

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların S- Transformasyonu İle

Belirlenmesi

Ve Bir Uygulama

Sibel ÇAKIR

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı

Danışman : Prof.Dr. Cevat İNAL

2006, 105 Sayfa

Jüri : Prof.Dr. Cevat İNAL

Yrd.Doç.Dr.Bayram TURGUT

Yrd.Doç.Dr.Ayhan CEYLAN

Deformasyon ölçmeleri büyük mühendislik yapılarının kontrol edilmesi, deformasyon sebebiyle meydana gelebilecek felaketlerin önlenmesi yada şiddetinin en aza indirilmesi ile bu tesislere yapılan ulusal yatırımların korunması bakımından son derece önemlidir. Özellikle büyük barajların çevresindeki değişikliklerin ve gövde

davranışlarının sürekli izlenmesi, bunların projede öngörülmeven değişimlerin belirlenerek gerekli önlemlerin alınması zorunluluğu vardır. Bu ise barajın yapılması aşamasında başlayan ve ömrü boyunca süren gözlemler ve ölçülerle sağlanır.

Bu çalışmada, Şubat1998-Şubat 2000 yılları arasında yatay ve düşey değişimlerin izlenmesi için yapılan Dicle Barajındaki deformasyon ölçümleri ve sonuçları ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon, Analiz, S-transformasyonu, Dengeleme, Dicle Barajı

ABSTRACT

Master Thesis

Determination of Engineering Construction's Deformations by
S Transformation and Application

Sibel ÇAKIR

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geodesy and Photogrammetry

Supervisor : Assoc. Prof.Dr. Cevat İNAL

2006, 105 Page

Jury : Prof.Dr. Cevat İNAL
Assoc. Yrd.Doç.Dr.Bayram TURGUT
Assoc Yrd.Doç.Dr.Ayhan CEYLAN

Deformation measurements are very important for controlling the big engineering structures, preventing from disaster caused by deformation and protecting national investment. Especially, behaviour of dam's body and physical changes of its surrounding have to be continuously monitored then unexpected changes, which are not

accepted by the protects, have to be taken into account. Monitoring and measuring the dam from its foundation to present could achieve this.

Deformation measurements of Dicle Dam was performed between February 1998-February 2000 for monitoring the horizontal and vertical changes. In this study, deformation measurements and the results were examined.

Key Words: Deformation, Analysis, S Transformation, Adjustment, Dicle Dam

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımnda yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof.Dr.Cevat İNAL'a, Arş.Gör.Cemal Özer YİĞİT'e, verdikleri destek için Şube Müdürüm Birol KUL ve çalışma arkadaşlarıma, yaşadığım her sıkıntıda başlarımı ağrıttığım arkadaşlarım Fatmanur YALDIZ ve Mustafa ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Okumanın önemini beklide en iyi bu yıl anladım, bana okuma şansı verdiğiniz için çok teşekkürler anne ve babacığım, iyi ki varsınız...

Mart 2006
Sibel ÇAKIR

İÇİNDEKİLER

1 GİRİŞ.....	1
2 BARAJLARDA DEFORMASYON ÖLÇMELERİ	5
2.1 Barajlar ve Deformasyon Yaklaşımı	5
2.2 Barajların Genel Deformasyon Davranışı	7
2.2.1 Barajlarda uygulanan deformasyon izleme sistemleri.....	9
2.2.2 Barajlarda deformasyon analizi.....	11
2.3 Barajların Güvenliği	13
3 DEFORMASYON ÖLÇME YÖNTEMLERİ.....	16
3.1 Fiziksel Yöntemler	16
3.1.1 Barajlarda fiziksel deformasyon ölçme yöntemleri.....	16
3.1.1.1 Gövde dolgu malzemesinin ve zeminin durumunu belirleyecek ölçmeler	17
3.1.1.2 Gövde içi hareketleri belirleyecek ölçmeleri.....	19
3.1.1.3 Dış yükleri belirleyecek ölçmeler.....	22
3.1.1.4 Gövdenin Tüm Hareketlerini Belirlemek İçin Yapılan Ölçmeler	24
3.2 Jeodezik Yöntemler	24
3.2.1 Jeodezik ağı ölçülmesi.....	25
3.3 Düşey Yönde Deformasyon Ölçme Yöntemleri	30
3.3.1 Trigonometrik nivelman	31
3.3.1.1 Tek taraflı trigonometrik nivelman ölçme ve hesap modeli.....	31
3.3.1.2 Karşılıklı trigonometrik nivelman da ölçme ve hesap modeli.....	32
3.3.1.3 Ortadan (atlamalı) trigonometrik nivelman da ölçme ve hesap modeli ..	33
4 DEFORMASYON MODELLERİ	34
4.1 Deformasyon Analizinde Geometrik ve Fiziksel Yorumlama	34
4.2 Deformasyon Modelleri	36
4.2.1 Tasvirsel modeller	37
4.2.1.1 Uyumlu modeller.....	37
4.2.1.2 Kinematik model	38
4.2.2 Etki-Tepki modelleri	39
4.2.2.1 Statik model.....	39
4.2.2.2 Dinamik modeller.....	41
4.3 Deformasyon Modellerinin Karşılaştırılması	44
5 KONUM AĞLARININ DENGELENMESİ.....	47
5.1 Fonksiyonel Modelin Oluşturulması	47
5.2 Düzeltme Denklemleri	47
5.3 Stokastik Modelin Oluşturulması	49
5.4 Konum Ağlarının Serbest Dengelenmesi	50
6 TRİGONOMETRİK YÜKSEKLİK AĞLARININ DENGELENMESİ.....	53
6.1 Fonksiyonel Modelin Kurulması.....	53
6.2 Düzeltme Denklemlerinin Oluşturulması.....	54

6.3 Stokastik Modelin Oluşturulması.....	57
6.4 Yükseklik Ağlarının Serbest Dengelenmesi.....	58
7 UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN AYIKLANMASI VE GENİŞLETİLMİŞ MODEL TESTİ	60
7.1 Baarda'nın B Test Metodu	61
7.2 Pope Yöntemi	63
7.3 t- Testi.....	64
7.4 Dengeleme Modelinin Test Edilmesi	65
7.4.1 Fonksiyonel modelin testi	65
7.4.2 Stokastik modelin test edilmesi	67
8 S-TRANSFORMASYONU İLE DEFORMASYON ANALİZİ	69
8.1 S-Transformasyonu ve datum belirleme	70
8.1.1 Datum tanımları.....	72
8.2 S-Transformasyonu	77
8.3 Doğrusal Hipotez Testi.....	80
8.4 Deformasyon Analizinde Doğrusal Hipotez Testi (Global Test).....	83
8.5 S-Transformasyonu Yardımıyla Global Test	85
8.6 S-Transformasyonu Yardımıyla Anlamlı Nokta Hareketlerinin Araştırılması	88
9 UYGULAMA.....	91
9.1 Yatay Yöndeki Hareketlerin Belirlenmesi	96
9.2 Düşey Yöndeki Deformasyonların Belirlenmesi.....	98
10 SONUÇ VE ÖNERİLER	100
11 KAYNAKLAR.....	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Barajlarda yapılan deformasyon analizi iş akış şeması.....	6
Şekil 3.1 Elektriksel piyezometre.....	17
Şekil 3.2 Streynmetre	18
Şekil 3.3 Akustik Termometre	19
Şekil 3.4 Düz ve ters Pandül ölçümleri	20
Şekil 3.5 Jointmetre	21
Şekil 3.6 Deformetre	22
Şekil 4.1 Jeodezik deformasyon analizinde model hiyerarşisi.....	36
Şekil 4.2 Dinamik bir sistemde bir etki sonucu oluşan deformasyon	42
Şekil 4.3 Sistem analizinde modelleme yöntemleri	43
Şekil 5.1 İki nokta arasındaki doğrultunun belirlenmesi.....	48
Şekil 6.1 Trigonometrik yükseklik tayini.....	54
Şekil 9.1 Dicle barajı mikrojeodezik deformasyon ölçüm ağı	91
Şekil 9.2 Dicle barajından görüntüler	92
Şekil 9.3 Şubat 1998-Temmuz 1998 dönemi kot ve koordinat değişimi	94
Şekil 9.4 Şubat 1998-Şubat 2000 dönemi kot ve koordinat değişimi	94
Şekil 9.5 Şubat 1998-Temmuz 1998 dönemi kot ve koordinat değişimi	95
Şekil 9.6 Şubat 1998-Şubat 2000 dönemi kot ve koordinat değişimi	95

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1 Çin de barajlarda uygulanan bazı kriterler	11
Tablo 2.2 Baraj kazalarının nedenleri	13
Tablo 2.3 Barajlarda ölçme periyotları.....	15
Tablo 4.1 Deformasyon modellerinin sınıflanması ve özellikleri	44
Tablo 9.1 Periyot ölçülerinin serbest dengelenmesi sonucu Şubat 1998 periyoduna göre elde edilen kot ve koordinat farkları	93
Tablo 9.2 Yatay yöndeki deformasyon araştırması sonuçları	97
Tablo 9.3 Düşey yöndeki deformasyon araştırması sonuçları.....	99

1 GİRİŞ

Yerkabuğundaki gerilmelere ve depremlere neden olan küçük yerkabuğu hareketlerinin yeri, yönü ve büyüklüğünün saptanması jeodezik ölçmelerle gerçekleştirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda uygulanan jeodezik yöntemde arazinin fay kırıklarını karakterize eden yerlerine, ölçme noktaları tesis edilir. Bu noktalar birbirlerine jeodezik ölçülerle bağlanarak bir kontrol ağı oluşturulur. Her yıl tekrarlanan ölçmelerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinden sonra noktaların ve dolayısıyla temsil ettiği kütlelerin hareketi saptanır. Böylece jeodezik olarak belirlenen yerkabuğu deformasyonları, jeofizik ve jeolojik verilerle birlikte yorumlanabilir.

Yerkabuğu hareketlerinin saptanması için yapılan jeodezik ölçmelere “deformasyon ölçmeleri”, elde edilen ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasına da “deformasyon analizi” adı verilmektedir(Gürkan ve ark.’na (2005) göre).

Deformasyon Araştırması, geometrik analiz ve fiziksel yorumlama aşamalarından oluşur. Geometrik analiz, deformasyona konu objenin konum, şekil ve boyut değişimlerine ilişkin bilgi verir. Geometrik analizin sonuçları, deformasyonun nedenlerinin fiziksel olarak yorumlanmasına katkı sağlar. Fiziksel yorumlama sürecinde ise deformasyonun nedenleri açıklanmaya çalışılır. Bunun için yük -deformasyon bağıntısı formüle edilir. Yorum, araştırma konusu objeye bağlı olarak, harita mühendislerinin de yer aldığı uzmanlar tarafından yapılır. Fiziksel yorumlamada iki yöntem vardır: Deterministik ve İstatistiksel Yöntem. Deterministik yöntem, nedenlerden sonuçlara tümdengelimlidir, yani, öncül(apriori) bir yapıya sahiptir. İstatistiksel yöntem ise, sonuçlardan nedenlere tümevarımlıdır ve sonsal (aposteriori) karakter taşır (Demirkaya 2005).

