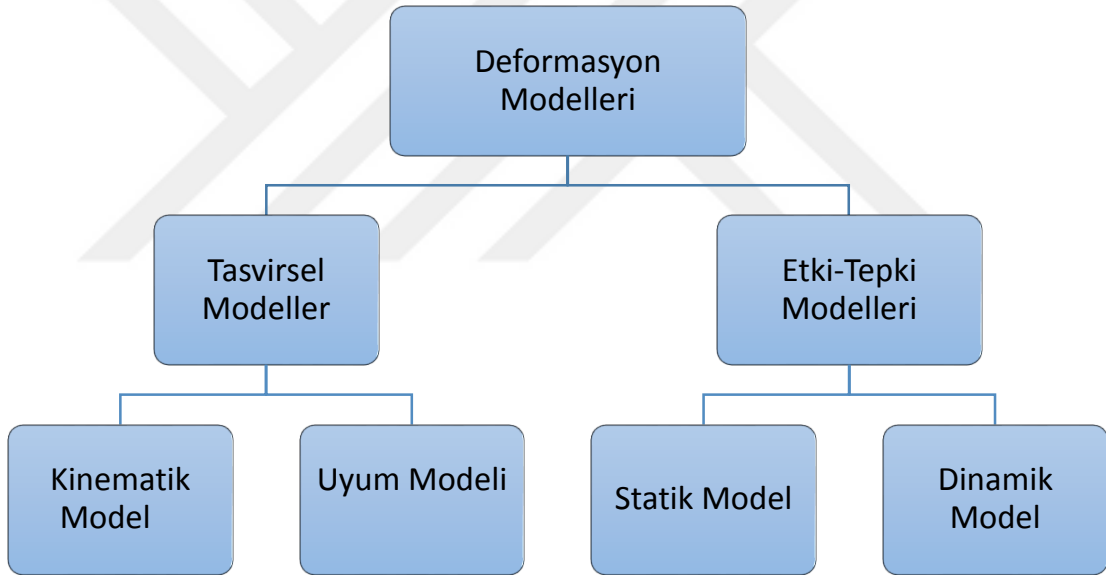
Çizelge 2.1. Deformasyon Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Jeodezik Yöntemler	Diğer Yöntemler ve Ölçme Donanımları
Aliyman Ölçmeleri	Eğim ölçmeleri (İnclinometreler)
Klasik Konum Ölçmeleri	Deplasman Ölçmeleri (Settlement Tubes)
Uydu bazlı konum ölçmeleri	Uzunluk değişim Ölçmeleri (Extensometreler)
Hassas trigonometrik nivelman	Boşluk Suyu basıncı ölçmeleri (Piezometreler)
Hassas geometrik nivelman	Düşeyden ayrılma ölçmeleri (reversed pendulum)
Hidrostatik nivelman	Derz ölçerleri (Jointmetreler)
	Çatlak ölçmeleri (Crakmetreler)

3. DEFORMASYON MODELLERİ

Jeodezide deformasyon araştırması yapılan nesnelere ve bu nesnelere etkiyen kuvvetlerin durumlarına göre bir sistem oluşturma ve buna göre modelleme yapma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle analiz yöntemleri ve kullanılan modeller son yıllarda birçok bilimsel araştırmaya da konu olmuştur.

Kinematik model, hareketin oluşumunun göz önünde bulundurmada hareketin tanımlanmasıdır. Statik model, kuvvetlerin etkisi altında olan cismin hareketsiz olduğunu varsayan denge koşullarını araştırır. Dinamik model ise cisme etkiyen kuvvetler altında hareketin oluşumunu inceler (Gülal, 2013). Genel kabul olan bu tanımlardan yola çıkılarak deformasyon ölçülerinin analizinin yapılabilmesi amacıyla farklı modeller geliştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deformasyon Modellerinin Sınıflandırılması(Welsch ve Heunecke, 2001)

3.1. Statik Model

Statik model, zamanı dikkate almaksızın, bir objenin geometrik reaksiyonları ve yükler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi tanımlamaktadır. Deformasyon incelemesine konu bölge veya yapının karakteristik noktalarını, deformasyon vektörlerinin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesini sağlar. Bu modelde tüm ağırlık bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır (Bayrak ve Yalçınkaya, 2002).

Statik modelde objenin kendisi ile jeodezik olarak belirlenen tepkisi arasındaki fonksiyonel ilişkisi tanımlanmaktadır (Gülal, 2013).

Statik modelde deformasyon analizi genellikle bağıl güven elipsleri, Cholesky çarpanlara ayırma, S-transformasyonu ve ortalama aykırılıklar yöntemi gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden bağıl güven elipsleri ve Cholesky çarpanlara ayırma yöntemleri yalnızca 2D jeodezik ağlarda kullanılabilirken, S-transformasyonu ve ortalama aykırılıklar yöntemi 1D, 2D ve 3D jeodezik ağlarda kullanılabilir. Cholesky çarpanlara ayırma yöntemi sabit noktalarla hareketli noktalar geometrik olarak ayrılabilirse etkin olarak kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, t_1 ve t_2 periyotlarına ait ölçüler kısmi iz minimum çözümü yapılarak dengelenir. θ^2 ölçütü veya ortalama aykırılıklar yöntemleri de ölçü planı farklı ve noktalarda değişiklik olan t_1 ve t_2 zamanlarında yapılan ölçümlerin deformasyon analizinde kullanılabilir. Yöntemin uygulanmasında; periyot ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenir, uyumsuz ölçüler ayıklanır, periyot ölçüleri için uyum testi yapılır, eşlenik olmayan noktalar dengeleme sırasında yok edilir.

Farklı zamanlarda farklı amaçlar için oluşturulan jeodezik kontrol ağlarının datumları çeşitli nedenlerle farklı olabilmektedir. Oluşturulan ağların deformasyon analizinin yapılabilmesi ve duyarlıklarının karşılaştırılabilmesi için, karşılaştırılacak olan parametrelerin aynı datumda belirlenmiş olması gerekir. S-transformasyonu yöntemi ile yeni bir dengelemeye gerek kalmadan bir datumda belirlenmiş olan bilinmeyen parametreleri, örneğin nokta koordinatları ve bunların kofaktörler matrisi, başka bir datuma dönüştürülebilmektedir.

3.2. Kinematik Model

Kinematik model, genel anlamda hareket halinde olduğu düşünülen cisimlerin hareketlerini o cisme etkiyen kuvvetlerden bağımsız bir şekilde, belirli bir zaman içinde, ilk durumu bilinen konumundaki değişimi, yine zaman ve yer değiştirmenin bir fonksiyonu olarak belirlenmesini incelemektedir.

Deformasyonların belirlenmesinde; statik modellerin yanı sıra kinematik modeller de kullanılabilir. Statik modelde nesnelerin herhangi bir kuvvetten ve zamandan bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Zaman parametresi kinematik modeldeki kadar önemli değildir ve nesnenin hareket etmediği varsayılarak model kurulur. Kinematik modelde ise deformasyonlar zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenmekte ve dış

kuvvetlerden bağımsız olarak model kurulmaktadır (Welsch ve Heunecke, 2001; Doğanalp ve Turgut, 2009).

Bu genel tanımın ışığında jeodezik bir ağdaki nokta hareketlerinin belirlenmesi amacıyla kurulan kinematik modellerin amacı zamana bağlı olarak deformasyon noktalarının hareketlerini veya hem zamana hem de konuma bağlı olarak deformasyon bölgesinin hareket yüzeyini ya da sürekli hareketlerin yanında tek tek olayların etkisiyle oluşan sürekli olmayan konum değişimlerini saptamaktır (Ünver, 1994). Kinematik modelde asıl konu, deformasyon incelenecek bölgenin; bu bir baraj gövdesi olabilir veya büyük bir bina olabilir; fikir vermesi amaçlanarak belirlenmiş noktalarının hareketleri ve bu hareketlerin hızlarıdır.

3.2.1. Kinematik yüzey modeli

Yüzey modelinin belirlenmesinde zaman ve konuma dayalı fonksiyonlar kullanılır. Kullanılan fonksiyonlara göre de modeller farklılık gösterebilir. Örneğin birinde hareket, konum ve zamanın sürekli bir fonksiyonu olarak tespit edilirken, bir diğerinde iki zaman başlangıcına ait tekrarlanmış ölçülerden yararlanarak komşu noktalar arasındaki bağıl hız belirlenebilir.

Kinematik yüzey modelleri olarak bahsedilen literatüre geçmiş bu modeller Holdahl, Vanicek U. Christodulidis ve Pelzer gibi bilim insanları tarafından tanımlanmış ve geliştirilmiştir.

3.2.2. Genelleştirilmiş kinematik modeller

Kinematik modeller genelde süreklilik arz eden obje noktalarının zamana ve konuma göre fonksiyonu şeklinde tanımlanırken, birbirinden bağımsız olaylar şeklinde cereyan eden ve devamlılık arz etmeyen konum değişimleri de kinematik modellere dahil edildiğinde genelleştirilmiş modellerden bahsedilebilir. Snay ve Gergen tarafından yer kabuğu hareketleri gibi özel durumlar için genişletilmiş, Vanicek tarafından tanımlanmış olan genelleştirilmiş kinematik modeller bulunmaktadır.

3.2.3. Kinematik tek nokta modeli

Kinematik tek nokta modellerinde hareketli noktaların konumlarındaki yer değiştirmeler, bir fonksiyonla belirlenir. Bahse konu yer değiştirmelerin büyüklükleri, hızları ve hızlarındaki artışlar bu fonksiyonun parametreleri olup geçen süreye bağlı olarak belirlenir. Zamanımızda ortaya konulmuş, geliştirilmiş ve literatüre girmiş

yayınlarında açıklanmış farklı tek nokta modelleri mevcut olup bunlardan bir kısmı aşağıda tanımlanmıştır.

3.2.3.1. Kinematik tek nokta modeli I

Bu modelin temel ilkesi, farklı zamanlarda gözlenen bir jeodezik ağda eşlenik nokta koordinatlarının karşılaştırılmasıdır (Ünver, 1994).

Özetle, modelin uygulamasında öncelikle nokta kümelerinin eşdeğerliliği tespiti (θ^2 Ölçütü) uygulanarak gerçekleştirilir. Bunun amacı deformasyon analizinin jeodezik ağın eşlenik noktalarını içeren kısımlarında yapılacak olmasıdır. Şayet ağın geometrisinde herhangi bir değişiklik yoksa bu işleme gerek olmadığı düşünülebilir.

Ağdaki hareketli noktaların belirlenmesi amacıyla bir hareketli geri kalanlar sabit olacak şekilde her bir nokta için oluşturulacak fark vektörleri, ters ağırlık matrisleri ilk etapta tüm nokta sayısı kadar oluşturularak yine tüm nokta sayısınca aykırılık testi yapılır. Maksimum aykırılık değerine sahip nokta için belirli bir istatistik güvenle deformasyon oluştuğuna karar verilir.

Ağda başkaca hareketli nokta olup olmadığı bir dizi işleme araştırılarak F Testi yardımıyla ağda başka hareketli nokta kalmayınca kadar işleme devam edilerek hareketli noktalar tespit edilir. Bu test büyüklüğü tablo değerinden küçük oluncaya kadar deformasyon oluşan diğer noktaların belirlenmesine devam edilir (Ünver, 1994).

3.2.3.2. Kinematik tek nokta modeli II

“Holdahl model IV” olarak da bilinen bu modelde hız ve ivme parametrelerinin zamana bağlı olarak her nokta için aynı anda belirlenmesi esastır. Karesel bir fonksiyon olan bu modelde polinomun derecesi arttıkça hareketin fiziksel olarak yorumlanması güçleşir.

Anlamli hareket parametrelerinin belirlenmesi için özetle, seçilen modelin testi yapılır, hareket modelinin ortalama hatası ile parça ağların tümünün ortalama hatalarının ortalaması eşit kabul edilerek sıfır hipotezi yazılır. Varyans değerlerinin birbirlerine oranları test değeri kabul edilerek F tablo değeri ile karşılaştırılır.

Her bir nokta için anlamli hareket testi yapmak maksadıyla yükseklik bilinmeyi veya yükseklik farkları bilinmeyi, hız ve ivme parametreleri kullanılarak test büyüklükleri belirlenir. Böylece hesaplanan hareket parametrelerinden anlamli olanlar saptanarak bölgedeki kinematik hareketler belirlenmiş olur (Ünver, 1994).

3.2.3.3. Kinematik tek nokta modeli III

Bu model Kinematik Tek Nokta Modeli II' nin adımlara ayrılmış bir şeklidir. Fonksiyonel modelin parametreleri adım adım hesaplanır.

Hannover yaklaşımı olarak adlandırılan bu model Holdahl model IV (model II) den türetilmiştir. Model II çeşitli adımlara bölünür. Ara sonuçlar istatistik testlerle denetlenir (Ünver, 1994).

İşlem adımlarına özetle değinecek olursak; ilk olarak ağ ölçülerinin ayrı ayrı serbest dengelenmesi ve modelin kontrolü yapılır, akabinde statik model ile hareketler saptanır, şayet ilk duruma göre bir hareket söz konusu ise bir diğer adımda bu hareketin doğrusal model ile belirlenmesine geçilir. Artan bir etkiyle hareketin tespit edilmesi istenirse karesel hareket modeline geçilerek ivmesel hareketin olup olmadığı kontrol edilir. Bu yaklaşımın son adımında nokta hareketi yüzey yaklaşımı modeli kullanılarak belirlenir.

3.2.3.4. Kalman filtreleme yöntemi

1960 yılında Rudolf Kalman tarafından teori olarak ortaya atılan kinematik bir yöntem olan Kalman filtreleme yöntemi günümüzde farklı disiplinlerce geliştirilerek barajların ve yüksek yapıların deformasyonlarının analizinde kullanılmasından ekili arazilerin rekolte tahmini gibi tarım sektörü ile savunma sanayisindeki sistemlere kadar geniş alanlarda kullanılmaktadır.

Kalman filtreleme tekniği bütün dinamik sistemlerin durum değişkenlerinin kestiriminde kullanılabilir. Örneğin radyo dalgalarının ve radar sinyallerinin kestiriminde, sismik verilerin analizinde, görüntü işlemede, hava raporlarının tahmininde, tarım ürünlerinin en uygun toplanma zamanlarının önceden tahmin edilmesi gibi birçok mühendislik uygulamalarında kullanılabilen bir kestirim yöntemidir (Yalçınkaya ve Bayrak, 2003).

Kalman filtreleme yönteminde statik ve kinematik hareketler araştırılır. Bu yöntemin bilinen diğer yöntemlerden farkı ve olumlu yanı düzgün ve düzgün olmayan hareketlerin belirlenmesidir.

Pelzer'e göre nivelmanla belirlenen ya da dengeleme hesabı sonucunda bulunan yükseklik farkları deformasyon hareketlerinin hızları ve ivmeleri konusunda hiçbir bilgi taşımazlar. Bu nedenle kinematik modeldeki normal denklem matrisi bilinmeyen seçilen Hız+İvme sayıları kadar rang bozukluğuna sahiptir. Pseudo Ters Matris de anlamsız çözüm verdiği için, aranan çözüme

$$Bv + Ay + w = O \quad P \quad \text{Matematik Model}$$

v; ölçülerin düzeltme vektörü, y; bilinmeyenler vektörü, w; kapanma vektörü, A; bilinmeyenlerin katsayılar matrisi, B; düzeltmelerin katsayılar matrisi terimlerinden oluşan Bilinmeyenli Koşullu Ölçüler Dengelemesi yoluyla ulaşılabilmektedir. Bu yöntemin özel ismi Kalman filtreleme (Süzgeçleme) yöntemidir (Ünver, 1994).

3.2.3.5. Kinematik tek nokta modeli IV

Holdahl model II olarak adlandırılan bu yöntemde birinci adım bağıl hızların hesaplanmasıdır (Ünver, 1994). İki periyotlu ölçüler için kolay kullanımı olan bir modeldir.

3.3. Dinamik Model

Dinamik modellemenin konusu zaman ve kuvvetler açısından objenin davranışının uygun bir şekilde tanımlanmasıdır. Bir dinamik model statik ve kinematik modellerin kabiliyetlerini birleştirir. Bu modeller hem zamansal evrimi hem de etkiyen kuvvetleri aynı anda dikkate aldığı için en kapsamlı modellerdir.

Dinamik model, yalnız geometrik değişimleri değil, deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı değişimi ve birbirleriyle ilişkileri yanında bu kuvvetlerin deformasyon sonucunu doğuran dönüşüm fonksiyonunu araştırır (Ayan, 1983).

Bir dinamik deformasyon modeli, objenin geçici davranışları yanında deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimini ve bu kuvvetler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi tanımlar (Doğanalp, 2005).

Dinamik modelde deformasyona neden olan dış etkenlerin neler olduğunun tespiti fonksiyonel modelin oluşturulmasında ve ölçülerin analizinde sağlıklı sonuçlar elde etmek açısından önem arz etmektedir.

4. S-TRANSFORMASYONU İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Farklı zamanlarda farklı amaçlar için oluşturulan jeodezik kontrol ağlarının datumları çeşitli nedenlerle farklı olabilmektedir. Oluşturulan ağların deformasyon analizinin yapılabilmesi ve duyarlıklarının karşılaştırılabilmesi için, karşılaştırılacak olan parametrelerin aynı datumda belirlenmiş olması gerekir. S-transformasyonu ile yeni bir dengelemeye gerek kalmadan bir datumda belirlenmiş olan bilinmeyen parametreleri, örneğin nokta koordinatları ve bunların kofaktörler matrisi, başka bir datuma dönüştürülebilmektedir.

S-transformasyonu, deformasyon ölçülerinin analizinde, duyarlık açısından ağların karşılaştırılmasında, kontrol ağının beklenen doğruluğu sağlayıp sağlamadığının kontrolünde, koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinin öngörülen ve ölçüt matrisi adı verilen yapay kovaryans matrisi ile karşılaştırılmasında kullanılır (Demirel, 1987; İnal ve Ceylan, 2002).

S-transformasyonu uygulamalarında kullanılan S dönüşüm matrisi,

$$S = I - G(B^T G)^{-1} B^T \quad (B = E \cdot G) \quad (4.1)$$

eşitliği ile hesaplanır (Kuang, 1996). (4.1) eşitliğinde I birim matris, G normal denklem katsayılar matrisi N'in defekt (d) sayıda özdeğere karşılık özvektörler matrisidir. Defekt sayısı d=1 olan yükseklik ağlarında;

$$G^T = [1 \quad 1 \quad \dots \quad 1] \quad (4.2)$$

yazılabilir.

(4.1) eşitliğinde datum seçici matris olarak isimlendirilen E matrisi, köşegeni üzerinde datumu belirleyen nokta koordinatlarına karşılık "1", ötekiler için "0" değerini içeren bir köşegen matristir. S-transformasyonu ile herhangi bir i datumundaki dengeleme sonuçları j datumuna,

$$S_j = I - G(B_j^T G)^{-1} B_j^T \quad (4.3)$$

$$x_j = S_j \cdot x_i \quad (4.4)$$

$$Q_{xx}^j = S_j \cdot Q_{xx}^i \cdot S_j^T \quad (4.5)$$

eşitlikleri ile dönüştürülür (Demirel, 1987; İnal ve Ceylan, 2002; Doğanalp ve Turgut, 2009).

S-transformasyonu ile deformasyon analizinde periyot ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenir. Uyuşumsuz ölçüler ayıklanır. Periyot ölçüleri için uyuşum testi yapılır. Önce global test yapılarak ağın bütününde deformasyon olup olmadığı araştırılır. Daha sonra deformasyonun yerleştirilmesi işlemi yapılır.

t_1 ve t_2 zamanında gözlenen ağ geometrileri farklı ise (multivaryant ağ) global test, yalnızca eşlenik noktalardan oluşan ağ bölümlerini kapsar. Başka bir deyişle, t_1 ve t_2 zamanında ölçülen ağlar eşlenik noktalara göre konumlandırılır.

t_n zamanında ölçülen bir ağda "e" ile tanımlanan eşlenik (datum) noktaları koordinatları ilk sırada, "b" ile tanımlanan diğer noktaların koordinatları ve başka bilinmeyenler ikinci sırada olmak üzere herhangi bir i datumunda serbest dengeleme ile belirlenmiş olsun. Buna göre, i datumuna ilişkin x_i parametreler vektörü ve ağırlık katsayıları matrisi;

$$x_i = \begin{bmatrix} x_e^i \\ x_b^i \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{ee}^i & Q_{eb}^i \\ Q_{be}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

bölmelere ayrılır ve (4.3), (4.4), (4.5) eşitlikleri kullanılarak i datumundan ağın eşlenik noktalara göre konumlandırılmasını sağlayan j datumuna geçilir. j datumunda $(x_e^j)_1$ ve $(x_e^j)_2$ koordinat bilinmeyenleriyle birlikte $(Q_{ee}^j)_1$ ve $(Q_{ee}^j)_2$ ağırlık katsayıları matrisi hesaplanır.

Eşlenik noktaların global testi için,

$$H_0: E(x_e^j)_1 = E(x_e^j)_2 \quad (4.8)$$

$$d_e = (x_e^j)_2 - (x_e^j)_1 \quad (4.9)$$

$$(Q_{dd})_e = (Q_{ee}^j)_1 + (Q_{ee}^j)_2 \quad (4.10)$$

$$R_e = d_e^T (Q_{dd})_e^+ d \quad (4.12)$$

ve R_e nin serbestlik derecesi $h_e = u_e - d$ olmak üzere test büyüklüğü;

$$F = \frac{R_e}{m^2 \cdot h_e} \quad (4.13)$$

ile hesaplanır. $F > F_{h_e, f, 1-\alpha}$ çıkarsa ağın eşlenik noktalardan oluşan bölümünde bir deformasyon olduğuna karar verilir. (4.13) eşitliğindeki m^2 ;

$$m^2 = \frac{f_1 \cdot m_1^2 + f_2 \cdot m_2^2}{f_1 + f_2} \quad (4.14)$$

eşitliği ile hesaplanır. (4.14) eşitliğinde m_1^2 birinci periyot için birim ağırlıklı ölçünün varyansı, m_2^2 ikinci periyot için birim ağırlıklı ölçünün varyansı, f_1 birinci periyot için fazla ölçü sayısı, f_2 ikinci periyot için fazla ölçü sayısıdır.

4.1. S-transformasyonu Yardımıyla Anlamlı Nokta Hareketlerinin Araştırılması

Global test sonucunda ağda deformasyon olduğuna karar verilmiş ise hareketli noktaların araştırılmasına geçilir. Eşlenik noktalardan her birinin yer değiştirmiş olabileceği düşünülerek i datumunda serbest dengeleme ile belirlenmiş bir periyoda ilişkin (4.6) parametreler vektörünün eşlenik noktalarını içeren x_e^i alt vektörü, hareket ettiği varsayılan bir noktanın koordinatlarını içeren x_h^i ve öteki (sabit kabul edilen) eşlenik nokta koordinatlarını içeren x_s^i alt vektörlerine ayrılır. Eşlenik olmayan noktalara ilişkin parametreler ve diğer bilinmeyenler x_b^i vektörü içinde toplandığına göre (4.6) vektörü ve (4.7) ağırlık katsayıları matrisi,

$$x_i = \begin{bmatrix} x_s^i \\ x_h^i \\ x_b^i \end{bmatrix} \quad Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{ss}^i & Q_{sh}^i & Q_{sb}^i \\ Q_{hs}^i & Q_{hh}^i & Q_{hb}^i \\ Q_{bs}^i & Q_{bh}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

olur. t_n zamanında ölçülen ağ şimdi, koordinatları x_s içinde toplanan ve sabit kabul edilen noktalara göre konumlandırılmaktadır. Bu datum k ile gösterilirse, (4.16) ayrımına uygun olarak;

$$G = \begin{bmatrix} G_s \\ G_h \\ G_b \end{bmatrix}; \quad B_k = E_k \cdot G = \begin{bmatrix} G_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

ile (4.3) eşitliğinden S_k transformasyon matrisi bulunmalı ve her periyot için;

$$x_k = S_k \cdot x_i \quad (4.17)$$

$$Q_{xx}^k = S_k \cdot Q_{xx}^i \cdot S_k^i \quad (4.18)$$

transformasyonları yapılmalıdır. Sabit kabul edilen noktaların koordinat farkları d_s ve bunların ağırlık katsayıları matrisi $(Q_{dd})_s$;

$$d_s = (x_s^k)_2 - (x_s^k)_1 \quad (4.19)$$

$$(Q_{dd})_s = (Q_{ss}^k)_1 + (Q_{ss}^k)_2 \quad (4.20)$$

eşitlikleriyle hesaplanır. x_e alt vektöründeki noktalardan her biri için R_s değeri hesaplanır.

$$R_s = d_s^T (Q_{dd})_s^+ d_s \quad (4.21)$$

Global test sonucu ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğunda karar verilmiş ise $(R_s)_{\min}$ olan noktadaki hareket anlamlı görülür ve bu nokta x_b vektörü içine alınır.

$$F = \frac{(R_s)_{\min}}{m^2 \cdot h_s} \quad (4.22)$$

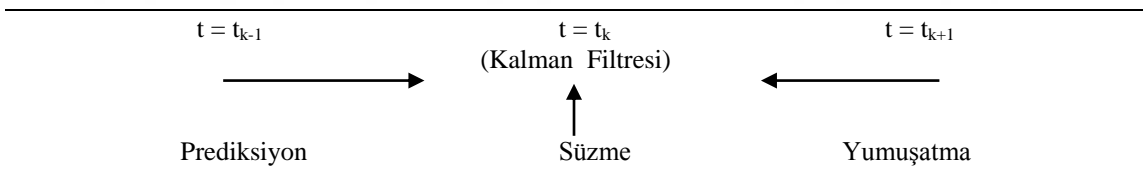
eşitliği ile test büyüklüğü hesaplanır. Test büyüklüğü $F_{h_s, f, 1-\alpha}$ sınır değerinden büyük çıkıyorsa, geriye kalan eşlenik noktalar için (4.15)-(4.22) işlemleri yenilenir. Öteki hareketli noktaların araştırması sürdürülür (Demirel, 1987; İnal ve Ceylan, 2002; Doğanalp ve Turgut, 2009).