Deformasyon araştırmasında yararlanılacak ölçüler, yatay veya düşey düzlemde yapılır. Ölçünün türüne; yapının şekline, büyüklüğüne ve oturduğu zeminin cinsine göre karar verilir. Zeminde oturma ve kaymalar varsa konum ölçüleri, sadece oturma söz konusu ise o zaman yükseklik ölçüleri yapılır. Deformasyon ölçüleri jeodezik olarak belli bir zaman aralığında iki ölçü olarak yapılmalıdır. Yapılan bu ölçülere periyot ölçüsü denir. Periyotlar arasındaki zaman aralığı deformasyon hızına bağlıdır. Deformasyon hızlı ise zaman aralığı kısa, deformasyon yavaş seyrediyorsa zaman aralığı uzun seçilir (Barışkaner 1989).

Deformasyon analizi, konu ile ilgili uzmanlık dalları arasında yakın işbirliği gerektirir. Bu süreçte Jeodezi ve Fotogrametri mühendisinin görevi, diğer uzmanlar tarafından modellenen deformasyon geometrisini yinelemeli ölçmelerle belirlemektir. Mühendislik yapılarının tasarım ve inşaatını gerçekleştiren mühendisler ilgili bilgilerden yararlanarak deformasyon ve onu üreten nedenler arasındaki ilişkinin nitel yorumunu yapabilir. Böylece araştırma konusu yapıda ortaya çıkabilecek değişimlere ilişkin öngörülerde bulunulabilir ve sonraki benzer yapı tasarımları için daha özlü ve ekonomik çözümlere ulaşılabilir.

Deformasyon davranışının saptanmasıyla ilintili uzun bir uygulamalı mühendislik araştırması tarihine sahip olan yapılar, barajlardır. İlk deformasyon ölçmelerinin 19. yüzyılın ortalarında yapıldığı yazılmasına rağmen konu ile ilgili yayınlar 1920'li yıllarda başlamıştır (Demirkaya 1993).

19. yüzyılın sonunda elektrik enerjisinin kullanılmasına başlanmıştır. İlk termik santralin yanında mümkün olduğu kadar su ile çalışan santraller inşa edilmiştir. Elektrik enerjisi elde edilmesinde suların depolanması işlemi 1. dünya savaşından sonra ele alınmıştır. Bu depolamadan dolayı barajın elastiki olması gerekliliği o yıllarda başarıyla yerine getirilmiştir. Bu tesislerin işletilmesiyle ortaya çıkan rizikolar tecrübelerle bağlı olmadan tespit edilmiştir.

İlk jeodezik deformasyon ölçmeleri Almanya'da Thuringen'de Gothaer barajında 1908 yılında yapılmıştır. Barajın ortasındaki iki noktanın hareketi aliyman yöntemiyle tespit edilmiştir. İsviçre'de jeodezik deformasyon ölçüleri ilk defa büyük bir barajda 1921 de yapılmıştır. Zoelly'nin teklifiyle 1921 yılında Montsalvens barajında W.Lang tarafından baraj gövdesine konan ölçü noktaları önden kestirilmek ve ölçülerin tekrarı suretiyle deformasyon ölçüleri yapılmıştır. Daha sonraki benzer bir çalışma, küçük bir kemer baraj olan Pfafensprung' da yapılmış, 1929 yılında çıkan eserinde W.Lang ilk sonuçlara yer vermiştir.

Ölçüm sonuçlarına göre karar verilmesinde, kaymaların basit hesaplarla yahut grafikte tespiti halinde kesin hassasiyet elde edilemez. Bu nedenle ölçüm neticelerinin dengelenmiş değerlerine bakılması ve bunların karşılaştırılması gerekir. İkinci dünya savaşından sonra İsviçre'nin Alp bölgesinde su kuvvetlerinden tam olarak faydalanmak için bir çok barajlar inşa edilmiştir.

Önden kestirilen baraj gövdesindeki noktalarla birlikte, kontrol galerilerinde hassas poligon güzergahları tesisi de önerilmiştir. Konuyla ilgili olarak İsviçre'deki üniversitelerde çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar Lozan'da Prof. Baechmann ve Zurich'de Prof. Kobold tarafından yönetilmiştir.

Benzer gelişmelerin örnekleri 1950-1960 yılları arasında K. Ulbrich tarafından yazılmış, 1946 ve 1964 de İsviçre'de Baraj komisyonunun deformasyon ölçüm yöntemlerini açıklayan iki eseri yayınlanmıştır. 1960 lardan beri baraj gövdelerinin kaya geçiş bölgelerinde, kaya mekaniğine yönelik daha fazla bilgi elde edilmesi amaçlandığı için, poligon güzergahlarına olan ilgi çok artmıştır. Hemen hemen bütün büyük barajlarda, bu sebepten poligon güzergahları her iki yamaçta kayaya girecek şekilde uzatılmıştır (Barışkaner 1981).

Deformasyona konu olan objedeki geometrik değişimleri saptamak için yapılan ölçmelerden beklenen doğruluk istemleri, aletsel olanakların gelişmesine ve ölçülerin değerlendirilmesi aşamasında ölçülerde saklı bilgilerin eksiksiz kazanılmasını

gerektirmiştir. Bu karşılıklı üretken etkileşim, geometrik değişimlerin varlığına ilişkin bir istatistiksel güvenle varılan yargıyla tanımlanan jeodezik yöntemlerin ufkunun genişlemesine yol açmıştır. Altmışlı yılların ortalarına kadar olan bu döneme Betimsel Analiz periyodu denir ve yapı hareketleri basit yöntemlerle irdelenir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişim ile birlikte 70'li yıllarda jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçülerinin analizi yaklaşımlarında önemli ilerlemeler sağlanır. İstatistiksel Analiz periyodu olarak anılan bu dönemde A. Platek 'in çalışmaları Bütüncül Analize ilk girişim olarak anılmaktadır, Platek'in 1974 yılında yaptığı çalışmalar buna örnek olarak gösterilebilir. Bunu izleyen çalışmalar ise, Boljen 1982 yılında, Welsch 1982, Chrzanowski 1983, Teskey 1985, 1986, 1987 yıllarındaki çalışmalardır (Demirkaya 1993).

Bu çalışmada Dicle Barajında meydana gelen yatay ve düşey yöndeki değişimler S-Transformasyonu yöntemiyle analiz edilerek incelenecek ve inceleme sonuçları değerlendirilecektir. S transformasyonu yardımı ile analizde 1D, 2D, 3D ağların deformasyon analizi yapılabilir. Değişik zamanlarda belli elemanları ölçülen ağların datumları çeşitli nedenlerle farklı olabilmektedir. Karşılaştırılacak parametreler, örneğin ağ noktalarının koordinatları aynı datumda belirlenmiş olmalıdır. S-transformasyonları yardımıyla değişik periyotlar arasında datum birliği sağlanabilir. Ayrıca bu transformasyon ard arda uygulanarak hareketli noktalar saptanabilir.

S-transformasyonu, yeni bir dengelemeye gerek olmadan bir datumdan başkasına geçme, başka bir deyişle herhangi bir datumda belirlenmiş bilinmeyen parametreleri, örneğin nokta koordinatlarını ve bunların kofaktörler matrisini belli bir datuma dönüştürme işlemidir. S-transformasyonu, tüm ağ noktalarının yada bir bölümünün (datum noktalarının) küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamının minimum olmasını öngören serbest dengeleme ile eş anlamlıdır (Demirel 1987).

2 BARAJLARDA DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

2.1 Barajlar ve Deformasyon Yaklaşımı

Barajlar milyonlarca metreküp suyun depolandığı büyük ve önemli mühendislik yapılarıdır. Çok değişik faktörlerin etkisi ile bu yapılarda yatay ve düşey hareketler oluşur. Genel olarak “deformasyon” adı verilen bu hareketlerin kritik sınırları aşması barajın zarar görmesine, hatta yıkılmasına sebep olabilir (Algül ve ark.’na (1989) göre). Özellikle baraj gibi büyük ve maliyeti yüksek yapılar için deformasyonun analizi önemli bir işlem adımını oluşturur.

Bir beton barajda inşaat süresince ayda bir ölçü yapılır. Bu yapılan iki ölçü karşılaştırılır. Bu karşılaştırma aynı noktalar arasında yapılır. Bunun için sabit noktalar ağı tesis edilir. Ayrıca yapı üzerinde noktalar işaretlenir. Bu noktalara obje noktaları denir. Objeye noktaları ölçülerle sabit noktalar ağına bağlanır. İki periyot yapılan ölçüler, ayrı ayrı dengelenir. Bunlar birbiriyle karşılaştırılarak deformasyon vektörü bulunur. Bu deformasyon vektörü yardımıyla analiz yapılarak yapının nerelerinde deformasyon olduğu belirlenir (Barışkaner 1989).

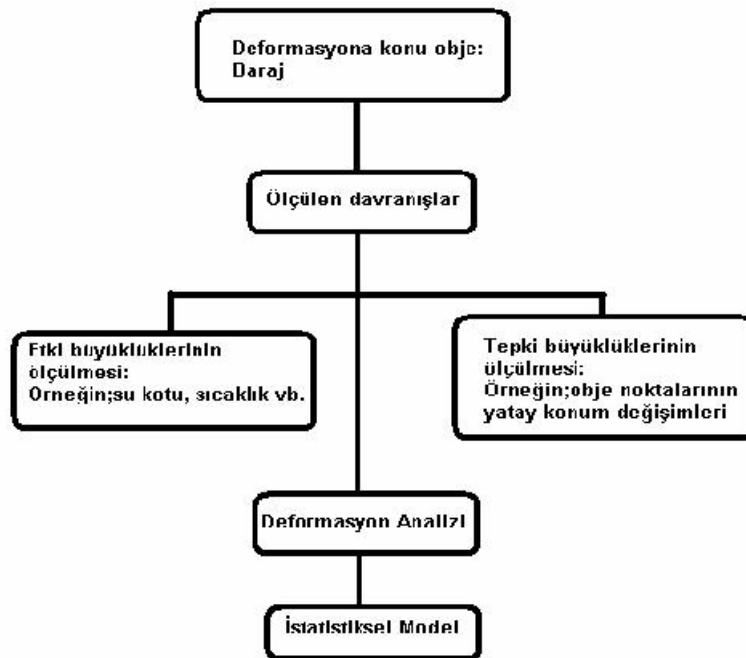
Deformasyon analizi, tasarım istemlerinin sağlanıp sağlanmadığı ve sonuçların güvenilir olup olmadığının saptanması işlemidir. Barajlar gibi büyük mühendislik yapılarında ve yakın çevresinde meydana gelen geometrik şekil değişimlerinin analizi amacıyla kurulan mühendislik kontrol ağlarının, bu değişimleri saptayabilme yeteneği ve ölçüler yardımıyla oluşturulan matematik (fonksiyonel ve stokastik) modelin gerçeğe uygunluğu bir dizi istatistiksel test işlemiyle denetlenir (Uzel ve ark.’na (1989) göre).