5. KALMAN FİLTRELEME YÖNTEMİ İLE DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ

Kalman filtreleme yöntemi karmaşık sistemlerin optimal tahmininde kullanılan bir yöntemdir. 1960'ların başında Rudolf Emil Kalman ve Bucy tarafından geliştirilen bu yöntem Gauss, Wiener ve Kolmogoroff'un çalışmalarıyla sistem teorisinde bir tahmin yöntemi olarak geliştirilmiştir. İlk uygulamaları navigasyon problemlerinin çözümünde karşımıza çıkan Kalman filtresi 1980'lerin ortalarından itibaren jeodezik uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır (Gülal, 2012).

5.1. Kalman Filtreleme ile Analiz Aşamaları

Kalman filtreleme yöntemi, prediksyon (prediction, ekstrapolasyon), süzme (filtering) ve yumuşatma (smoothing) olmak üzere üç temel aşamadan oluşmakta ve zamana bağlı bilinmeyen parametrelerin en küçük kareler ilkesine göre kestirildiği uygulamalarda kullanılmaktadır (Doğanalp ve ark., 2007).



Şekil 5.1. Kalman Filtresi genel aşamaları

Kalman filtreleme yönteminde statik ve kinematik hareketler araştırılır. Bu yöntemin bilinen diğer yöntemlerden farkı ve olumlu yanı düzgün ve düzgün olmayan hareketlerin belirlenebilmesidir.

Kalman filtreleme yönteminde amaç, önceki periyot t_{k-1} zamanında bilinen hareket parametrelerinin, (yükseklik, hız, ivme) ekstrapolasyon yoluyla sonraki periyot olan t_k zamanındaki hareket parametrelerinin hesaplanmasıdır. Yani önceki periyodun hareket parametreleri biliniyorsa diğer periyodun hareket parametreleri bu yöntemle kolayca hesaplanır. t_k periyodunun hareket modelini gösteren ilk eşitliğin sırasıyla zamana göre birinci türevi hız ve ikinci türevi de ivme bileşenini verir (Öztürk ve Ünver, 1992). Tek boyutlu ağlarda hareket modeli;

$$H_i^{(k)} = H_i^{(k-1)} + v_i^{(k-1)}(t_k - t_{k-1}) + \frac{1}{2}a_i^{(k-1)}(t_k - t_{k-1})^2 \quad (5.1)$$

$$v_i^{(k)} = v_i^{(k-1)} + a_i^{(k-1)}(t_k - t_{k-1}) \quad (5.2)$$

$$a_i^{(k)} = a_i^{(k-1)} \quad (5.3)$$

eşitlikleriyle ifade edilebilir. Burada, $H_i^{(k)}$ ve $H_i^{(k-1)}$ i noktasının sırasıyla t_k ve t_{k-1} zamanlarındaki yükseklikleridir. v_i ve a_i i noktasının yüksekliğinin hızı ve ivmesidir.

Kalman filtresi her yeni periyotta tekrar başa dönerek çalışmasına devam eder. Bu tekrarlı yapı Kalman filtresinin en önemli özelliklerinden biridir. Bunun yanı sıra filtre tekrarlı yapısı içerisinde her öncül kestirimini, o ana kadar yapılmış tüm ölçüleri kullanarak hesaplar (Yalçinkaya ve Bayrak, 2003),(Li ve Peng, 2014).

Kalman filtreleme yöntemi kullanılarak çözüm üç periyot ölçüyle gerçekleştirilebilir. Kalman filtreleme tekniğinde, başlangıç anındaki parametreler t_{k-1} periyodu yardımıyla kestirilir. Sonuçta filtrelenmiş parametreler t_k periyodundaki ölçülerle kestirim bilgisi birleştirilerek hesaplanır. Eşitlik (5.1), (5.2) ve (5.3) matris formunda aşağıdaki gibi yazılabilir (Yalçinkaya, 2003; Turan vd., 2012; Li ve Peng, 2014);

$$\bar{Y}_k = \begin{bmatrix} H_i^{(k)} \\ v_i^{(k)} \\ a_i^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & I(t_k - t_{k-1}) & I\frac{1}{2}(t_k - t_{k-1})^2 \\ 0 & I & I(t_k - t_{k-1}) \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_i^{(k-1)} \\ v_i^{(k-1)} \\ a_i^{(k-1)} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

(5.4) eşitliğinin kısa gösterimi;

$$\bar{Y}_k = T_{k,k-1} \cdot \hat{Y}_{k-1} \quad (5.5)$$

(5.5) eşitliğinde; \bar{Y}_k , t_k periyodundaki öncül durum vektörü (konum, hız, ivme), \hat{Y}_{k-1} , t_{k-1} periyodundaki durum vektörü, $T_{k,k-1}$ kestirim matrisi, I birim matristir. Öncül durum vektörü ve ters ağırlık matrisi;

$$\bar{Y}_k = T_{k,k-1} \cdot \hat{Y}_{k-1} + N_{k,k-1} \cdot W_{k-1} \quad (5.6)$$

$$Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} = T_{k,k-1} \cdot Q_{\hat{Y}\hat{Y},k-1} \cdot T_{k,k-1}^T + N_{k,k-1} \cdot Q_{ww,k-1} \cdot N_{k,k-1}^T \quad (5.7)$$

biçiminde elde edilir. Burada N gürültü vektörü, W bozucu etkiler ivme vektörü, $Q_{\bar{Y}\bar{Y},k-1}$ ve $Q_{ww,k-1}$, sırasıyla t_{k-1} periyodundaki durum vektörünün kofaktör matrisi ve sistem gürültülerinin kofaktör matrisidir. Ölçülerin düzeltme denklemleri;

$$l_k + v_{l,k} = A_k \cdot \hat{Y}_k \quad (5.8)$$

ile (5.6) eşitliği birleştirilerek filtre aşamasının fonksiyonel ve stokastik modeli,

$$\begin{bmatrix} \bar{Y}_k \\ l_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ A_k \end{bmatrix} \hat{Y}_k - \begin{bmatrix} v_{\bar{Y},k} \\ v_{l,k} \end{bmatrix} ; Q_i = \begin{bmatrix} Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} & 0 \\ 0 & Q_{ll,k} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

şeklinde oluşturulur. Model çözülerek hareket parametreleri ve onlara ait kofaktör matrisleri hesaplanır (Yalçinkaya ve Bayrak, 2003; Yalçinkaya ve Bayrak, 2005; Bayrak, 2006; Turan ve ark., 2012).

$$Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} = Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} - K_k \cdot D_k \cdot K_k^T \quad (5.10)$$

Burada K_k kazanç matrisi;

$$K_k = Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} \cdot A_k^T \cdot D_k^{-1} \quad (5.11)$$

şeklinde elde edilir. t_k periyodundaki yenilik vektörü d_k ve onun varyans-kovaryans matrisi;

$$d_k = l_k - A_k \cdot \bar{Y}_k \quad (5.12)$$

$$D_k = Q_{ll,k} + A_k \cdot Q_{\bar{Y}\bar{Y},k} \cdot A_k^T \quad (5.13)$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplanır.

5.1.1. Kalman filtreleme yönteminin global testi

Kinematik model yaklaşımlarında temel amaç, nokta konumlarındaki değişimleri ya da güncel hareket durumunu tanımlamaktır. Global test yardımıyla güncel hareket modelinin, başka bir deyişle t_k zamanı için kestirilen (nokta konum koordinatları ile hız ve ivme bileşenlerinden oluşan) y_k durum vektörünün gerçeği yansıtıp yansıtmadığı saptanır (Doğan, 2002). Bu amaçla, ön kestirimle hesaplanan durum vektörü ile dengelemeyle (filtrelemeyle) bulunan durum vektörü arasındaki fark tespit edilir (Doğanalp, 2005). t_k periyodundaki filtrelenmiş yeni durum vektörü;

$$\hat{Y}_k = \bar{Y}_k + K_k \cdot d_k \quad (5.14)$$

eşitliği ile elde edilir. Son olarak yenilik vektörü d_k istatistik teste tabi tutulur.

Sıfır hipotezi;

$$H_0: E[d_k] = 0 \quad (5.15)$$

Alternatif hipotez;

$$H_1: E[d_k] \neq 0 \quad (5.16)$$

Test büyüklüğü;

$$T = \frac{d_k^T D_k^{-1} d_k}{n_k \cdot s_0^2} < F_{n_k, f, 1-\alpha} \quad (5.17)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlik (5.17)'de n_k ölçü sayısı, s_0^2 önceki kestirimden hesaplanan varyanstır. H_0 hipotezinin geçerli olması hesaplanan sonuçların kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Yalçinkaya, 2003).

5.1.2. Hareket parametrelerinin anlamlılık testi

Lokal istatistiksel test olarak tek nokta testi, anlamlılık düzeyinde bileşenden bileşene her nokta için yapılır (Aharizad ve ark., 2012).

Kalman filtreleme yöntemi ile hesaplanan yeni durum vektöründeki konum, hız ve ivme parametrelerinin anlamlı olup olmadıkları test edilmelidir. Her noktanın konum, hız ve ivme bilinmeyenlerinin testi için test büyüklükleri;

$$T_{H_i^{(k)}} = \frac{|H_i|}{m_{H_i}}, \quad T_{V_i^{(k)}} = \frac{|V_i|}{m_{V_i}}, \quad T_{a_i^{(k)}} = \frac{|a_i|}{m_{a_i}} \quad (5.18)$$

eşitlikleri ile hesaplanır (Yalçinkaya, 2001; Doğanalp ve ark., 2005). Hesaplanan test büyüklükleri $t_{2, n_k, 1-\frac{\alpha}{2}}$ tablo değerinden büyükse hesaplanan parametrelerin anlamlı olduğu kanısına varılır (Öztürk ve Ünver, 1992; Ünver, 1996; Doğanalp ve Turgut, 2009; Aharizad ve ark., 2012).

5.2. Kalman filtreleme yönteminde başlangıç periyodunda yapılacak işlemler

Kalman filtreleme analizinin yapılabilmesi için t_{k-1} periyodundaki hareket parametrelerinin (konum, hız, ivme) ve bunların kovaryans matrislerinin bilinmesi

gerekmektedir. Fakat başlangıç periyodunda bunlar bilinmemektedir. Bu bilgiler, ancak t_0 , t_1 ve t_2 periyotlarının değerlendirilmesinden sonra elde edilirler (Doğanalp, 2005).

Başlangıç işlemleri için öncelikle katsayılar matrisi A , ağırlıklar yardımıyla bulunan N matrisi, ölçülerin serbest dengelenmesiyle bulunan karesel ortalama hata m_0 , birinci periyot ile ikinci ve üçüncü periyot ölçülerinin dengelenmesi sonucu bulunan değerlerin fark vektörleri olan d ve d_2 ile ikinci ve üçüncü periyotlara ait ağırlıklar ve (P_2, P_3) ve ölçülere (L_2, L_3) ait verilerin olması gerekmektedir.

5.2.1. Sıfır periyodu (t_0) değerlendirilmesi

Sıfır periyodunun değerlendirilmesinde ölçülerin türüne göre kurulan matematik modelin dengelenmesi sonucunda ağ noktalarının konum bilinmeyenleri ve bunlara ait ağırlık katsayıları matrisi elde edilir (Doğanalp, 2005).

$$Y_0^T = [x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad x_n \quad y_n \quad z_n] \quad (5.19)$$

$$Q_{yy,0} = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} \\ Q_{yx} & Q_{yy} & Q_{yz} \\ Q_{zx} & Q_{zy} & Q_{zz} \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

5.2.2. Birinci periyodun (t_1) değerlendirilmesi

Öncelikle A katsayılar matrisi birinci periyotta hesaplanacak hız kadar sıfırla genişletilir. Hız bilinmeyenlerinin hesaplanması için sıfır periyodundaki durum vektörü de hesaplanacak hız kadar sıfırla genişletilir.

$$\hat{Y}_0^T = [x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad x_n \quad y_n \quad z_n \quad 0 \quad \cdot \quad \cdot \quad 0] \quad (5.21)$$

(5.20) eşitliğindeki kovaryans matrisi, hız parametresi için yapılan tahminlerle aşağıdaki gibi türetilerek genişletilir.

$$Q_{\hat{y}\hat{y},0} = \begin{bmatrix} Q_{yy,0} & Q_{yy,0} \\ Q_{yy,0} & Q_{yy,0} \end{bmatrix} \quad (5.22)$$

$Q_{yy,0}$ sıfır periyodundaki kovaryans matrisidir. Hız ile konum arasında kolerasyon olmadığı varsayımı yapıldığından, ilgili matrisler sıfır alınır.

Ölçülerin düzeltme denklemi,

$$l_1 + v_{1,1} = A_1 \hat{Y}_1 = [A_{\text{konum}} \quad 0] \begin{bmatrix} Y \\ \dot{Y} \end{bmatrix}_1 \quad (5.29)$$

A_1 ve A_{konum} birinci periyottaki konum (x,y,z) bilgileri için katsayılar matrisi l_1 ve $v_{1,1}$ birinci periyodun ölçüleri ve düzeltmeleridir.

Oluşturulan matrislerle gerekli işlem adımları izlenerek birinci periyodun durum vektörü ve kovaryans matrisi hesaplanmış olur.

$$\hat{Y}_1 = \begin{bmatrix} Y \\ \dot{Y} \end{bmatrix}_1 \quad Q_{\hat{y}\hat{y},1} = \begin{bmatrix} Q_{yy} & Q_{y\dot{y}} \\ Q_{y\dot{y}} & Q_{\dot{y}\dot{y}} \end{bmatrix}_1 \quad (5.30)$$

Birinci periyotta hız bilinmeyenleri hesaplanabilir. Bunun için sıfır periyodundaki durum vektörü, hesaplanacak hız kadar sıfırla genişletilir (Doğanalp, 2005).

Noktaların hızlarını da içeren yeni durum vektörü hesaplanır. Hesaplanan hızlar ve hızların ters ağırlık matrisi yardımıyla genişletilmiş kısmın ortalama hatası bulunur. Bundan maksat öncül ortalama hata ve yeni bulunan ortalama hata ile bir test büyüklüğü elde edilip tablo değeriyle karşılaştırılarak modelin tekrar genişletilmesine gerek olup olmadığı test edilir.

5.2.3. İkinci periyodun (t_2) değerlendirilmesi

$$\hat{Y}_1^T = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ \dots \ x_n \ y_n \ z_n \ \dot{x}_1 \ \dot{y}_1 \ \dot{z}_1 \ \dots \ \dot{x}_n \ \dot{y}_n \ \dot{z}_n \ 0 \ \dots \ 0] \quad (5.31)$$

Artık ikinci periyotta ivme bilinmeyenleri hesaplanabilir. Bunun için sıfır periyodundaki durum vektörü, hesaplanacak ivme kadar sıfırla genişletilir (Doğanalp, 2005). Kalman filtreleme işleminin ikinci aşamasında fonksiyonel model ivme parametresiyle genişletilerek karesel model oluşturulur ve hesaplamalar yapılır. Yapılan işlemler sonucunda elde edilen hareket parametreleri anlamlılık testine tabi tutulur. Konum , hız ve ivme değerleri tablo değerleri ile karşılaştırılmak suretiyle anlamlı bir hareket olup olmadığı test edilir.

$$\hat{Y}_2 = \begin{bmatrix} Y \\ \dot{Y} \\ \ddot{Y} \end{bmatrix}_2 \quad Q_{\hat{Y}\hat{Y},2} = \begin{bmatrix} Q_{yy} & Q_{y\dot{y}} & Q_{y\ddot{y}} \\ Q_{\dot{y}y} & Q_{\dot{y}\dot{y}} & Q_{\dot{y}\ddot{y}} \\ Q_{\ddot{y}y} & Q_{\ddot{y}\dot{y}} & Q_{\ddot{y}\ddot{y}} \end{bmatrix}_2 \quad (5.32)$$

6. UYGULAMA

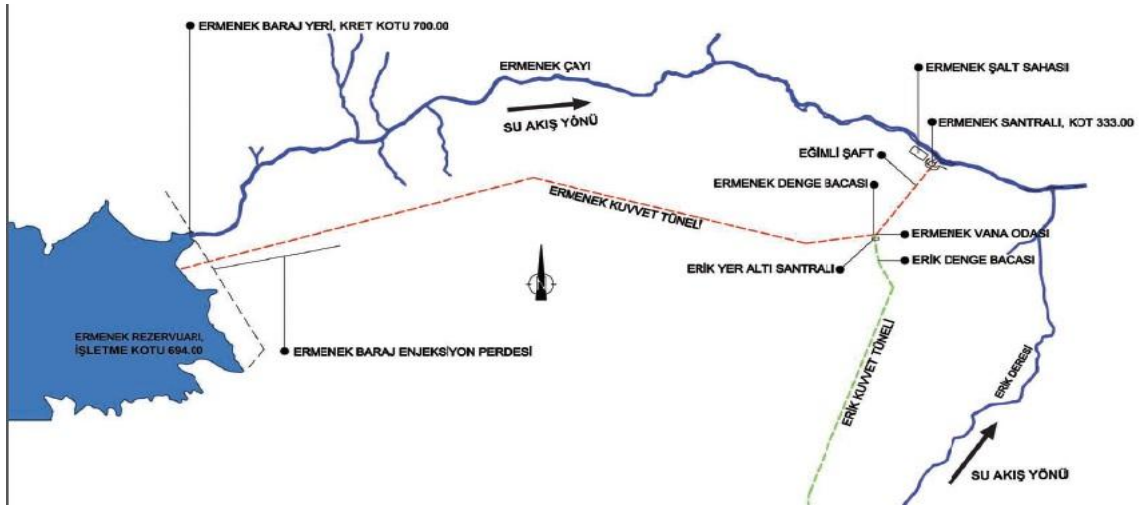
6.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Ermenek Barajı DSİ 4. Bölge Müdürlüğü sorumluluk sahasındaki Karaman İli, Ermenek İlçesinde gerçekleştirilen bir proje ile inşa edilmiştir. Bu proje büyük bir uluslararası konsorsiyumda bir Türk firmanın lider olarak yer aldığı ilk projedir. Karaman'da bulunan Göksu Nehri'nin Ermenek Çayı üzerinde, enerji üretmek amacıyla 2002 yılında inşa edilmeye başlanmış olan Ermenek Barajı, Görmel Boğazında oldukça sarp ve dik uçurumların bulunduğu vadidedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Ermenek barajı lokasyonu

Ermenek Barajı ve Hes Projesi; sözleşmesi 2002 yılında imzalanan bir Türk ve 5 yabancı ortak firma tarafından oluşturulan "Ermenek Konsorsiyumu" tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.2'de baraj ve hes projesi genel yerleşimi görülmektedir.



Şekil 6.2. Baraj ve hes projesi genel yerleşimi

Ermenek Barajı ve Hes, çift eğrilikli asimetric ince kemer beton gövdesi, memba ve mansap batardosu, sol sahilde iki adet derivasyon tüneli, sağ ve sol sahilde birer adet dolu savak tüneli, gövde altında bir adet dip savak, enjeksiyon ve ulaşım galerileri, kuvvet tüneli ve santral binasından oluşmaktadır (BMHoldingAş, 2009). Baraj ince beton kemer gövde ve dolgu tiplidir. Barajın gövde hacmi 272.000 m^3 'tür ve akarsu yatağından yüksekliği 210.00 m 'dir. Normal su kotunda göl hacmi $4,582.00 \text{ hm}^3$, normal su kotunda göl alanı 58.74 km^2 'dir. Barajın yıllık 306 MW güç ile 1.048 GWh 'lik enerji üretmesi planlanmaktadır. Su toplamaya 10 Ağustos 2009 günü başlamıştır. Şekil 6.3'te baraj inşaatı şantiye alanı ve baraj gövdesi görülmektedir.



Şekil 6.3. Baraj inşaatı şantiye alanı ve baraj gövdesi genel görünümü

Baraj inşaatı ile ilgili bilgiler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İşe Başlama Tarihi : 05.07.2002
- Gövde Temel Beton Başlangıcı : 06.09.2007
- Su Tutma Tarihi : 10.08.2009
- Gövde Tamamlanma Tarihi : 25.10. 2009



Şekil 6.4. Baraj gövde inşaatının mansap tarafından görünümü

Baraj gövde inşaatının mansap tarafından fotoğrafı Şekil 6.4'te ve yine mansap tarafından zeminden görünüşü Şekil 6.5'te verilmiştir ve baraj gövdesi ile ilgili genel bilgiler aşağıdaki gibidir:

- Tipi : Çift Eğrilikli Asimetrik İnce Beton Kemer
- Talvegden Yükseklik : 210,00 m
- Temelden Yükseklik : 218,00 m
- Kret Kotu : 700,00 m
- Kret Uzunluğu : 123,00 m
- Kret Genişliği : 7,00 m
- Talveg Genişliği : 25,00 m
- Beton Hacmi : 305.000,00 m³

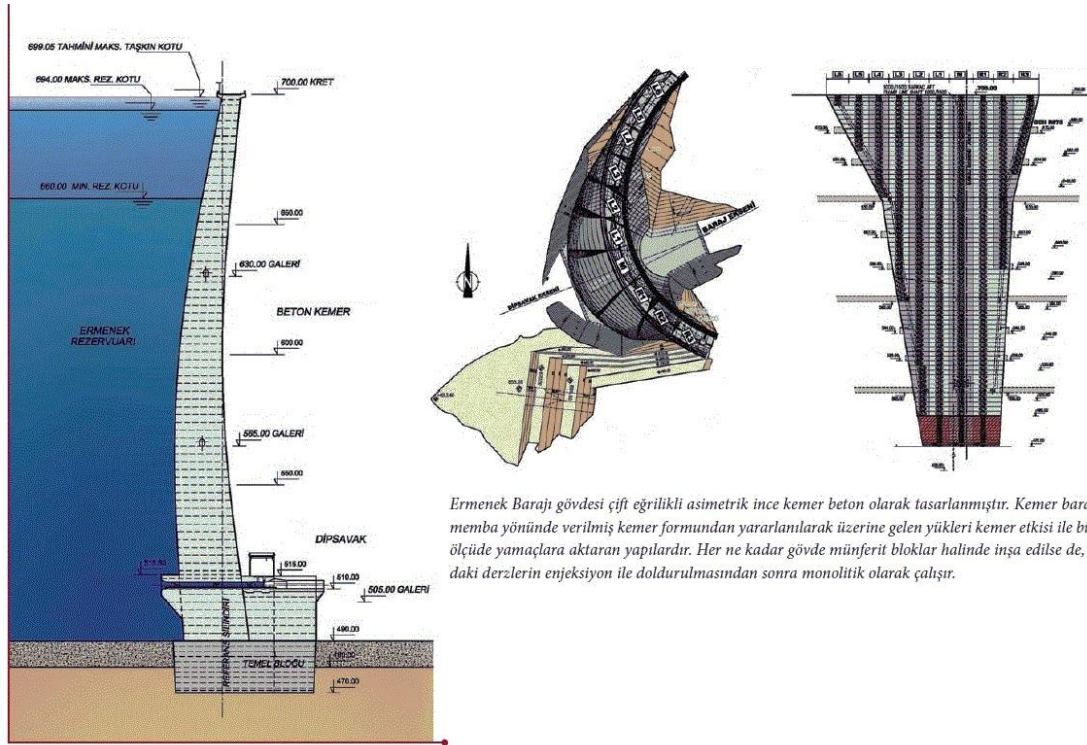


Şekil 6.5. Baraj gövdesi mansap tarafı zeminden görünümü

Baraj rezervuarına ilişkin bilgiler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Mak. Taşkın Su Kotu : 699,05 m
- Mak. İşletme Su Kotu : 694,00 m
- Min. İşletme Su Kotu : 660,00 m
- Talveg Kotu : 490,00 m
- Toplam Depolama Kapasitesi : 4.582.580.000 m³
- Faydalı Depolama Kapasitesi : 1.747.380.000 m³
- Rezervuar Alanı : 61,45 km² (700 Kotunda)

Kemer barajlar, memba yönünde verilmiş kemer formundan yararlanılarak üzerine gelen yükleri kemer etkisi ile büyük ölçüde yamaçlara aktaran yapılardır. Her ne kadar gövde münferit bloklar halinde inşa edilse de, aralarındaki derzlerin enjeksiyon ile doldurulmasından sonra monolitik olarak çalışmaktadır (BMHoldingAş, 2009). Şekil 6.6'da baraj gövde betonu dökme projesi verilmiştir.