Matematik model, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki deterministik ilişkileri sağlayan “fonksiyonel model” ve ölçülerin duyarlılıklarını ve aralarındaki korelasyonları içeren “stokastik model” den meydana gelmektedir (Dilaver ve Karaali 1989).

Mühendislik yapılarında ve yeryüzünün belirli bölgelerinde ortaya çıkması beklenen geometrik değişimlerin saptanması için tesis edilen mühendislik kontrol ağlarında ölçmeler son derece özenle yapılmalarına rağmen yinede bazı hataların sonuçları olumsuz yönde etkilemeleri önlenemez ve “yerdeğiştirme” olarak yanlış karar verilmesine neden olur (Uzel ve ark.’na (1989) göre).

Baraj deformasyonlarının önceden belirlenmesi için uzun yıllardan beri kullanılmakta olan istatistiksel yöntemle yorumlanması işleminde deformasyonların doğrusal oldukları varsayımıyla en küçük kareler ilkesi uygulanır ve üç aşamadan oluşur:

- Deformasyona neden olan etki büyüklükleri ve deformasyon değerlerindeki değişimler yardımıyla bir prediksyon modelinin kurulması,
- Model parametrelerinin hesaplanması ve
- Modelin ve parametrelerin test edilmesi (Demirkaya 2005).



Şekil 2. 1 Barajlarda Yapılan Deformasyon Analizi İş Akış Şeması (Demirkaya 2005)

Barajlar güvenlik altında olması gereken ve denetimi zorunlu olan önemli mühendislik yapılarındandır. Barajlarda güvenlik ve denetim ile ilgili çalışmalar daha araştırma-inceleme ve tasarım aşamasında başlar. Yapım aşamasında ve işletme aşamasında da barajın ömrü boyunca devam eder. İşletme aşamasında iken, başlangıçta sık periyotlarla yapılan bu denetimler barajın yaşlanması ile daha seyrek periyotlarla olur. Barajların denetim altında tutulmasındaki temel amaçları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- Barajın yapısal ve işlevsel güvenliğinden emin olmak,
- İnsanların can ve mal güvenliğinden emin olmak,
- Gelecekle yapılacak benzer projeler için veri toplamak (Demirkaya 2005).

2.2 Barajların Genel Deformasyon Davranışı

Genel bir kural olarak, deformasyon incelemesi yapılan alan ve/veya yapılarda, deformasyon araştırması ve analizleri periyotlar halinde yapılmış deformasyon ölçüleri arasında yapılır. Fakat bu periyotlar arasında geçen zaman içerisinde deformasyon ölçüsü gerçekleştirilen yapı veya alanlarda oluşan hareketler hakkında bilgi elde edilemez. Periyotlar arasında oluşan deformasyon bilgisine ulaşmak için, deformasyon ölçüsü yapılan alan veya yapılarda sürekli jeodezik gözlem yada jeoteknik ölçülerden yararlanmak gerekir. Belirtilen bu işlemlerin haricinde istatistiksel yöntem kullanılarak periyotlar arasında oluşan deformasyon bilgisine ulaşmak mümkündür. İstatistiksel yöntem kullanıldığı zaman tahmin edilmiş deformasyon, ölçülmüş niteliklerden elde edilebilir. Ölçümler ve tahminler arasındaki iyi bir uyum, geçmişte deforme olmuş bir yapının davranışları hakkında bize bilgi verir. Daha açık bir şekilde ifade edilmek istenirse, uygulama alanında daha önceden yapılmış deformasyon ölçüleri mevcut ise, bu ölçülerden yararlanarak matematiksel bir fonksiyon elde edilir. Bir başka deyişle farklı zaman aralıklarında elde edilmiş deformasyonlara matematiksel bir fonksiyon uydurulur.

Bu fonksiyon yardımıyla yapının ilk ölçü periyodunun yapıldığı andan itibaren matematiksel fonksiyonun oluşturulduğu zaman dilimine ait herhangi bir aralıkta istenildiği anda geçmişe yönelik deformasyonlar elde edebilmek mümkündür.

Büyük mühendislik yapıları bir ülkenin sosyoekonomik gelişiminin bir göstergesidir. Bununla birlikte bu yapılar örneğin barajlar, köprüler, gökdelenler vb. çeşitli yüklenme faktörlerinden dolayı devamlı deformasyona maruz kalırlar. Deformasyondan dolayı bir yapıda özellikle de barajlarda oluşacak kusurların belirlenmesi gereklidir. Çünkü barajlarda oluşacak kusurlar engellenmesi mümkün olmayacak çok büyük bir felakete yol açabilirler. Bu yüzden, barajlar güvenlik altında olması gereken ve denetimi zorunlu olan önemli mühendislik yapılarındandır. Barajlarda güvenlik ve denetim ile ilgili çalışmalar araştırma, inceleme ve tasarım aşamasında başlar, yapım aşamasında ve işletme aşamasında barajın ömrü boyunca devam eder. İşletme aşamasında iken, başlangıçta sık periyotlarla yapılan bu denetimler barajın yaşlanması ile daha seyrek periyotlarda olur. Fakat barajda risk oluşturacak özel durumlarda (deprem gibi) ölçme periyotları sıklaştırılmalıdır.

Deformasyonların belirlenmesi ile ilgili yapılacak çalışmalar, gelecekte yapılacak benzer çalışmalar için bir veri tabanı oluşumuna katkı sağlayacaktır. Ayrıca, olası can ve mal kaybının önlenmesi ile birlikte yapılan ulusal yatırımların korunmasını ve felaketlerden önce tedbir alınmasını sağlayacaktır.

Barajlarda deformasyonun mekanizmasının daha iyi anlaşılmasının sağlanabilmesi için yük-yer değiştirme ilişkisinin belirlenmesi gereklidir. Yük-yer değiştirme ilişkisi istatistiksel ve fonksiyonel olarak adlandırılan fiziksel modellenmeler yardımı ile belirlenmektedir. Fonksiyonel model olarak, mühendislik problemlerinin yaklaşık çözümlerini elde etmek için kullanılan ve sayısal analiz tekniği olan sonlu elemanlar metodu kullanılarak belirlenmektedir (Taşçı ve Gökalp 2003).

Baraja etki eden bu kuvvetler her zaman sabit büyüklükte olmayıp zaman zaman değişim gösterebilirler. Deformasyon ve sızma böyle yüklerin açık bir fonksiyonudur. Normal olmayan baraj davranışının herhangi bir işareti baraj emniyetini tehdit eden bir işarettir. Dolgu barajlar, beton barajlardan farklı olarak tamamen (hep birlikte) deforme olur. Dolgu barajlarda, deformasyon daha sürekli bir şekildedir. Barajın kendi ağırlığı ve rezervuardaki suyun hidrostatik basıncı yapının düşey hareketi ile sonuçlanan büyük bir kuvvet uygular. Rezervuardaki suyun hidrostatik basıncı aynı zamanda barajın merkez çizgisine dik sürekli yatay deformasyona sebep olur. Dolgu barajlarda elastik davranış yavaştır (Taşçı ve Gökalp 2003).

Yapılardaki deformasyonlar kısa sürede ortaya çıkmadığı için, bu yapıların uzun süreli gözlenmesi, olası değişimlerinin araştırılması gerekir. Deformasyon ölçmeleri ya gerçek sorunun belirlenmesi ya da bir tehlikenin ortaya çıkarılması amacıyla yapılır. Binaların yapımı, kullanılan malzeme, malzemede zamanla oluşabilecek değişiklikler, zemin durumu, dışarıdan yapıya gelebilecek etkiler ve yapının bulunduğu yerin özellikleri yapılardaki ölçü planını ve ölçme tekniklerini etkilemektedir. Yapılardaki deformasyon ölçmeleriyle, yatay ve düşey yöndeki ötelenmeler ile şekil değişimlerinin oluşup oluşmadığı belirlenebilir. Deformasyon ölçmelerinin değerlendirilmesi sonucu, deformasyona uğradığı belirlenen yapıların iyileştirilmesi için ilgili disiplinlerle işbirliği yapılarak gerekli çalışmaların yapılmasına öncülük edilir(Aydın ve ark.'na (2003) göre 2003).

2.2. 1 Barajlarda uygulanan deformasyon izleme sistemleri

Uluslara arası Büyük Barajlar Komitesinin (ICOLD) verilerine göre, yeryüzünde çok sayıda büyük baraj inşa edilmiştir. Günümüzde sayının çok daha arttığı kesindir. Barajlar gibi büyük mühendislik yapılarının sebep olabileceği felaketlerin boyutu da büyük olacaktır. Bu sebeple, baraj yapılarının periyodik izlenmesi ve ortaya çıkabilecek deformasyonların belirlenmesi oldukça önem taşır. Barajlarda suyun tutulmasıyla

başlayan ve işletme safhasında devam eden izleme çalışmaları, barajın tipine ve işletmeye alınmasından itibaren geçen zamana bağlı olarak farklı periyotlarda ve farklı doğruluklardaki ölçmelerle gerçekleştirilir. Çok sayıda büyük baraja sahip Çin de uygulanmakta olan bazı kriterler örnek olarak aşağıda Tablo 2.1 de verilmiştir.

Barajlardaki deformasyonların belirlenebilmesi için gerekli olan izleme yöntemleri ve talep edilen ölçme doğrulukları, bu işin sadece jeodezik yöntemlerle değil, daha başka izleme yöntemlerinin de devreye konmasını zorunlu kılmaktadır (Kalkan ve Alkan 2005).