Şekil 6.6. Gövde betonu dökme projesi

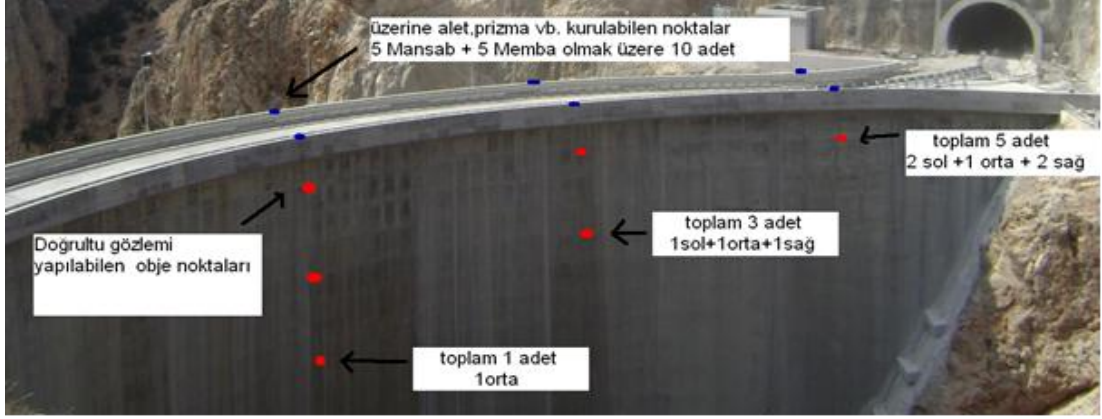
6.2. Ermenek Barajında Yapılan Deformasyon Ölçüleri ve Analizi

Ermenek Barajının su seviyesinin yükselmesi ve çevresel etkilerle baraj gövdesinde oluşabilecek olası yatay ve düşey yönlü hareketlerin izlenmesi amacıyla gövde ve kret üzerindeki noktalardan oluşan mikro jeodezik ağ kurulmuştur.

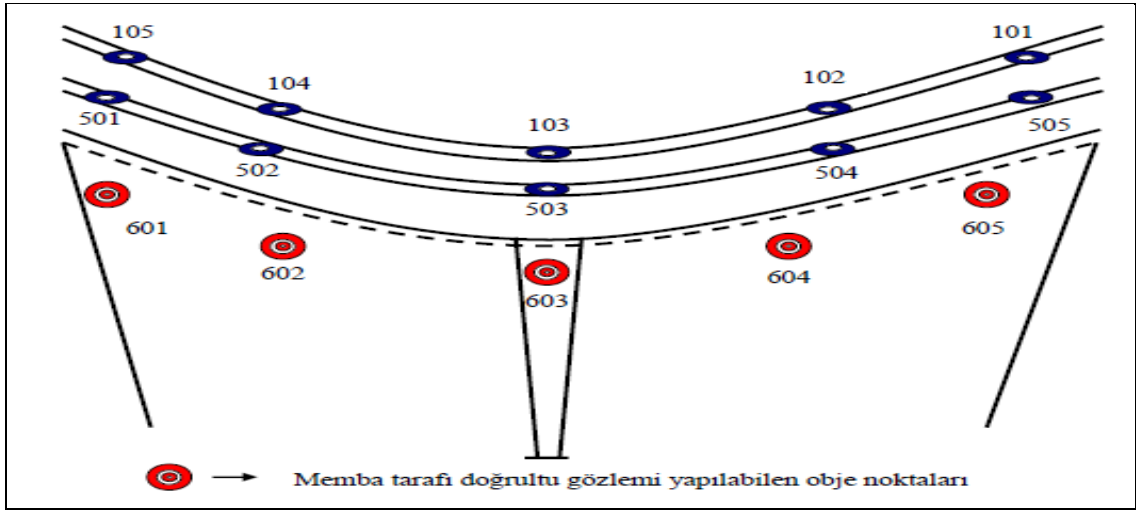
Baraj üzerinde düşey hareketlerin izlenmesi amacıyla tesis edilen nivelman noktaları obje noktasıdır ve bu noktaların mutlak hareketlerinin belirlenmesi amacıyla kretin her iki tarafında deformasyon bölgesinde olmayan bölgede iki adet düşey referans noktası tesis edilmiştir.

Düşey referans noktalarının tesis edildiği zemin sağlam ve düşey yönde hareketin olmayacağı bir bölgededir. Baraj Gövdesinde Kret üstünde ve mansap tarafında tesis edilen obje noktalarının sayıları ve yaklaşık yerleri Şekil 6.7’de, baraj kreti ve mamba tarafındaki obje noktalarının dağılımı Şekil 6.8’de, baraj kreti ve mansap tarafındaki obje noktalarının dağılımı Şekil 6.9’da görülmektedir.

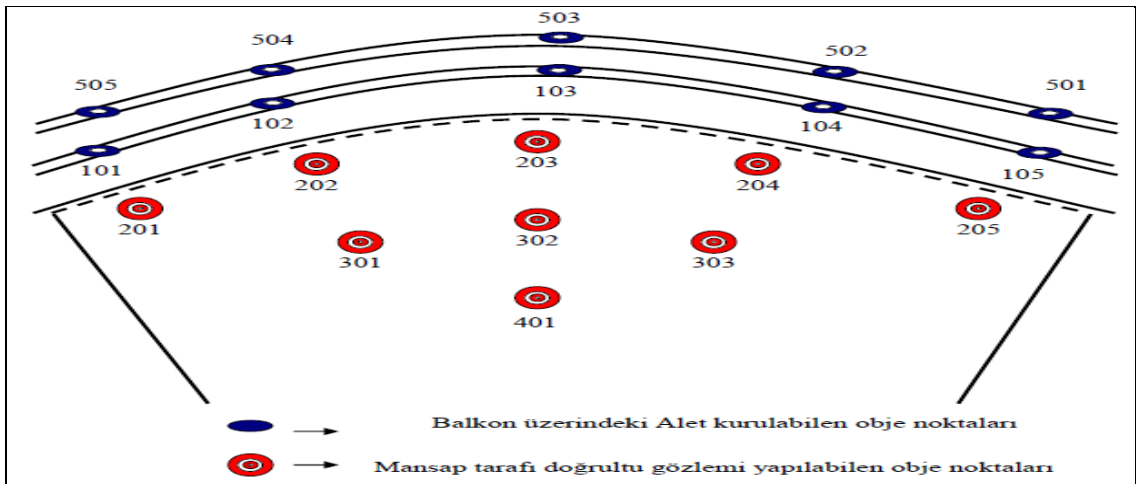
Obje noktalarının işaretlenmesinde özel hedef levhaları tasarlanmış ve bunlar baraj gövdesine yerleştirilerek ölçüler bu hedefler kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.10-6.11).



Şekil 6.7. Baraj gövdesinde tesis edilen obje noktalarının konumlarına ve sayılarına ilişkin bilgiler



Şekil 6.8. Baraj kreti ve memba tarafındaki obje noktalarının dağılımı



Şekil 6.9. Baraj kreti ve mansap tarafındaki obje noktalarının dağılımı



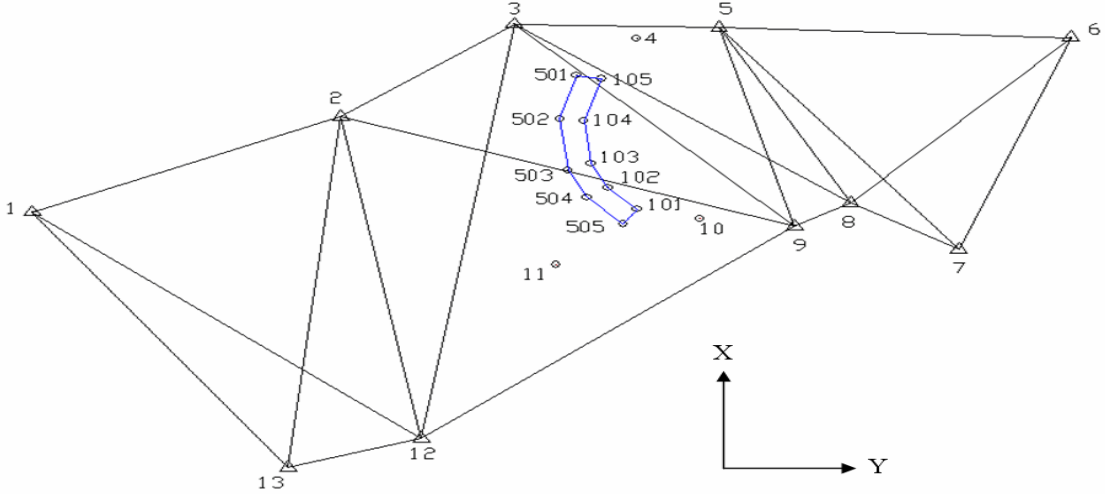
Şekil 6.10. Baraj gövdesinin her iki tarafına yerleştirilmiş obje noktaları hedef levhası



Şekil 6.11. Baraj Kreti obje noktasına monte edilmiş tribrah ve GPH1P hassas prizma

Yatay hareketlerin izlenmesi amacıyla baraj gövdesinin çevresinde pilye olarak tesis edilmiş referans noktalarının baraj etrafındaki dağılımı Şekil 6.12’de görüldüğü gibidir.

Referans ve obje noktalarının gösterildiği şekilde aynı zamanda noktalar arası yapılan açı ve mesafe gözlemlerine ait bakışlar da Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.12. Referans ve kret üstü obje noktalarından oluşan yatay yönlü deformasyon izleme ağı

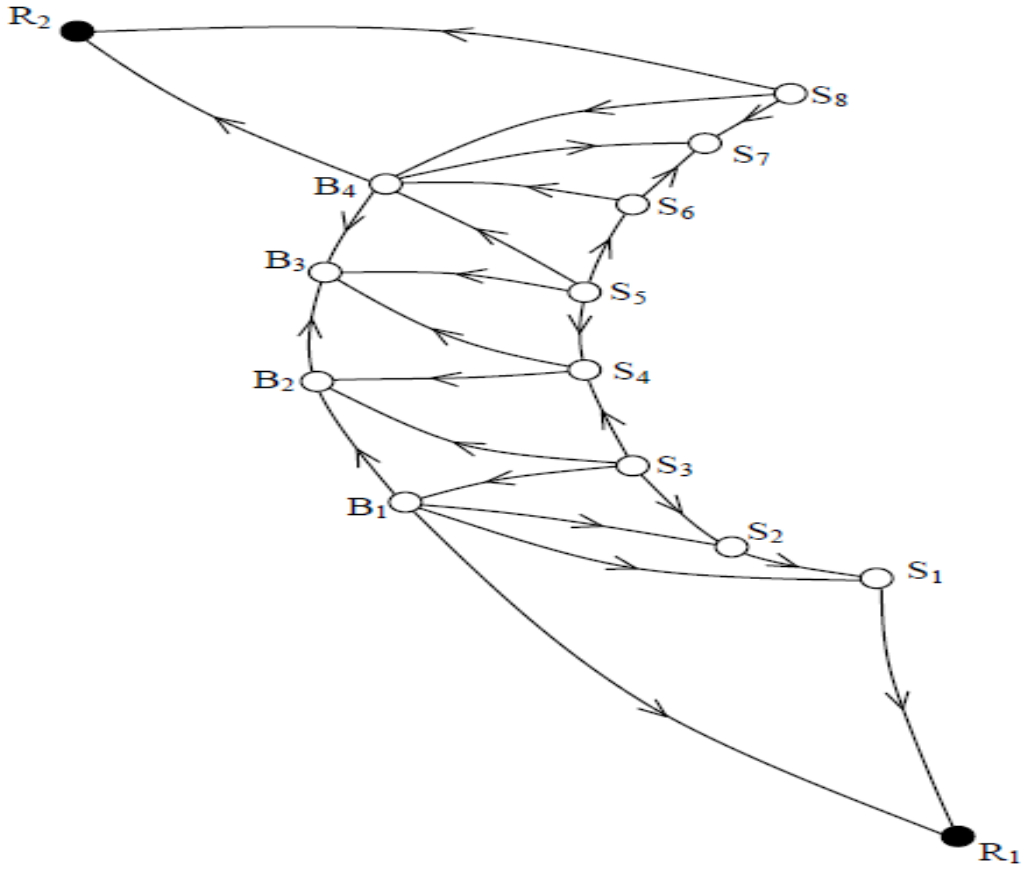
Tesis edilen pilyelerden 4,10 ve 11 nolu noktalar baraj deformasyon alanı içerisinde olabileceği için obje noktası olarak kabul edilmiştir. Bu durumda, referans noktaları 1,2,3,5,6,7,8,9,12 ve 13 olarak belirlenmiştir.