Barajlarda genellikle uyulmakta olan deformasyon izleme yöntemleri:

- ✓ Jeodezik Yöntem
- ✓ Aliyman Ölçmeleri
- ✓ Klasik Konum Ölçmeleri
- ✓ Uydu Bazlı Konum Ölçmeleri
- ✓ Hassas Trigonometrik Nivelman
- ✓ Hassas Geometrik Nivelman

Diğer Yöntemler ve Ölçme Donanımları

- ✓ Eğim Ölçmeleri (İnclinometreler)
- ✓ Deplasman Ölçmeleri (Settlement Tubes)
- ✓ Uzunluk Değişim Ölçmeleri (Extensometreler)
- ✓ Boşluk Suyu Basıncı Ölçmeleri (Piczometreler)
- ✓ Düşeyden Ayrılma Ölçmeleri (Reversed Pendulum)
- ✓ Derz Ölçerleri (Jointmetreler)
- ✓ Çatlak Ölçmeleri (Crackmetreler)

Tablo 2. 1 Çin de Barajlarda Uygulanan Bazı Kriterler

Baraj Tipi	Beton Kemer	Kaya Dolgu
İzlenen Deformasyonlar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Konum değişimleri(Yatay yerdeğişim) ➤ Temel oturmaları, düşeyden sapmalar ➤ Boşluk suyu basıncı ➤ Sızıntı ➤ Gövdedeki sıcaklık değişimi ➤ Beton gerilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yatay yer değiştirme ➤ Düşey yer değiştirme ➤ Boşluk suyu basıncı ➤ Sızıntı
İzleme Doğruluğu	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yatay yer değiştirme:1-1,5 mm ➤ Düşey yer değiştirme:1-1,5 mm 	<p>İnşaat Aşamasında</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Yatay yer değişim:10 mm ➤ Düşey yer değişim:5-10 mm <p>İşletme Sırasında</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Yatay yer değişimi:5 mm ➤ Düşey yer değişimi:3-5 mm
Ölçme Periyodu Aralığı	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Baraja su tutulması döneminde 7-10 gün ➤ Barajın dolmasını takiben stabilite kazanıncaya kadar (3-5 yıl) 15-30 gün ➤ Barajın normal işletme periyodunda 1-3 ay 	<p>7-10 gün</p> <p>1 ay</p> <p>3 ay</p>

2.2.2 Barajlarda deformasyon analizi

Belirli periyotlarda yapılmış olan deformasyon ölçmelerinin sonuçlarını karşılaştırabilmek için öncelikle her periyot tek başına değerlendirilerek uyumsuz ölçülerin belirlenmesi yoluna gidilir. Bilindiği gibi bu yaklaşım, Gauss Markoff Modeline dayanır ve bazı test kurallarına göre, daha önceden yapılmış kabullerle (belirlenmiş kriterlerle) çelişen düzeltme değerlerinin belirlenmesi şeklinde yapılır. Belirlenen kaba hatalı ölçüler, ya kümeden çıkarılır, ya yeniden ölçülür yada ağırlığına müdahale edilerek etkisi azaltılır. Ölçülerden giderilemeyen artık sistematik hatalar ise, ya modelin fonksiyonel bir parçası olarak düşünülür, yada bir stokastik etki olarak göz önüne alınır. Bu ön işlemlerden sonra, periyotlar arasında korelasyonun var olması halinde çift periyot dengelemesi yapılır. Birleşik dengelemenin Gauss-Markoff modeli, i ve j periyotları için;

$$L_i + V_i = A_i X_i, \Sigma_i ; L_j + V_j = A_j X_j, \Sigma_j \quad (2.1)$$

ise, birlikte dengelemenin matematik modeli,

$$\begin{bmatrix} L_i \\ L_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_i \\ V_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_i & 0 \\ 0 & A_j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_i \\ X_j \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} \Sigma_i & 0 \\ 0 & \Sigma_j \end{bmatrix} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_i & 0 \\ 0 & Q_j \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$L + V = AX ; \Sigma = \sigma_0^2 \cdot Q \quad (2.3)$$

Eğer birleşik dengeleme yapılamıyorsa, periyotları karşılaştırabilmek için bazı hesaplamalar gerekir. σ_0^2 teorik varyansının veya tahmin değerlerinin $E(S_{oi}^2) = E(S_{oj}^2) = \sigma_0^2$ aynı ümit değere sahip olması şartıyla S_0^2 ortak varyansı iki periyodun ayrı ayrı dengelenmesinden hesaplanabilir.

$$S_0^2 = \frac{f_i S_{oi}^2 + f_j S_{oj}^2}{f_i + f_j} = \frac{q}{f}, q = (V^T PV)_i + (V^T PV)_j, f = f_i + f_j \quad (2.4)$$

Periyotların birleştirilmesi için zorunlu olan diğ er bir iş lem, her iki periyodunda aynı bir jeodezik datuma dayandırılmasıdır. Baş ka bir ifadeyle, bilinen noktalar için aynı yaklaşık koordinatların kullanılması gerekir. Baş langıçta farklı datuma sahip ölçüler, uygun dönüşüm eşitlikleri ile aynı bir datuma dönüştürülür. Örneğ in şart denklemi $R_1x = 0$ olan datadan $R_2x = 0$ olan dataya dönüşüm bir S-transformasyonu ile sağ lanabilir (Kalkan ve Alkan 2005).

2.3 Barajların Güvenliğı

Tablo 2. 2 Baraj kazalarının nedenleri (Blind 1982)

Neden	Sayı	Yüzde %
Taksın	111	35.92
Temel problemleri	104	33.66
Baraj gölüne yamaç kayması	28	9.06
Yapım hataları	6	1.94
Gövde çatlakları	9	2.91
Savaş	5	1.62
Hatalı hesaplamalar	4	1.29
Deprem	-	-
Bilinmeyen sebepler	42	13.59
Toplam	309	100

Baş langıçta taşkınları önlemek ve iç me suyu temin etmek için kurulan barajlar 20 yüzyılda artan nüfus ve geliş en teknolojiye paralel olarak, daha fazla enerjiye gereksinim duyulması, enerji aç ığının karşı lanması amacıyla inş aa edilmeye başlamış tır. Enerji üretimi amaçlı barajlara olan bu gereksinim ise daha yüksek barajların inş asını zorunlu kılmış tır. Yüksek barajların inş ası ve yeni inş a edilecek barajlar için zemin

ve topoğrafik yapı bakımından daha az uygun yerlerin kalması bu barajların kontrol altında tutulmaları gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu çerçevede 1928 yılında kurulan ve 1967 yılından itibaren bağımsız olarak faaliyet gösteren Büyük Barajlar Uluslararası Komisyonu ICOLD Dünyadaki bütün barajların kaydını tutmakla ve bilgi alışverişi ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. 1820-1986 yılları arasında meydana gelen yaklaşık 600 baraj kazasından 309'unun nedenleri yukarıda Tablo 2.2 'de verilmektedir.

Tablo 2.2 incelendiğinde kaza nedenleri arasında baraj gölüne olan yamaç kaymaları önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle barajların gözlemleri sadece baraj gövdesi ile sınırlandırılmamalı gözlem planı oluşturulurken yamaçlardan rezervuara olabilecek olası kaymalar da göz önünde bulundurulurken ölçme planı baraj gövdesi ve yakın çevresini de kapsayacak şekilde genişletilmelidir.

Barajlarda yapılacak olan jeodezik gözlemlerin zaman aralıkları, baraj gövdesine ve yakın çevresine etkiyen iç ve dış kuvvetlerin zamansal akışı göz önünde bulundurularak planlanmalıdır. Barajın ilk dolun evresi baraj gövdesindeki hareketlerin izlenmesi en kritik dönemdir. Bu evrede ölçüler belirli su seviyelerinde gerçekleştirilmelidir. Barajın işletme devresinin ilk yıllarında ise jeodezik ölçümler rezervuardaki su seviyesinin en fazla ve en düşük olduğu ilkbahar ve sonbahar aylarında olmak üzere yılda iki kez yapılmalıdır. Normal işletme devresinde ise oluşturulan yatay ve düşey kontrol ağındaki bütün ölçüleri kapsayan kapsamlı ölçüler beş yılda bir tekrarlanmalı normal bir ölçü programı çerçevesinde karakteristik bölgeleri içeren rutin ölçüler ise her yıl tekrarlanmalıdır. Bu ölçme düzeni Tablo2.3 de verilmektedir.

Tablo 2. 3 Barajlarda Ölçme Peryotları

Ölçme Yöntemi	İlk Dolum Evresi	İşletme Devresinin İlk Evresi (2-3) Yıl	Normal İşletme Devresi
Bağlı Ölçüler	Belirli su seviyelerinde	Yılda iki kez	• 5 yılda bir • Her yıl
Mutlak Ölçüler	Günlük	Haftalık	Aylık

Görüldüğü gibi deformasyon ve deplasman ölçümleri ilk dolum sırasında başlamalı ve barajın bütün ömrü boyunca sürmelidir. Baraj gövdesinin ve yakın çevresinin jeodezik gözlemindeki amaçları ise aşağıdaki şekilde ana başlıklarla sıralayabiliriz:

- Baraj gövdesindeki ve çevresinde meydana gelebilecek olağan dışı davranışların önceden belirlenmesi,
- Projede kabul edilen hesapların sınılanması için beklenen hareketlerle gerçek hareketlerin karşılaştırılması ve
- Hesaplama modelinin kalibrasyonudur (Gülal ve ark.'na (2003) göre 2003).

3 DEFORMASYON ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Deformasyon belirlemede iki ölçü yöntemi kullanılır. Bu yöntemler, jeodezik yöntemler ve fiziksel yöntemlerdir. Jeodezik yöntemlerle mutlak değişimler, fiziksel yöntemlerle bağıl değişimler belirlenir. Jeodezik yöntemlerle yüksek hassasiyetler elde edilebilir. Ayrıca alet ve eleman sayısı azdır. Bu nedenle maliyet açısından daha uygundur. Ancak jeodezik ölçmeler belli bir periyotta yapıldığı için ani değişimlerin belirlenmesi imkansızdır. Fiziksel yöntemlerde ise ani deformasyonların belirlenmesi, fiziksel özellikler hakkında bilgi elde etme gibi avantajlar vardır. Ancak kullanılan aletlerin pahalı olması ve fazla eleman gerektirmesi fiziksel yöntemlerin dezavantajlarını oluşturur. Buna göre olması gereken durum bu iki yöntemin bir arada kullanılmasıdır.

3.1 Fiziksel Yöntemler

Fiziksel yöntemlerde kullanılan aletler genelde yapıya sabit olarak yerleştirilir ve bu aletlerle ölçülen değerler otomatik olarak kaydedilir. Bu yöntemlerin barajlar üzerindeki uygulanması aşmasında farklı alet ve donanımlar kullanılarak deformasyonlar tespit edilmeye çalışılır.

3.1.1 Barajlarda fiziksel deformasyon ölçme yöntemleri

Barajlarda yapılan fiziksel deformasyon ölçümleri:

- Gövde dolgu malzemesinin ve zeminin durumunu belirleyecek ölçmeler
- Gövde içi hareketleri belirleyecek ölçmeleri
- Dış yükleri belirleyecek ölçmeler
- Gövdenin tüm hareketlerini belirlemek için yapılan ölçmeler

şeklinde dört gruba ayrılır (Yılmaz 1993).

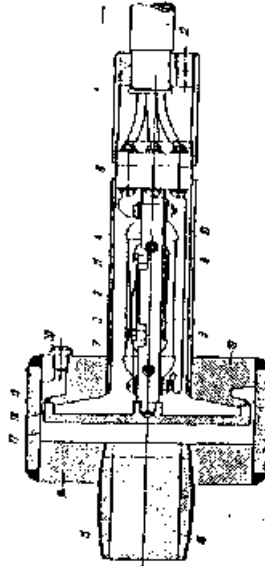
3.1.1.1 Gövde dolgu malzemesinin ve zeminin durumunu belirleyecek ölçmeler

Gövde dolgu malzemesinin ve zeminin durumunu belirleyecek ölçmeler kendi arasında üç bölümde incelenir (Yılmaz 1993).

➤ Boşluk suyu basıncı ölçmesi

Baraj rezervuarında toplanan su kütlesi, gövdeyi teşkil eden malzeme ve baraj temelindeki malzeme arasına sızar. Buna toprak dolgu barajlarda “boşluk suyu” ve yaptığı etkiye de “boşluk suyu basıncı” denir.

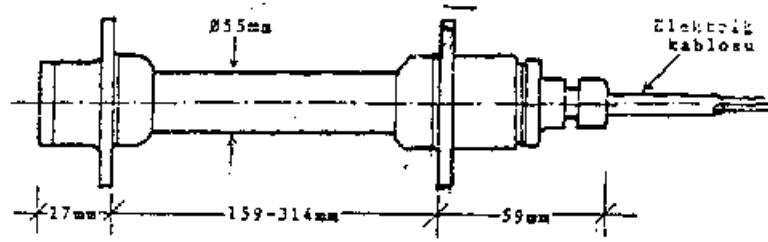
Toprak dolgu barajlarda boşluk suyu basıncı temele ve gövde içine yerleştirilen piyezometreler yardımı ile belirlenir. Piyezometre toprak dolgu barajlarda, temel yada dolgu içerisindeki boşluk suyu basıncını ölçmeye yarayan bir alettir. Hidrolik, Pneumatik ve elektriksel olmak üzere üç türü vardır (Yılmaz 1993).



Şekil 3. 1 Elektriksel piyezometre

➤ Gövde betonu hareketi ölçmeleri

Cisimlerin basınç ve çekme kuvvetlerinin etkisi altındaki davranışlarını belirlemek için önce o cismin deformasyon modülü ile poisson katsayısını bilmek gerekir. Bu değerlerin belirlenmesinde en iyi yöntem streynmetrelerle ölçüm yapmaktır.



Şekil 3. 2 Streynmetre

Streynmetreler baraj reaksiyonlarını kontrol etmek ve dolum sırasında ve ondan sonraki işletme süreci içerisinde betonun davranışını izleme amacıyla kurulan ölçme sisteminin bir parçasıdır. Diğer aletler, rezervuar su basıncı, sıcaklık etkisi v.b. etkiler altında bütün gövdenin deplasmanını ölçerken streynmetreler, yerleştirildikleri yerlerde, betonun kendi gerilmelerini belirlemek için biri yatay, ikisi eğik uç doğrultusundaki bağıl beton hareketlerini belirlerler. Streynmetrenin aktif ve düzeltici olmak üzere iki çeşittir (Yılmaz 1993).

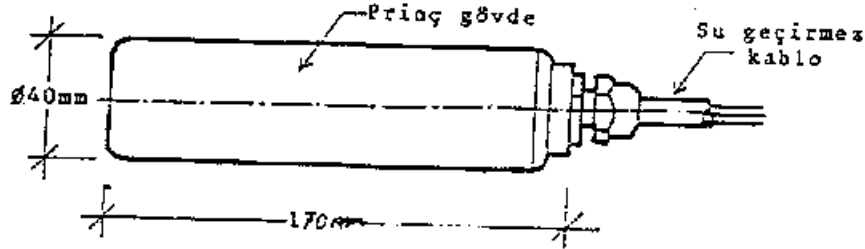
➤ Gövde içinde sıcaklık ölçmeleri

Sıcaklık, beton barajlarda gerilme ve şekil değişimlerinin analizinde önemli bir faktördür. Bu faktör suyun girişimi, çatlak görüntüleri, yarıklar v.b. konularında da önemli bilgiler verir. Baraj gövdesi içindeki farklı sıcaklıkları araştırmak için gövde içine termometreler yerleştirilir. Gövde içinde sıcaklık ölçmelerinin amacı gövde içindeki sıcaklığın dağılımını ve zamana göre değişimini elde etmektir.

Barajlarda sıcaklık ölçmede kullanılan termometreler;

- Akustik Termometre
- Teletermometre

olmak üzere iki çeşittir (Yılmaz 1993).



Şekil 3. 3 Akustik Termometre

3.1.1.2 Gövde içi hareketleri belirleyecek ölçmeleri

Ölçmeler kendi arasında dört bölüme ayrılır.

➤ Gövde içinde gerilme ve basınç ölçmeleri

Gerilmeleri belirlemek için yatay bir derz boyunca düşey gerilme vektörleri ölçülmelidir. Bu ölçme için, enkesitin su, hava tarafında ve ortasında olmak üzere yatay kesitin en az üç noktasında ölçme yapılmalıdır. Gerilmelerin daha iyi bir şekilde araştırılması için mümkün olduğunca profil düzleminde yalnız düşey değil aynı zamanda yatay gerilme vektörlerinin de ölçülmesi gerekir.

Gerilme ve basınç ölçme işleminde şu aletlerden faydalanılır:

Teleformetre : Beton içindeki gerilmeleri ölçmede kullanılır.

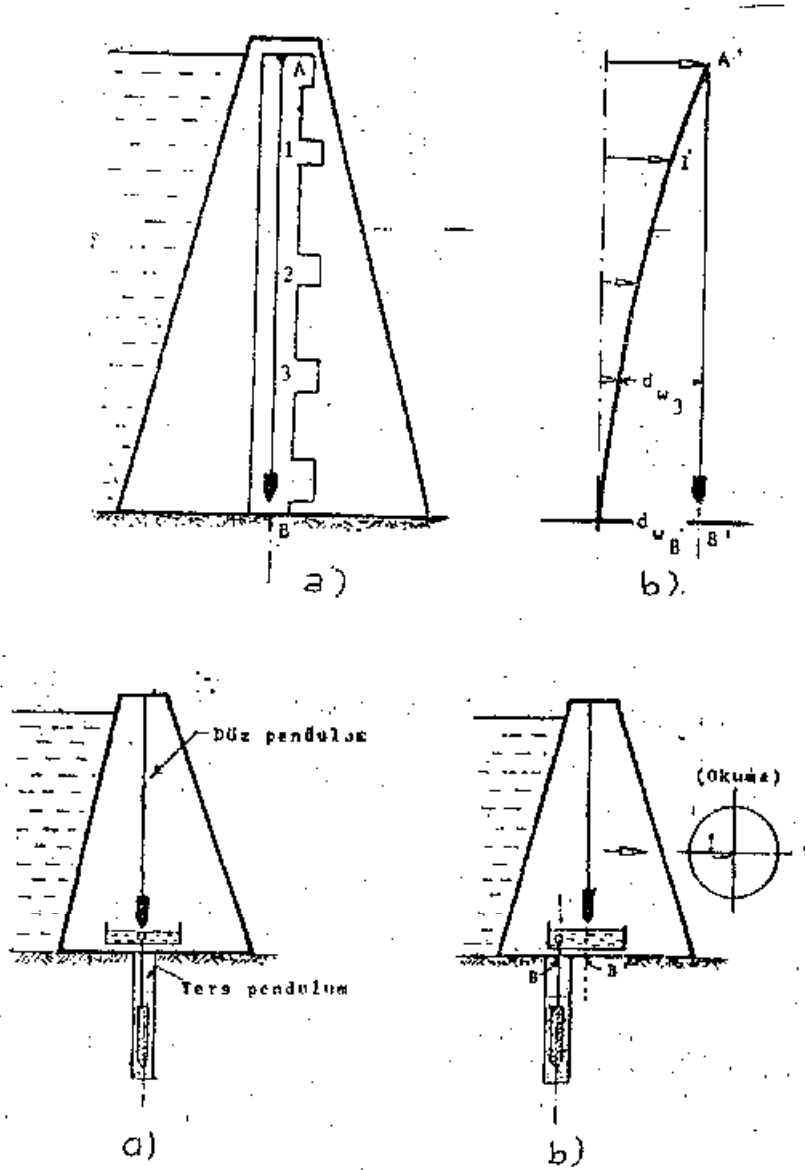
Telepresmetre : Beton içindeki basıncı ölçmede kullanılır.

Tenso-Pick Up : Beton yüzeylerdeki gerilmeyi ölçmede kullanılır (Yılmaz 1993).

➤ Gövde içinde eğilme ölçmeleri

Beton barajlarda gövde içinde eğilmelerin belirlenmesinde pandüllerden yararlanır. Pandüller, su yükü ve sıcaklık değişimi gibi etkilerle oluşan eğilmelerin ve yatay hareketlerin ölçülmesi için uygundur. Pandül ölçmeleri diğer yöntemlere göre daha basit

bir yol sağlar. Bunu sağlamak amacıyla deformasyon bakımından önemli olan bazı bloklara veya destek sistemlerine düşey şaftlar (bacalar) açılır. Bu şaftların içerisine biri ters, diğeri düz pandül düzeni kurulur.



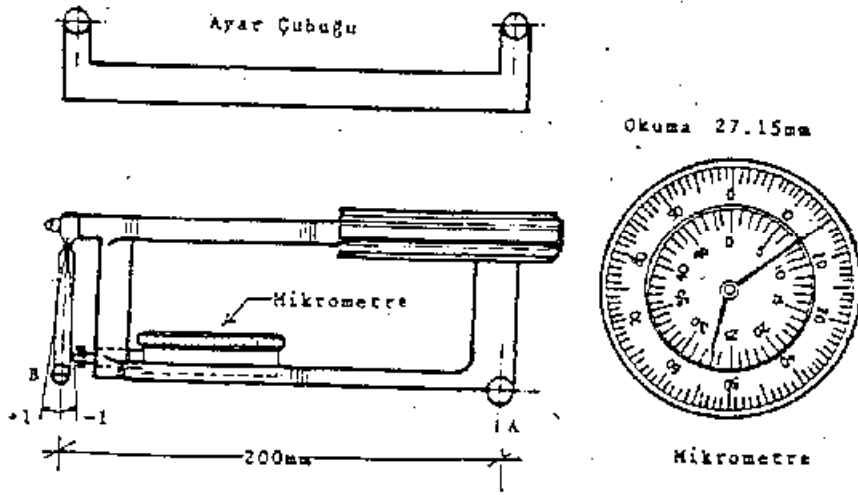
Şekil 3. 4 Düz ve ters Pandül ölçümleri

Pandül okuma sistemi elektriksel ve mekanik olmak üzere iki türdür. Mekanik sistemde, pandül telinin eksenlere uzaklığı cetvelle ölçülür. Elektriksel okuma

sisteminde ise eksenler üzerine bobinler yerleştirilmiştir. Pandül telinin hareketi bobinlerin osilasyon frekansında değişmelere neden olur. Frekanstaki bu değişmeler elektronik devrelere dönüştürülerek telin eksenlere olan uzaklıkları belirlenir (Yılmaz 1993).