Ermenek barajında düşey yöndeki deformasyonların izlenmesi amacıyla baraj deformasyon alanı dışında, düşey yönlü hareket beklenmeyen sert yerli kaya kütleleri üzerine, barajın hem sağ hem de sol tarafında olmak üzere 2 adet referans noktası tesis edilmiştir (Şekil 6.13).

Baraj gövdesi üzerinde ise 4'ü menba 8'i mansap tarafında olmak üzere 12 adet obje noktası tesis edilmiş, mansap tarafında tesis edilen noktalar S ile, diğerleri ise B ile numaralandırılmıştır. Toplamda 14 noktalı bir nivelman ağı oluşturulmuştur. Bu noktaların dağılımı ve ölçülen yükseklik farklarına ait nivelman ağı Şekil 6.14'de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.13. Kret üstünde muhafazalı obje noktası ile yerleşik kayada tesisli R1 ve R2 referans noktaları



Şekil 6.14. Referans ve obje noktalarından oluşan düşey yönlü deformasyon izleme ağı

Kurulan nivelman ağında periyot ölçüleri, hassas nivelman yöntemiyle Leica DNA03 hassas sayısal nivo ve invar barkodlu miralar kullanılarak gidiş-dönüş şeklinde yapılmıştır (Şekil 6.15).



Şekil 6.15. Nivelman ölçülerinde kullanılan Leica DNA03 nivo ve invar barkodlu mira

İnvar barkodlu miralar ile beraber kullanılan Leica DNA03'ün yükseklik farkı ölçme doğruluğu 0.3 mm/km, standart miralarla kullanılması durumunda ise 1 mm/km'dir. Leica DNA03; 6000 adet noktaya kayıt imkanı sağlayan hafızaya, 24x dürbün büyütmesine ve gözlem eksenini otomatik olarak yatay duruma getiren manyetik alan sönmülemeli kompensatöre sahiptir. Kompensatörün gözlem eksenini yataylama doğruluğu 0.3" ve aletin tam dolu batarya ile çalışma süresi 24 saattir.

Ermenek barajında statik ve kinematik yöntemlerle düşey yöndeki deformasyonların araştırılması amacıyla kurulan nivelman ağında Aralık 2010, Aralık 2011, Mayıs 2012, Temmuz 2012, Mart 2013 ve Şubat 2014 tarihlerinde yapılan altı periyot ölçü kullanılmıştır. Barajın kreti üzerinde oluşturulan nivelman ağının statik modelde deformasyon analizi S-transformasyonu yardımıyla, kinematik modelde deformasyon analizi ise Kalman filtreleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle periyot ölçüleri ayrı ayrı serbest ağ dengelemesi yöntemiyle dengelenmiş ve her periyot için noktaların dengelenmiş yükseklikleri ters ağırlık matrisleri ve birim ölçünün karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Periyot ölçülerinin dengeleme sonuçlarına ilişkin veriler Çizelge 6.1 ve 6.2 'de görülmektedir.

Çizelge 6.1. Ağa ilişkin serbest dengeleme sonuçları

Periyotlar	Aralık 2010	Aralık 2011	Mayıs 2012
Karesel ortalama hata (mm)	$m_0 = 0.37$	$m_0 = 0.27$	$m_0 = 0.35$
Dengelenmiş yükseklikler (m)			
R1	100.0000	99.9995	99.9991
S1	92.1883	92.1880	92.1878
S2	92.1648	92.1646	92.1651
S3	91.8174	91.8176	91.8180
S4	91.8277	91.8281	91.8287
S5	91.8170	91.8179	91.8185
S6	91.9517	91.9519	91.9521
S7	92.1142	92.1143	92.1149
S8	91.9681	91.9681	91.9687
B1	92.1010	92.1008	92.1000
B2	92.2166	92.2165	92.2153
B3	92.2217	92.2215	92.2205
B4	92.0805	92.0802	92.0797
R2	92.3629	92.3628	92.3634

Çizelge 6.2. Ağa ilişkin serbest dengeleme sonuçları

Periyotlar	Temmuz 2012	Mart 2013	Şubat 2014	
Karesel ortalama hata (mm)	$m_0 = 0.26$	$m_0 = 0.29$	$m_0 = 0.42$	
Dengelenmiş yükseklikler (m)	R1	99.9972	100.0002	100.0007
	S1	92.1870	92.1886	92.1889
	S2	92.1655	92.1651	92.1650
	S3	91.8198	91.8172	91.8170
	S4	91.8307	91.8278	91.8274
	S5	91.8206	91.8178	91.8173
	S6	91.9533	91.9519	91.9516
	S7	92.1146	92.1152	92.1152
	S8	91.9674	91.9694	91.9694
	B1	92.0994	92.0997	92.1000
	B2	92.2152	92.2148	92.2151
	B3	92.2203	92.2202	92.2203
	B4	92.0792	92.0797	92.0797
	R2	92.3617	92.3642	92.3642

Dengeleme işlemlerinden sonra ölçülerde uyuşumsuz ölçü olup olmadığı araştırılmıştır. Pope yöntemine göre yapılan uyuşumsuz ölçü araştırmasında herhangi bir uyuşumsuz ölçüye rastlanmamıştır. Ardından periyot ölçülerinin dengelenmesi sonucu hesaplanan varyansların homojenlik testi gerçekleştirilmiş (Çizelge 6.3) ve statik deformasyon analizine geçilmiştir.

Çizelge 6.3. Varyansların homojenlik testi

Karşılaştırma	Test Büyüklüğü (T)	Tablo Değeri	Karar
Aralık 2010 - Aralık 2011	1.88	$F_t = 2.69$	T < F_t olduğundan varyanslar homojendir.
Aralık 2010 - Mayıs 2012	1.12		
Aralık 2010 - Temmuz 2012	2.03		
Aralık 2010 - Mart 2013	1.63		
Aralık 2010 - Şubat 2014	1.29		

Çizelge 6.3 incelendiğinde periyot ölçülerinin dengelenmesi sonucu hesaplanan varyansların $\alpha = 0.05$ güven seviyesinde homojen olduğu, başka bir deyişle periyot ölçülerinin birbirleriyle uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Statik modelde analiz işlemleri Aralık 2010 periyodu referans alınarak S-transformasyonu yöntemiyle yapılmıştır. S-transformasyonu ile analiz sonuçları Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Statik deformasyon analizi sonuçları

Ölçü Tarihi	Aralık	Aralık	Mayıs	Temmuz	Mart	Şubat
	2010	2011	2012	2012	2013	2014
	(t ₀)	(t ₁)	(t ₂)	(t ₃)	(t ₄)	(t ₅)
Karesel Ort. Hata (mm)	0.37	0.27	0.35	0.26	0.29	0.42
Baraj Kotu (m)	635.6	664.9	689.5	693.3	688.5	674.7
Karşılaştırma		t ₀ - t ₁	t ₀ - t ₂	t ₀ - t ₃	t ₀ - t ₄	t ₀ - t ₅
Deformasyona Uğrayan Noktalar		S5,S4,	B2,B3,	B2,B3,	B2,B3,	B2,B3,
		S3,B4,	B4,B1,	B4,B1,	B4,B1,	B4,B1,
		S6,S7	S5,S1,	S1,S5,	S6,S3,	S6,S3,
			S4,R1,	S4,S3,	S4,S8,	S4,S5,
			S3,S7	S6,S7,	R2,R7,	S2,S8,
				S2,R1	S5	S1,R2

Bu değerlendirmenin sonucunda deformasyona uğrayan noktalar belirlenmiştir. Statik deformasyon analizinden sonra kinematik modelde Kalman filtreleme ile analiz yöntemine geçilmiştir. Öncelikle statik model çözülerek birim ölçünün karesel ortalama hatası hesaplanmış ve sonra bu model hız parametresiyle genişletilerek doğrusal model Kalman filtreleme yöntemiyle çözülmüştür. Noktalara ilişkin hızlar hesaplanmıştır.

İrdelemenin ilk adımında global test yapılmıştır. Test sonucunda ikinci periyottaki gözlem vektörü ile Kalman filtreleme yönteminde predikte durum vektörü kullanılarak elde edilen gözlem vektörü arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. İşleme devam edilerek hesaplanan hızlar ve hızların ters ağırlık matrisi yardımıyla genişletilmiş kısmın ortalama hatası hesaplanmıştır. Bu değer ve öncül ortalama hata değeri kullanılarak bir test büyüklüğü hesaplanmış ve tablo değeri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda modelin bir adım daha genişletilebileceğine; yani karesel modelin uygun model olduğuna karar verilmiştir. Bu işlemlere ilişkin veriler Çizelge 6.5'te görülmektedir.

Çizelge 6.5. Kinematik modelde Kalman filtreleme yönteminin istatistik test sonuçları

Periyot	Ortalama Hata, Test Büyüklüğü ve Tablo Değeri	Global Test	Fonksiyonel Mod. Gen. Testi	Karar
Aralık 2010 - Aralık 2011	S ₀ (öncül) (m)	0.37	0.19	Model genişletilebilir.
	m ₀ (soncul) (m)	0.19	0.06	
	T (Test)	3.86	9.88	
	q (F Tablo)	2.50	2.06	
Aralık 2010 - Mayıs 2012	S ₀ (öncül) (m)	0.37	0.24	Model genişletilebilir.
	m ₀ (soncul) (m)	0.24	0.14	
	T (Test)	2.34	3.20	
	q (F Tablo)	2.50	2.06	
Aralık 2010 - Temmuz 2012	S ₀ (öncül) (m)	0.37	0.19	Model genişletilebilir.
	m ₀ (soncul) (m)	0.19	0.32	
	T (Test)	3.91	2.78	
	q (F Tablo)	2.50	2.06	
Aralık 2010 - Mart 2013	S ₀ (öncül) (m)	0.37	0.21	Model genişletilebilir.
	m ₀ (soncul) (m)	0.21	0.15	
	T (Test)	3.22	1.84	
	q (F Tablo)	2.50	2.06	
Aralık 2010 - Şubat 2014	S ₀ (öncül) (m)	0.37	0.30	Model genişletilebilir.
	m ₀ (soncul) (m)	0.30	0.15	
	T (Test)	1.59	3.69	
	q (F Tablo)	2.50	2.06	

Çizelge 6.5 incelendiğinde kinematik model çözümlerinin $\alpha = 0.05$ güven seviyesi için yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği ve fonksiyonel modelin de ivme parametresiyle genişletilebileceği görülmektedir. Bu doğrultuda en uygun modelin karesel model olduğuna karar verilmiştir. Kalman filtreleme işleminin ilk aşamasında hesaplanan hareket parametrelerinden hangilerinin anlamlı olduğunu belirlemek amacıyla nokta konumlarına ve hızlarına ilişkin test büyüklükleri hesaplanmıştır. İlk aşamada statik ve kinematik modeller belirlenen anlamlı hareketler Çizelge 6.6 – 6.8. 'de görülmektedir.