➤ Derz ve çatlak ölçmeleri

Beton barajlarda derzlerin araları ölçülerek baraj gövdesinin çeşitli yüksekliklerdeki yatay deformasyonları belirlenir. Bunun için baraj gövdesini oluşturan blokların birleşim yerlerindeki derzlerin araları çeşitli yüksekliklerdeki galerilerde ölçülerek kontrol edilmektedir. Derz aralarının ölçülmesinde jointmetre denilen bir alet kullanılır (Yılmaz 1993).



Şekil 3. 5 Jointmetre

➤ Kaldırma basıncı ölçmeleri

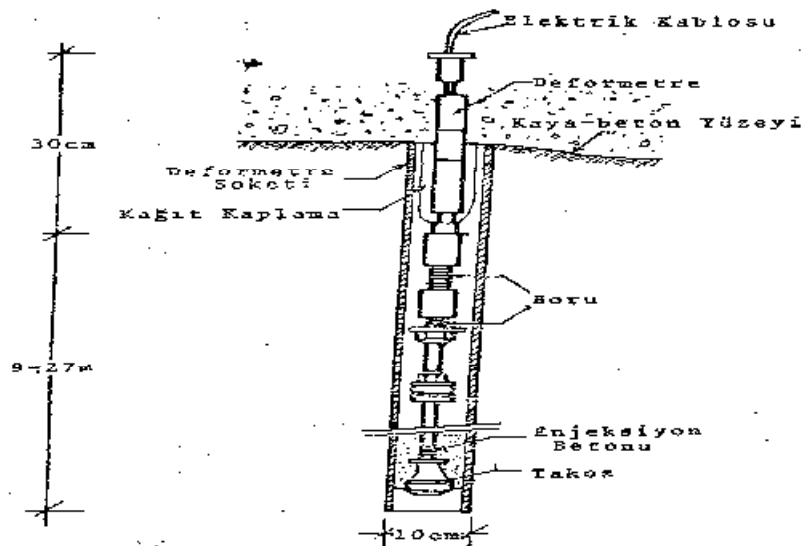
Toprak veya kaya dolgu barajlarda suyun kaldırma kuvveti önemli bir faktördür. Bu nedenle rezervuar dolumundan sonra bağlantı sistemleri veya temel derzleri arasından akan su sızıntısı veya süz nedeniyle tabanda muhtemel bir hidrolik kaldırma basıncının olup olmadığını belirlemek için bir boru sistemi yerleştirilir. Kaldırma basıncı, basınç ölçen aletlerle veya akustik aletlerle belirlenebilir. Boru, basınç altında olduğu zaman basınç, Bourbon tipi aletlerle ölçülür. Borudaki basınç sıfırı gösteriyorsa borunun içindeki suyun seviyesi akustik bir aletle belirlenebilir (Yılmaz 1993).

3.1.1.3 Dış yükleri belirleyecek ölçmeler

Bu tür ölçmeler kendi içinde beş bölüme ayrılır.

➤ Temel kayasının hareketlerinin ölçülmesi

Temel kayasının hareketlerini kontrol etmek için beton barajlarda deformetreler kullanılır. Deformetreler, temel kayasına açılan ve gövde betonu ile temel kayasının birleştiği yerden 9-30 metre aşağıya kadar uzanan delikler içerisine yerleştirilir.



Şekil 3. 6 Deformetre

Temel kayasının hareketlerini ölçmek için en az iki adet deformetre, blokların memba ve mansap yüzleri arasına yerleştirilmelidir (Yılmaz 1993).

➤ **Blokların düşey dönmelerinin ve eğilmelerin ölçülmesi**

Baraj gövdesinin ve bloklarının düşeyle yaptıkları açısız değişimleri ölçmek için eğim ölçerler (klinometreler) kullanılır. Bu alet, kalibre edilmiş bir çubuk ile bunun alt ucuna asılmış olan bir ağırlıktan oluşur.

Düşey ve az eğimli yüzeylerdeki eğilmelerin belirlenmesinde, inklinator adı verilen mekanik bir alet kullanılmaktadır. Bu aletin klinometreden farkı 1-2 metre gibi ara mesafeli iki nokta arasındaki eğilmeyi ölçmesidir.

Beton barajlarda gövdenin düşey doğrultudan sapmalarını belirlemek için koordimetre adı verilen aletler kullanılmaktadır. Koordimetre, aynı düşey doğrultuda değişik noktalara asılarak kullanılır (Yılmaz 1993).

➤ **Rezervuardaki su seviyesinin ölçülmesi**

Bir barajın rezervuarındaki su seviyesinin ölçülmesi ve değişimlerinin belirlenmesi gerekir. Rezervuardaki su seviyesinin ölçülmesi baraj gövdesine etki eden basınç miktarını belirlemede yardımcı olur. Rezervuardaki su seviyesi kurulan bir maregraf istasyonu ile ölçülür. Ölçmeler günlük veya haftalık yapılabilir. Fakat günümüzde ölçmeler maregraf istasyonu yakınında kurulan bir ölçme odasındaki bir bilgisayar ekranında sürekli izlenir. Ölçme değerleri bir grafik üzerine işlenir (Yılmaz 1993).

➤ **Sismik ölçmeler**

Baraj güvenliği bakımından baraj yeri etüdü sırasında ve sonrasında, kurulu bir gravimetrik ağda lokal ve mikrogravimetrik ölçmeler yapılmalıdır. Uygulamalı gravimetri, ağ anomalilerinden, farklı jeolojik birimler ve tektonik problemler hakkında

bilgi sağlar. Lokal ve mikrogravimetrik araştırmalar, yeryüzüne yakın boşlukların belirlenmesine imkan verir (Yılmaz 1993).

➤ **Atmosferik ölçmeler**

Baraj güvenliği için atmosferik olaylar son derece önemlidir. Bu nedenle baraj çevresinde, daha baraj inşa edilmeden bir atmosferik ölçme istasyonu kurulur. Bu istasyonda,

- Atmosferik sıcaklık,
- Basınç,
- Nem,
- Rüzgarın hızı ve yönü,
- Günlük yağış,

ölçmeleri yapılarak kaydedilir (Yılmaz 1993).

3.1.1.4 Gövdenin Tüm Hareketlerini Belirlemek İçin Yapılan Ölçmeler

Bu tür ölçmelerde jeodezik ölçü yöntemleri kullanılmaktadır.

3.2 Jeodezik Yöntemler

3.2.1 Jeodezik Ağ Yöntemi

Jeodezik konum ağı jeodezik ölçülerle birbirine bağlı noktalardan oluşur. Bunlar,

- Referans (kontrol) noktaları
- Obje (deformasyona uğrayan) noktalar
- Yönelme noktaları
- Sigorta noktalarından oluşur.

1. Referans (Kontrol) Noktaları

Obje noktalarının izlenmesi amacıyla, obje noktalarının yakınına tesis edilen ve üzerine alet kurulup ölçme yapılan noktalardır. Mutlak değerlerin belirlenebilmesi için bu noktaların deformasyona uğramadığı yani sabit kaldıkları önceden kanıtlanmalıdır.

2. Obje (deformasyon) Noktaları

Bu noktalar deformasyonu belirlenecek objeye yerleştirilmişlerdir. Obje noktalarının işaretleri büyüklük ve biçim bakımından ölçme yöntemine jeodezik ağı yapısına uygun olmalıdır. Barajlarda barajın mansap (hava) tarafına gövdenin deformasyon eğrilerini oluşturmak amacıyla farklı yükseklikte paralel sıralar halinde tesis edilir.

3. Yönelme Noktaları

Hareketsiz olarak kabul edilen noktalardır. Referans noktalarından yönelme noktalarına doğrultu ölçmeleri yapılarak geriden kestirme hesabı ile gözlem noktalarında (referans) hareket olup olmadığı belirlenir.

4. Sigorta Noktaları

Referans noktalarındaki olası küçük kaymaların yönünü ve büyüklüğünü belirlemek için referans noktalarının 10-20 metre yakınına uygun dağılmış 3-4 nokta tesis edilir. Bunlara sigorta noktaları denir (İnal 2001).

3.2.1.1 Jeodezik ağı ölçülmesi

Jeodezik ağı,

- Doğrultu ağı
- Kenar ağı
- Doğrultu-kenar ağı

biçiminde ölçülebilir. Eğer bu ağda noktaların yatay konumları yanında yüksekliklerinin de belirlenmesi için düşey açılar ölçülmüşse bu durumda bütüncül ağ oluşturulmuş olur.

Ölçülere başlamadan önce ölçme yöntemi ve kullanılacak aletler belirlenir. Aletlerin eksen hataları kontrol edilir. Hata varsa giderilir. Elektronik uzaklık ölçerlerin kontrol ve kalibrasyonları yapılır. Ölçmeler daha önceden belirlenen plana göre atmosferik koşulların en uygun olduğu zamanda deneyimli operatörlerce yapılır.

Ağın ölçülmesi sırasında deformasyon olmadığı varsayıldığından ölçmeler çok kısa sürede tamamlanmalıdır. Ölçmeler sırasında hava sıcaklığı, barajdaki su yüksekliğinin, rüzgar yönü vb. bilgiler kaydedilir. Yorumlamada bu bilgilerden faydalanılır.

Ölçmelere başlanmadan önce aletlerin ortam sıcaklığına uyum sağlaması gerekir. Bu nedenle alet sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkın beş katsayısı ile çarpılarak dakika biriminde beklenmesi gerekir (İnal 2001).

Yatay doğrultu ölçmeleri gün içinde yatay kırılmanın en az olduğu sabah ve akşam saatlerinde yapılmalıdır. Ölçmeler silsile yöntemine göre yapılır. Ölçülerin indigenmesinde istasyon dengelemesi uygulanır. Her referans noktasında yapılan ölçü için bir öncül standart sapma değeri elde edilir.

s: gözlenen doğrultu sayısı ($k=1,2,3,\dots,s$)

n: silsile sayısı ($i=1,2,3,\dots,n$)

r_k : k.nıncı doğrultunun silsileler ortalaması

r_{ik} : i.ninci silsiledeki k.nıncı doğrultu

d_{ik} : i.ninci silsiledeki k.nıncı doğrultunun silsileler ortalamasından olan ölçü farkı

d_i : i.ninci silsiledeki k sayıda doğrultunun ölçümünün farklarının ortalaması

V_{ik} : i.ninci silsiledeki k.nıncı doğrultunun hatası

s_r : Bir doğrultunun bir silsiledeki standart sapması

S_r : Bir doğrultunun silsileler ortalamasının standart sapması

$$d_{ik} = r_k - r_{ik} \quad (3.1)$$

$$d_i = \frac{[d_{ik} d_{ik}]}{s} \quad (3.2)$$

$$V_{ik} = d_{ik} - d_i \quad (3.3)$$

$$[VV]_i = [V_{ik} V_{ik}] \quad (3.4)$$

$$[VV] = [[V_{ik} V_{ik}]] \quad (3.5)$$

$$s_r = \sqrt{\frac{[VV]}{(n-1)(s-1)}} \quad (3.6)$$

$$S_r = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.7)$$

bağıntıları kullanılır.

Düşey açı ölçmeleri günün 1. ve 3. dördte bir bölümünde yapılır. Düşey kırılmanın hızlı değişmesi nedeniyle düşey açı ölçülerinin duyarlılığı çok değişir. Düşey açı ölçümünün duyarlılığını artırmak için teodolit dürbünün üst, orta ve alt gözlem çizgileri hedefe ayrı ayrı uygulanır. Dürbünün I. Durumunda K1, K2, K3 ve II. Dürbün durumunda K3, K2, K1 düşey açı okumaları yapılarak

$$z_1 = 0,5[z_1' - z_2' + 400]$$

$$z_2 = 0,5[z_1'' - z_2'' + 400] \quad (3.8)$$

$$z_3 = 0,5[z_1''' - z_2''' + 400]$$

$$z_i = \frac{(z_1 + z_2 + z_3)}{3} \quad (3.9)$$

bağıntıları ile düşey açı hesaplanır. Ölçülen düşey açıların öncül standart sapmalarının hesabı için

n: silsile sayısı

z_i : gözleme çizgisinde okunan düşey açı değerleri

Z_i :İndirgenmiş düşey açılar ortalaması

v_i :indirgenmiş düşey açının hatası

s_z :İndirgenmiş her bir düşey açının standart sapması

S_z :Silsileler ortalaması olan indirgenmiş düşey açının standart sapması olarak

$$V_i = Z_i - z_i \quad (3.10)$$

$$s_z = \sqrt{\frac{[VV]}{(n-1)}} \quad (3.11)$$

$$S_z = \frac{s_z}{\sqrt{n}} \quad (3.12)$$

bağıntıları geçerlidir. Bir noktada yapılan düşey açı ölçüleri için tek standart sapma değerleri belirlenmek istenirse,

$$S_z = \sqrt{\frac{[VV]}{n \cdot s - 1}} \quad (3.13)$$

bağıntısı geçerlidir.

Elektronik uzunluk ölçerden elde edilen kenar uzunlukları jeodezik amaçlar için kullanılmadan önce bir dizi düzeltme ve indirgeme işlemi yapılır. Ölçme aleti ve yansıtıcının bulunduğu noktada basınç ve hava sıcaklığı ölçülür. Alet ve yansıtıcı yüksekliği mm inceliğinde ölçülmelidir. Eğik kenarlar için hız ve eğrilik düzeltmesi getirilmesi yeterlidir.

T_A ve T_B : A ve B noktalarındaki hava sıcaklığı

$$T = 0,5(T_A + T_B)^\circ K \quad (3.14)$$

P_A ve P_B :A ve B noktalarındaki atmosferik basınç

$$P = 0,5(P_A + P_B) \text{ mbar} \quad (3.15)$$

H_A ve H_B :A ve B noktalarındaki yükseklik

i_A ve i_B :A ve B noktalarındaki alet yüksekliği

$$h_A = H_A + i_A, \quad h_B = H_B + i_B \quad (3.16)$$

olmak üzere lazer ışını kullanılan elektronik uzunluk ölçer için grup hızı ve grup kırılma indisi, alette kullanılan ışının dalga boyu olarak

$$(n_{g0} - 1) \times 10^6 = 287,604 + \left(\frac{4,8864}{\lambda^2} \right) + \left(\frac{0,0680}{\lambda^4} \right) \quad (3.17)$$

$$(n_g - 1) = 0,2696(n_{g0} - 1) \left(\frac{P}{T} \right) \quad (3.18)$$

dır. Buna göre ölçülen S_0 eğik kenar uzunluğuna getirilecek hiz düzeltmesi,

$$S_v = S_0 \left(\left(\frac{n_{alet}}{n_g} \right) - 1 \right) \quad (3.19)$$

$$S_1 = S_0 + S_v, \quad S_E = \frac{S_1^3}{32R^2}, \quad S_2 = S_1 + S_E \quad (3.20)$$

eğrilik düzeltmesi getirilir.

Jeodezik yöntemlerle deformasyon belirleme çalışmalarında uydu ölçmeleri yöntemi uygulanacaksa statik ölçme yöntemi tercih edilir. GPS ölçüleri yapmak için, 15^0 lik yükseklik açısı üzerinden uydu sinyallerini alabilecek faz sıçramaları (cycle slip) ve sinyal yansıması (multipath) etkilerinin en az olduğu gökyüzü görüşüne açık noktalarda ölçmeye başlamadan önce ölçülerin yapılacağı tarihteki alıcının göreceği uydu sayısı (en az 4 uydu), uydu duyarlık bilgileri (PDOP) ve uyduların azimut ve yüksekliklerini

öğrenmek için kısa bir süre gözlem yapıp uydu efemerisi güncelleştirilir. Günün en uygun ölçü saatleri ve ölçü sürelerinin içeren ölçü planı hazırlanır. Öngörülen plana göre her referans noktasında 1.5-2 saat sinyal alınır. Akademik yazılımlar kullanılarak baz vektörleri hesaplanır. Dönüşüm yazılımları kullanılarak istenen datumda nokta koordinatları elde edilir (Hoşbaş ve ark.'na (2003) göre).

3.3 Düşey Yöndeki Deformasyon Ölçme Yöntemleri

- Hassas Nivelman yöntemi
- Hidrostatik Nivelman yöntemi
- Trigonometrik Nivelman Yöntemi

Hassas Nivelman yöntemi; deformasyon ölçmelerinde noktaların yatay değişimleri yanında düşey yöndeki değişimleri ile de ilgilenilir. Düşey yöndeki değişimlerin duyarlı olarak belirlenmesi isteniyorsa ve ölçme objesi olarak veriyorsa hassas nivelman yöntemi uygulanabilir. Ölçülerin yüksek doğrulukta elde edilebilmesi, nivelmana etki eden hata kaynaklarının belirlenmesi ve etkisiz hale getirilmesi ile olanaklıdır. Ölçmelerde birinci derece alet ve gözlem yöntemleri uygulanır. Dürbün büyütmesi ve düzeç duyarlılığı fazla optik mikrometrelili nivolar ile kalibrasyonu yapılmış çift bölümlü ve tek parçalı 2 invar mira kullanılır. Miralar payandalar ile desteklenmelidir. Ölçüler sabah ve akşam saatlerinde, gidiş-dönüş ölçmeleri aynı güzergah üzerinde yapılmalıdır. Ölçülen yükseklik farklarının doğruluğu, gidiş-dönüş ölçmeleri arasındaki farklardan hesaplanır (Hoşbaş ve ark.'na (2003) göre). Yöntem baraj gövdesi ile yakın çevresindeki ölçmelerde, köprü ayaklarının çökmelerinde, cadde ve yol ölçmelerinde, yer kabuğunun düşey yöndeki hareketlerinin belirlenmesinde kullanılır. Hassas nivelmanda bir çift ölçünün (gidiş-dönüş) karesel ortalama hatası $\pm 0,2 \text{ mm/km}$ olarak alınabilir (İnal 2001).

Hidrostatik nivelman yöntemi; hidrostatik kanunlara göre yapılan bu nivelman aslında bir çeşit geometrik nivelmandır. Su yüzeyinin yatay olması nedeniyle yatay gözlem eksenini yerine su yüzeyi kullanılmıştır.

Su düzeçleri hidrostatik aletlerin en basiti olup, açık su düzeçi ve kapalı su düzeçi olmak üzere iki çeşittir. Birleştirme borusunun ortasına takılan bir kovan ile sistem kullanılır. Sıvının üst yüzeyi yatay bir doğrultu teşkil eder. Bu üst yüzeyler ile miraya çıplak gözle bakılır ve okuma yapılır. Geri ve ileri okuma farkı iki nokta arasındaki yüksekliği verir (Özhan 1994).

3.3.1 Trigonometrik nivelman

Trigonometrik nivelmanda, düşey açı ve uzunluk yardımıyla yükseklik farkları hesaplanır. Trigonometrik Nivelman, yer zaman ve düşey açı gözlemlerinin yapılış biçimine göre;

- Tek taraflı trigonometrik nivelman
- Ortadan (atlamalı) trigonometri nivelman
- Karşılıklı trigonometri nivelman

olarak sınıflandırılır.

Yüksek doğrulukta düşey açı ve uzunluk gözlemleri yapabilen elektronik takeometrelerin gelişimi ile birlikte trigonometrik nivelman tekniği yeniden güncel hale gelmiş ve konu ile ilgili bir çok araştırma yapılmıştır (İnal ve Ceylan 2003).

3.3.1.1 Tek taraflı trigonometrik nivelman ölçme ve hesap modeli

Tek taraflı trigonometrik nivelman gözlemleri, bir istasyon noktasına kurulan total station ile diğer noktalara yerleştirilen hedef levhasına tek taraflı olarak yapılır ve

noktanın düşey açısı ile eğik uzunluğu ölçülür. Ölçme modelinde nivo yüzeylerinin aynı merkezli küre yüzeyleri olduğu varsayılmaktadır.

Z'_{ij} : Ölçülmesi gereken düşey açı

Z_{ij} : gözlenen düşey açı

d_{z_r} : refraksiyonun neden olduğu model hatası

ε_{ij} : Çekül sapmasının neden olduğu model hatası

S_{ij} : Eğik uzunluk

R_m : Yer eğrilik yarıçapıdır.

P_i ve P_j noktaları arasındaki yükseklik farkı (Δh_{ij}),

$$\Delta h_{ij} = (S_{ij} \cdot \cos Z_{ij}) + \left[\frac{S_{ij}^2}{2R_m} \cdot \sin^2 Z_{ij} \right] - S_{ij} \cdot (\varepsilon_{ij} + dz_r) (\sin Z_{ij}) \quad (3.21)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıdan yükseklik farkları bağıntısının ilk iki terimiyle hesaplanır (İnal ve Ceylan 2003).

3.3.1.2 Karşılıklı trigonometrik nivelman da ölçme ve hesap modeli

Karşılıklı trigonometrik Nivelman da gözlemler, iki istasyon noktasına kurulan total station ile karşılıklı olarak yapılır. Z_{ij} ve Z_{ji} düşey açıları ile S_{ij} eğik uzunluğu ölçülür.