Çizelge 6.6. Aralık 2010 – Mayıs 2012 dönemlerine ait statik ve kinematik model sonuçları

Aralık 2010 - Aralık 2011				Aralık 2010 - Mayıs 2012			
Nok. No	Statik Model (S-Trans.)	Kinematik Model (Kalman Filtre)		Nok. No	Statik Model (S-Trans.)	Kinematik Model (Kalman Filtre)	
	Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)		Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)
R1	---	-0.48	-0.04	R1	-0.92	-0.92	-0.05
S1	---	-0.31	-0.03	S1	-0.52	-0.51	-0.03
S2	---	-0.21	-0.02	S2	---	---	---
S3	0.26	0.31	0.03	S3	0.63	0.68	0.04
S4	0.45	0.42	0.03	S4	0.99	0.95	0.06
S5	0.89	0.90	0.07	S5	1.45	1.46	0.09
S6	0.25	0.23	0.02	S6	---	0.43	0.03
S7	0.10	0.07	---	S7	0.71	0.68	0.04
S8	---	---	---	S8	---	0.57	0.03
B1	---	-0.21	-0.02	B1	-0.95	-0.96	-0.06
B2	---	-0.12	-0.01	B2	-1.39	-1.34	-0.08
B3	---	-0.17	-0.01	B3	-1.14	-1.15	-0.07
B4	-0.31	-0.27	-0.02	B4	-0.80	-0.77	-0.05
R2	---	-0.13	-0.01	R2	---	0.51	0.03

Çizelge 6.7. Aralık 2010 – Mart 2013 dönemlerine ait statik ve kinematik model sonuçları

Aralık 2010 - Temmuz 2012				Aralık 2010 - Mart 2013			
Nok. No	Statik Model (S-Trans.)	Kinematik Model (Kalman Filtre)		Nok. No	Statik Model (S-Trans.)	Kinematik Model (Kalman Filtre)	
	Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)		Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)
R1	-2.82	-2.81	-0.15	R1	---	0.23	---
S1	-1.32	-1.31	-0.07	S1	---	0.27	0.01
S2	0.75	0.71	0.04	S2	---	0.32	0.01
S3	2.40	2.46	0.13	S3	-0.14	---	---
S4	3.04	3.01	0.16	S4	0.14	---	---
S5	3.55	3.55	0.19	S5	0.75	0.76	0.03
S6	1.66	1.65	0.09	S6	0.20	---	0.01
S7	0.46	0.44	0.02	S7	1.05	1.03	0.04
S8	---	-0.74	-0.04	S8	1.30	1.29	0.05
B1	-1.56	-1.56	-0.08	B1	-1.25	-1.26	-0.05
B2	-1.50	-1.45	-0.08	B2	-1.87	-1.82	-0.07
B3	-1.42	-1.43	-0.08	B3	-1.52	-1.54	-0.06
B4	-1.30	-1.26	-0.07	B4	-0.85	-0.81	-0.03
R2	---	-1.24	-0.07	R2	1.35	1.33	0.05

Çizelge 6.8. Aralık 2010 - Şubat 2014 dönemlerine ait statik ve kinematik model sonuçları

Nokta No	Aralık 2010 - Şubat 2014		
	Statik Model (S-Trans.)	Kinematik Model (Kalman Filtre)	
	Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)
R1	---	0.73	0.02
S1	0.54	0.55	0.01
S2	0.23	---	---
S3	-0.38	-0.33	-0.01
S4	-0.28	-0.32	-0.01
S5	0.29	0.30	0.01
S6	-0.06	---	---
S7	---	1.00	0.03
S8	1.33	1.32	0.03
B1	-1.00	-1.00	-0.03
B2	-1.57	-1.53	-0.04
B3	-1.36	-1.38	-0.04
B4	-0.80	-0.76	-0.02
R2	1.30	1.28	0.03

Çizelgeler 6.6 – 6.8 incelendiğinde, bütün noktaların statik modelle hesaplanan yükseklik bilinmeyenleri ile kinematik modelden hesaplanan yükseklik bilinmeyenleri birbirine yakın ve hareket yönleri aynıdır.

Kalman filtreleme işleminin ikinci aşamasında fonksiyonel model ivme parametresiyle genişletilerek karesel model oluşturulmuş ve hesaplamalar yapılmıştır. Yine bu aşamada da hesaplanan hareket parametreleri anlamlılık testine tabi tutulmuş ve anlamlı nokta hareket değerleri tabloya alınmış diğerleri tabloda belirtilmemiştir. Statik yöntem ve Kalman filtreleme ile genişletilmiş kinematik modelde belirlenen hareketler Çizelge 6.9 ve 6.10'da görülmektedir.

Çizelge 6.9. Aralık 2010 - Temmuz 2012 dönemlerine ait statik ve kinematik model sonuçları

Aralık 2010 - Aralık 2011 – Mayıs 2012					Aralık 2010 -Mayıs 2012 – Temmuz 2012				
Nok. No	Statik Model (S-Trans.)		Kinematik Model (Kalman Filtre)		Nok. No	Statik Model (S-Trans.)		Kinematik Model (Kalman Filtre)	
	Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)	İvme (mm/ay ²)		Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)	İvme (mm/ay ²)
R1	-0.92	-0.92	---	---	R1	-2.82	-2.81	---	---
S1	-0.52	-0.51	0.00	0.00	S1	-1.32	-1.31	---	---
S2	---	0.34	---	---	S2	0.75	0.71	---	---
S3	0.63	---	0.02	0.00	S3	2.40	2.46	0.15	0.01
S4	0.99	0.96	---	0.00	S4	3.04	3.01	0.16	0.01
S5	1.45	1.46	-0.01	0.00	S5	3.55	3.55	0.14	---
S6	---	---	---	---	S6	1.66	1.65	0.10	0.00
S7	0.71	---	---	---	S7	0.46	0.43	---	---
S8	---	---	---	---	S8	---	---	---	---
B1	-0.95	-0.95	-0.07	0.00	B1	-1.56	-1.57	---	0.00
B2	-1.39	-1.34	-0.13	-0.01	B2	-1.50	-1.45	0.07	0.01
B3	-1.14	-1.15	-0.10	-0.01	B3	-1.42	-1.43	0.04	0.01
B4	-0.80	-0.77	-0.04	---	B4	-1.30	-1.27	-0.01	0.00
R2	---	---	---	---	R2	---	---	---	---

Çizelge 6.10. Aralık 2010 - Şubat 2014 dönemine ait statik ve kinematik model sonuçları

Aralık 2010 - Temmuz 2012 - Mart 2013					Aralık 2010 - Mart 2013 – Şubat 2014				
Nok. No	Statik Model (S-Trans.)		Kinematik Model (Kalman Filtre)		Nok. No	Statik Model (S-Trans.)		Kinematik Model (Kalman Filtre)	
	Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)	İvme (mm/ay ²)		Yük. (mm)	Yük. (mm)	Hız (mm/ay)	İvme (mm/ay ²)
R1	---	---	---	---	R1	---	---	---	---
S1	---	---	---	---	S1	0.54	---	---	---
S2	---	---	---	---	S2	0.23	---	---	---
S3	-0.14	---	---	-0.02	S3	-0.38	-0.33	---	0.00
S4	0.14	---	-0.37	-0.02	S4	-0.28	-0.32	---	---
S5	0.75	---	-0.39	-0.02	S5	0.29	---	---	0.00
S6	0.20	---	---	-0.01	S6	-0.06	---	-0.02	0.00
S7	1.05	---	---	---	S7	---	1.00	---	---
S8	1.30	---	---	---	S8	1.33	1.32	---	0.00
B1	-1.25	---	0.10	0.01	B1	-1.00	-1.00	0.06	0.00
B2	-1.87	---	---	0.00	B2	-1.57	-1.53	0.08	0.00
B3	-1.52	---	---	---	B3	-1.36	-1.38	0.07	0.00
B4	-0.85	---	---	---	B4	-0.80	-0.76	0.03	0.00
R2	1.35	---	---	---	R2	1.30	1.28	---	0.00

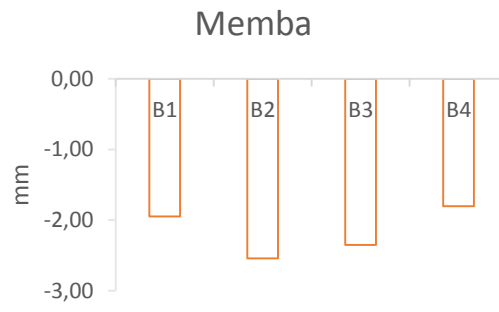
Çizelge 6.9' ve 6.10'da görüldüğü üzere yine farklı periyot ölçüleri kullanılarak gerçekleştirilen statik ve kinematik modelde analiz sonuçlarının genellikle birbirlerine yakın olduğu ve nokta hareketleri için benzer özellikleri ortaya koyduğu görülmektedir. Başka bir deyişle statik deformasyon analiz sonuçları ile kinematik deformasyon analiz sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir.

Baraj üzerindeki obje noktalarının Aralık 2010 tarihinden Şubat 2014'e kadar geçen dönem içerisinde ortalama 1 mm hareket ettiği, anlamlı nokta hareketlerinin barajdaki su seviyesine bağlı olarak arttığı ve azaldığı görülmektedir. Aralık 2010 ve Şubat 2014 periyodu arasında R1 ve S7 noktalarında anlamlı hareket olmadığı tespit edilmiş ve ağ bu noktalara dayalı dengelenerek son periyot için diğer noktalardaki mutlak değişimler belirlenmiştir (Çizelge 6.11.)

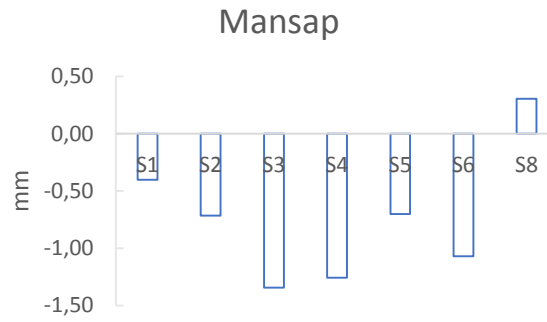
Çizelge 6.11. Şubat 2014 zamanı için belirlenen mutlak konum değişimleri

Aralık 2010 - Şubat 2014	
Su kotu: 674.7 m	
Mutlak Konum Değişimi	
Nokta Numarası	Yükseklik (mm)
S1	-0.40
S2	-0.72
S3	-1.34
S4	-1.26
S5	-0.70
S6	-1.07
S8	0.30
B1	-1.95
B2	-2.54
B3	-2.35
B4	-1.80
R2	0.29

Çizelge 6.11 incelendiğinde, ilk periyot ile son periyot arasında anlamlı hareket gösteren noktalardaki mutlak konum değişimlerinin -1.18 mm ile +1.21 mm arasında değiştiği görülmektedir. Noktalardaki bu değişimler barajın memba ve mansap kısımları için grafikler üzerinde de gösterilmiştir (Şekil 6.16-6.17).



Şekil 6.16. Memba tarafındaki noktalarda mutlak değişimler (Aralık 2010 - Şubat 2014)



Şekil 6.17. Mansap tarafındaki noktalarda mutlak değişimler (Aralık 2010 - Şubat 2014)

7. SONUÇLAR

Jeodezik yöntemlerle düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesinde statik, kinematik veya dinamik modeller kullanılabilir. Düşey yöndeki hareketler genel olarak yavaş olduğundan hareketin izleneceği bölgede sağlam bir deformasyon ağı oluşturulmalıdır. Oluşturulan deformasyon ağı üzerinde ölçümler oldukça dikkatli ve hassas olarak yapılmalıdır. Bu nedenle ağın korunmasına da özen gösterilmelidir.

Statik model barajlarda düşey yönlü deformasyonların belirlenmesinde yeterli doğrulukta sonuçlar vermektedir. Ancak, noktaların konum değişikliklerinin yanında hız ve ivme gibi parametreler de belirlenmek isteniyorsa kinematik model kullanılmalıdır. Kinematik modelde hareket parametrelerinin aynı anda hesaplanabilmesi için fazla sayıda periyotta yapılmış ölçülere ihtiyaç vardır. Kalman filtreleme yönteminde ise az sayıda ölçü periyodu olsa dahi parametrelerin hesaplanması için yeterli olmaktadır.

Bu çalışmada, Karaman'da bulunan Göksu Nehri'nin Ermenek Çayı üzerine inşa edilen Ermenek Barajı'nda düşey yönlü deformasyonlar statik ve kinematik model kullanılarak araştırılmıştır. Deformasyon analizi; statik modelde S-transformasyonu yöntemiyle, kinematik modelde ise Kalman filtreleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Nokta hareketleri Aralık 2010 periyodu başlangıç alınarak belirlenmiştir.

İlk periyot (Aralık 2010) ile ikinci (Aralık 2011)ve üçüncü (Mayıs 2012) periyotların karşılaştırıldığı Çizelge 6.6 incelendiğinde statik modelde, ilk ve ikinci periyotların arasında S3, S4, S5, S6, S7 ve B4 noktalarında -0,31 mm ile +0,89 mm arasında değişen anlamlı hareketler olduğu; aynı döneme ait Kalman filtreleme sonuçlarında ise S8 noktası haricindeki noktalarda -0,48 mm ile +0,90 mm arasında değişkenlik gösteren hareketler olduğu görülmüştür. İlk ve üçüncü periyotlar arasında ise S2, S6, S8 ve R2 noktalarının dışında kalan noktalarda statik modelde -1,39 mm ile +1,45 mm arasında değişen anlamlı hareketler olduğu, Kalman filtreleme sonuçlarında da S2 noktası hariç diğer noktalarda -1,34 mm ile +1,46 mm aralığında değişen anlamlı hareketler olduğu görülmektedir. Yine bu dönemdeki Kalman filtre yöntemiyle belirlenen nokta hızlarına bakıldığında ise ilk periyot ve ikinci periyot arasında; -0,07 mm/ay ile +0,04 mm/ay arasında değiştiği, S7 ve S8 noktalarındaysa anlamlı bir hız olmadığı görülmektedir. İlk periyot ile üçüncü periyot arasındaki hızlarda da S2 noktası dışında kalan noktalarda -0,08 mm/ay ile +0,09 mm/ay aralığında anlamlı hızların olduğu görülmektedir.

İlk periyot (Aralık 2010) ile dördüncü (Temmuz 2012) ve beşinci (Mart 2013) periyotların karşılaştırıldığı Çizelge 6.7 incelendiğinde statik modelde, birinci ve dördüncü periyotların arasında S8 ve R2 noktalarının dışındaki noktalarda -2,82 mm ile +3,55 mm arasında değişen anlamlı hareketler olduğu; aynı döneme ait Kalman filtreleme de tüm noktalarda ise -2,81 mm ile +3,33 mm arasında değişkenlik gösteren hareketler olduğu görülmüştür. Birinci ve beşinci periyotlar incelendiğindeyse R1, S1 ve S2 noktalarının dışında kalan noktalarda statik modelde -1,87 mm ile +1,35 mm arasında değişen anlamlı hareketler olduğu, Kalman filtreleme sonuçlarında da S3, S4 ve S6 noktaları haricindeki noktalarda -1,82 mm ile +1,33 mm aralığında değişen anlamlı hareketler olduğu görülmektedir. Yine bu dönemdeki Kalman filtre yöntemiyle belirlenen nokta hızlarına bakıldığında ise ilk periyot ve dördüncü periyot arasında; -0,15 mm/ay ile +0,19 mm/ay arasında değiştiği görülmektedir. İlk periyot ile beşinci periyot arasındaki hızlarda da R1, S3 ve S4 noktaların dışındaki noktalarda -0,07 mm/ay ile +0,05 mm/ay aralığında anlamlı hızların olduğu görülmektedir.

İlk periyot ile son periyodun karşılaştırmasını içeren Çizelge 6.8 incelendiğinde, statik modelde R1 ve S7 dışında kalan tüm noktalarda anlamlı hareketler olduğu ve bu hareketlerin -1.57 mm ile +1.33 mm arasında değiştiği görülmektedir. Yine aynı döneme ait Kalman filtreleme sonuçlarına bakıldığında S6 dışında kalan noktaların anlamlı bir şekilde hareket ettiği ve bu hareketlerin statik modelde belirlenenlere oldukça yakın olduğu görülmektedir. Kalman filtreleme sonucu belirlenen nokta hızlarına bakıldığında -0.04 mm/ay ile +0.03 mm/ay arasında değiştiği ve sadece S6 noktasında anlamlı bir hız olmadığı görülebilmektedir. Çizelge 6.10'da son periyot olan Şubat 2014'e ait genişletilmiş kinematik model sonuçları incelendiğinde ise R1, S1, S2, S5 ve S6 dışında kalan noktalarda anlamlı hareket olduğu, bu hareketlerin yine statik modelde elde edilenlere oldukça yakın değerler olduğu görülmektedir. Genişletilmiş kinematik model sonucunda hesaplanan anlamlı hızların -0.02 mm/ay ile 0.08 mm/ay arasında değiştiği, ivme değerlerinin anlamlı seviyelerde olmadıkları görülebilmektedir. Şekil 6.16 ve 6.17 incelendiğinde ise baraj üzerindeki noktaların negatif yönlü bir hareket sergilediği görülmektedir.

Kalman filtreleme yöntemiyle her türlü doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin çözümü stokastik modelin iyi kurulması şartıyla kolaylıkla yapılabilmektedir. Ayrıca statik model sonuçlarıyla uyumlu sonuçlar vermesi yöntemin önemli bir özelliğidir. Bu bağlamda, deformasyon araştırmalarında kullanılabilecek iyi bir yöntem olduğu görülmektedir. Yöntemde prediksyon kullanıldığı için ölçülerin ve

önceki zamana ait bir durum vektörünün belirli bir oranda hata ile yüklü olması nedeniyle kinematik davranışların sınırsız bir biçimde ekstrapolasyon yoluyla genişletilmemesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, barajlarda meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde statik modelde S-transformasyonu kullanılabilir. Obje noktalarının hızları ve ivmelerinin de belirlenmesi amaçlanıyorsa kinematik modelde Kalman filtreleme yöntemi az sayıda ölçü periyodu ile çözüm gerçekleştirilebildiği için oldukça kullanışlı ve başarılı bir yöntemdir.



KAYNAKLAR

- Açıkgöz, M., 2010, Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı'nın Kuzeybatı Bölümünde Yer Kabuğu Hareketleri Nedeniyle Oluşan Deformasyonun Yersel Ve GPS Ölçüleri İle Araştırılması Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Aharizad, N., Setan, H. ve Lim, M., 2012, Optimized Kalman filter versus rigorous method in deformation analysis, *Journal of Applied Geodesy*, 6 (3-4), 135-142.
- Akay, G., 2007, Analysis Of Total Crustal Deformation By The Comparison Of Terrestrial And GPS Measurements In The Marmara Region, *Jeodezi Yüksek Lisans Programı, Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul.
- Ayan, T., 1983, Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış, *İTÜ Dergisi*, 40 (1).
- Bayrak, T. ve Yalçınkaya, M., 2002, GPS İle İzlenen Jeodezik Deformasyon Ağlarında Kinematik Hareketlerin Ve Hareket Yüzeylerinin Belirlenmesi, *TUJK Tektonik Ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, 10-12.
- Bayrak, T., 2006, Yamula Barajındaki Düşey Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle İzlenmesi, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 18-24.
- Bilgen, B., 2017, GNSS Tekniği ile Yatay Yöndeki Deformasyonların Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- BMHoldingAş, 2009, Ermenek Barajı ve Hes, *Ankara, Bm Holding A.Ş.*, p.
- Demirel, H., 1987, S Transformasyonu ve Deformasyon Analizi, *Türkiye 1. Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 593, 608.
- Doğanalp, S., 2005, Kinematik Modelde Kalman Filtreleme Yöntemi ile Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi*, Konya.
- Doğanalp, S., Bayram, T. ve İnal, C., 2005, Yükseklik ağlarında S transformasyonu ve Kalman filtreleme yöntemi ile deformasyon analizi, *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu*, İstanbul, 28-40.
- Doğanalp, S., Yiğit, C., İnal, C. ve Turgut, B., 2007, Yükseklik Ağlarında Quasistatik Ve Kinematik Deformasyon Analizi İçin Geliştirilen Program, *3. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi - KONYA*.
- Doğanalp, S. ve Turgut, B., 2009, Statik Ve Kinematik Modelde Deformasyon Analizi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 31-44.
- Erol, S., 2008, GPS ve Nivelman Ölçüleriyle Deformasyonların Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Gülal, E., 2013, Structural Deformations Analysis By Means of Kalman-Filtering, *Bol. Ciênc. Geod. sec.*, 19 (1), 98-113.
- İnal, C. ve Ceylan, A., 2002, S Transformasyonu Uygulama Alanları, *Selçuk Teknik Online Dergisi*.
- İnal, C., 2014, Deformasyon Ölçülerinin Analizi, Basılmamış Ders Notları. Konya, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kalkan, Y. ve Alkan, R. M., 2005, Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri, *2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, HKMO, İTÜ, İstanbul*, 64-74.
- Kaloop, M. R. ve Li, H., 2009, Monitoring of bridge deformation using GPS technique, *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 13 (6), 423-431.
- Kearns, T. J., Wang, G., Bao, Y., Jiang, J. ve Lee, D., 2015, Current Land Subsidence and Groundwater Level Changes in the Houston Metropolitan Area (2005–2012), *Journal of Surveying Engineering*, 141 (4).

- Kurt, O., İnce, C., Konak, H. ve Çepni, M., 2007, Yerkabuğu Hareketlerinin Kalman Filtresi İle İzlenmemesi, *International Earthquake Symposium*, Kocaeli.
- Li, L.-h. ve Peng, J.-h., 2014, Multiple Kalman filters model with shaping filter GPS real-time deformation analysis, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24 (11), 3674-3681.
- Öztürk, E. ve Ünver, M., 1992, Düşey Yöndeki Yerkabuğu Hareketlerinin Kinematik Yöntem ile Belirlenmesi, *Harita Dergisi*, 109 (1), 21.
- Satirapod, C. S., Wim J. F. Promthong, Chaiwat 2008, Monitoring Deformation of Thai Geodetic Network due to the 2004 Sumatra-Andaman and 2005 Nias Earthquakes by GPS, *Journal of Surveying Engineering*, 134 (3), 83-88.
- Selendi, A., 2011, Marmara Bölgesi'nde Yerkabuğu Hareketlerinin GPS ve Gravite Ölçmeleri (2006-2010) ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Turan, S. N., Eyo, E. E., Acar, M. ve Bayrak, T., 2012, Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Deformasyon İzlemede Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (2), 19-29.
- Uluşık, P., 2006, Yüksek Bina Hareketinin GPS İle İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Ünver, M., 1994, Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi*.
- Ünver, M., 1996, Kalman-Filtreleme Yöntemi ile Kinematik Düşey Hareketlerin Belirlenmesi, *Harita Dergisi*, 116, 14-31.
- Wang, G. ve Soler, T., 2012, OPUS for Horizontal Subcentimeter-Accuracy Landslide Monitoring: Case Study in the Puerto Rico and Virgin Islands Region, *Journal of Surveying Engineering*, 138 (3), 143-153.
- Wang, G. ve Soler, T., 2013, Using OPUS for Measuring Vertical Displacements in Houston, Texas, *Journal of Surveying Engineering*, 139 (3), 126-134.
- Wang, G. ve Soler, T., 2015, Measuring Land Subsidence Using GPS: Ellipsoid Height versus Orthometric Height, *Journal of Surveying Engineering*, 141 (2).
- Welsch, W. ve Heunecke, O., 2001, Models and Terminology for the Analysis of Geodetic Monitoring Observation. Official Report FIG Working Group, Institut of Geodesy, Hannover.
- Yalçinkaya, M. ve Bayrak, T., 2005, Comparison of static, kinematic and dynamic geodetic deformation models for Kutlugün landslide in northeastern Turkey, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 34 (1), 91-110.
- Yalçinkaya, M., 2001, Üç Boyutlu Ağlarda Kalman Filtreleme Tekniğinin Uygulanması= MATLAB ve FORTRAN Programlama Dilleriyle Çözümü, *KTÜ Araştırma Raporları*.
- Yalçinkaya, M., 2003, Monitoring Crustal Movements in West Anatolia by Precision Leveling, *Journal of Surveying Engineering*, 129, 44-49.
- Yalçinkaya, M. ve Bayrak, T., 2003, Dynamic model for monitoring landslides with emphasis on underground water in Trabzon Province, Northeastern Turkey, *Journal of Surveying Engineering*, 129 (3), 115-124.
- Yıldırım, A. F., 2007, Mühendislik Yapılarının Deformasyon Analizinde GPS Ölçülerinin Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi Konya*.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Recep İBAOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya - 04.06.1981
Telefon : 542 647 97 86
Faks : 0332 320 99 53
e-mail : recepibaoglu@dsi.gov.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Lisesi, Selçuklu, Konya	1998
Üniversite	: Selçuk Ü., Harita Mühendisliği,	2004
Yüksek Lisans	: KTÜN., Harita Müh. ABD.,	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2007-2012	Konya Org. Sanayi Bölg. Müd.	Harita Mühendisi
2012-2013	DSİ 8. Bölge Müdürlüğü, Erzurum	Harita Mühendisi
2013-	DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Konya	Harita Mühendisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

İbaoğlu, R., İnal, C. ve Bilgen, B., (2019), Determination of Vertical Deformations with Kinematic Model: The Case of Ermenek Dam, *4. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul.