(3.21) bağıntısı her iki noktadan yapılan gözlemlere uygulanır ve yükseklik farklarının aritmetik ortalaması alınır,

$$\Delta h_{ij} = \frac{1}{2} \left[S_{ij} (\cos Z_{ij} - \cos Z_{ji}) + \frac{S_{ij}^2}{2R_m} (\sin^2 Z_{ij} - \sin^2 Z_{ji}) - S_{ij} (\varepsilon_{ij} + dz_{r_i}) \sin Z_{ij} + S_{ij} (\varepsilon_{ji} + dz_r) \sin Z_{ij} \right] \quad (3.22)$$

bağıntısı elde edilir. Uygulamada yükseklik farkı,

$$\Delta h_{ij} = \frac{1}{2} \left[S_{ij} (\cos Z_{ij} - \cos Z_{ji}) + \frac{S_{ij}^2}{2R_m} (\sin^2 Z_{ij} - \sin^2 Z_{ji}) \right] \quad (3.23)$$

bağıntısı ile hesaplanır (İnal ve Ceylan 2003).

3.3.1.3 Ortadan (atlamalı) trigonometrik nivelman da ölçme ve hesap modeli

Ortadan trigonometrik nivelmanda gözlemler, geometrik nivelmana benzer şekilde ortada seçilen uygun bir noktaya kurulan total station ile yükseklik farkı belirlenecek olan noktalardaki hedef levhalarında yapılmaktadır.

(3.21) bağıntısı geri ve ileri doğrultudaki gözlemlere uygulanırsa,

$$\Delta h_{ij} = (S_{kj} \cos Z_{kj} - S_{ki} \cos Z_{ki}) + \frac{1}{2R_m} (S_{kj}^2 \sin^2 Z_{kj} - S_{ki}^2 \sin^2 Z_{ki}) - S_{kj}^2 (\varepsilon_{kj} + dZ_{rj}) (\sin Z_{kj}) + S_{ki}^2 (\varepsilon_{ki} + dZ_{ri}) (\sin Z_{ki}) \quad (3.24)$$

bağıntısı elde edilir. Yükseklik farkı;

$$\Delta h_{ij} = (S_{kj} \cos Z_{kj} - S_{ki} \cos Z_{ki}) + \frac{1}{2R_m} (S_{kj}^2 \sin^2 Z_{kj} - S_{ki}^2 \sin^2 Z_{ki}) \quad (3.25)$$

elde edilir.

Günümüzde gerek bilimsel çalışmalarda, gerekse mühendislik hizmetlerine yönelik yapılan uygulamalarda, nokta yüksekliklerinin veya noktalar arasındaki yükseklik farklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunlara örnek olarak, ülke ve yerel nivelman ağlarının ölçülmesi, köprü, baraj vb. büyük yapıların düşey aplikasyonu bakım ve kontrol ölçmeleri, yerkabuğunun düşey yöndeki hareketlerinin belirlenmesi, otoyol, demiryolu, kanalizasyon ve boru hattı ölçmeleri gösterilebilir (İnal ve Ceylan 2003).

4 DEFORMASYON MODELLERİ

Objedeki deformasyon bir oluşum sürecinin ürünüdür. Bugünün tekniklerinin sunduğu olanaklar, bütün ayrıntıları içeren böyle bir oluşumun analizini ve ölçümünü mümkün kılmaktadır. Mühendislik ölçmelerinin günümüz akımlarına göre amacı, bir objede şaşırtıcı biçimde meydana gelen geometrik değişimleri yalnızca araştırmak değil daha çok dinamik yöntemleri kullanarak objenin fiziksel nitelikleri ve deformasyona neden olan etkilerin dahil edildiği projeleri uygulamaktır (Welsch ve Heunecke 2001). Deformasyon prosesindeki temel ödev; deformasyon oluşumunun ölçümü, analizi ve yorumlamasıdır (Gülal 1998). Bu amaçla uyumlu, statik, kinematik ve dinamik deformasyon modelleri kullanılmaktadır.

4.1 Deformasyon Analizinde Geometrik ve Fiziksel Yorumlama

Deformasyon analizi, aralarında kesin bir çizgi olmayan, geometrik analiz ve fiziksel yorumlama aşamalarından oluşur.

Geometrik Analiz, deformasyona konu objenin konum, şekil ve boyutlarındaki değişimlere ilişkin bilgi verir. Fiziksel Yorumlama ile deformasyonun nedenleri açıklanır ve yük- deformasyon bağıntısı formüle edilir ve yorum, araştırma konusu objeye bağlı olarak, inşaat ya da jeofizik mühendisleri tarafından yapılır.

Başlıca iki yorumlama modeli vardır: Deterministik ve Stokastik model. Deterministik model nedenlerden sonuçlara tümenden gelimlidir yani, *a priori* dir. Stokastik model ise, sonuçlardan nedenlere tüme varımlıdır. Ölçülere dayanan stokastik model *a posteriori* karakter taşır.

Jeodezik ve jeodezik olmayan ölçme tekniklerinin bir arada kullanılmasının gerekliliği uzun zamandan beri bilinmektedir. Buna karşılık, geometrik analiz ve fiziksel yorumlamanın bütüncül bir yaklaşım modelinde kombine edilmesine yönelik girişimler ise henüz yeterli değildir.

Deformasyona konu bir objenin materyal özellikleri, geometrisi, etkiyen yükler (kuvvetler) ve gerilme – şekil değiştirme, yani yük- deformasyon ilişkisini belirleyen fiziksel yasalardan yararlanarak bir deformasyon modelinin oluşturulması deterministik yorumlama yöntemiyle tanımlanır.

Deterministik yorumlama modelinde, ölçülen etki büyüklükleri ve materyalin/materyallerin elastiklik sabitleriyle beklenen deformasyon bulunur. Ölçülen ve beklenen deformasyon arasındaki fark, yapının tasarım aşamasında tanımlanan emniyet payı “sınır değer” ile karşılaştırıldığında, küçük ise; yapı tasarlandığı gibi davranıyor demektir. Ters durumda, nedenler araştırılır ve gerekli önlemler alınır. Örneğin bir kemer baraj deformasyonlarının deterministik modelinin oluşturulmasında su yüzeyinin neden olduğu hidrostatik yük ve betonun termal genişemesinin doğurduğu sıcaklık bileşeninden yararlanılır.

Stokastik modelde, objenin materyal özellikleri dikkate alınmaz. Etkiyen kuvvetler (yükler) ve tepki davranışının (deformasyon) korelasyon analizi yapılır.

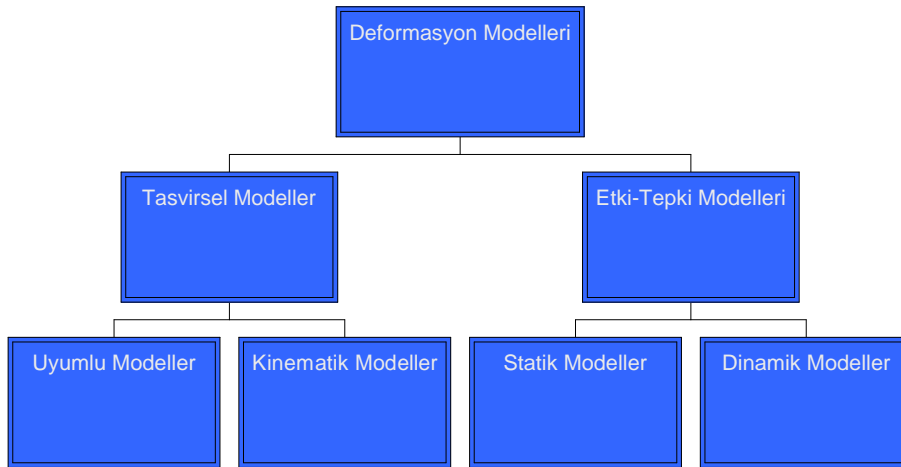
Etki büyüklüklerinin (su düzeyi, sıcaklık, vb.) ölçülmediği durumda stokastik model deformasyon trendinin belirlenmesine, yani, geometrik analiz sürecine indirgenir.

Yük- deformasyon ilişkisinin stokastik yorumlama yaklaşımında, ölçülen etki büyüklükleri yardımıyla söz konusu obje (Baraj) deformasyonları için bir prediksyon modeli oluşturulur. Bu model bileşenleri ile doğrudan ölçülen ya da geometrik analizden dönüştürülen deformasyon bileşenleri arasındaki fark, “sınır değer” den

küçük ise, barajın önceki ölçme dönemindeki gibi davrandığını gösterir. Fark büyük ise, nedenler araştırılır ve gerekli önlemler alınır (Demirkaya 1993).

4.2 Deformasyon Modelleri

Yapıyı tasarlayan uzmanlarca verilen, yapıda meydana gelmesi beklenen geometrik değişimlerin büyüklüğü ve doğrultusuna ilişkin bilgi “deformasyon modeli” olarak tanımlanır (Uzel ve ark.’na (1989) göre). Şekil 4.1’de



Şekil 4. 1 Jeodezik deformasyon analizinde model hiyerarşisi (Welsch ve Heunnecke 1999)

görüldüğü üzere deformasyon modelleri kendi arasında tasvirsel modeller ve etki-tepki modelleri olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Tasvirsel modeller uyumlu ve kinematik model alt başlığına ayrılır.

Uyumlu modeller zaman içerisinde iki yada daha fazla noktanın geometrik özelliklerinin benzerliğini test ederken, kinematik modeller bir objedeki konum değişikliklerini zamanın fonksiyonu olarak bize sunarlar. Etki-Tepki modellerinden statik modeller de objenin belli bir periyottaki geometrik değişimi ile objeye etkileyen kuvvetler

araştırılırken, dinamik modellerde ise geometrik değişimler ve geometrik değişime neden olan iç ve dış etkenler zamanın fonksiyonu olarak ele alınır(Welsch ve Heunecke 2001).

4.2.1 Tasvirsel modeller

Tasvirsel modellerden ilki olan uyumlu modellerde sadece geometrik karşılaştırmayla deformasyon analizi yapılırken, kinematik modellerde zaman içindeki hız ve ivme değişimi de modellenerek zamana bağlı bir fonksiyon ortaya çıkarılmaktadır. Bu modellerde objeye etki eden kuvvetler modellenmez (Welsch ve Heunecke 2001).

4.2.1.1 Uyumlu modeller

Pratikte klasik deformasyon analizinde; bir objenin durumu eş zamanlı ölçüm yapılan iki farklı noktanın (karakteristik noktalar) tamamen geometrik karşılaştırmasına dayanır. Gözlemlerin analiz modeli için, açıkça deformasyona neden olan faktörler yada gözlemler arasındaki zaman farkları hesaba katılmaz. Sonuçta tam olarak, üç boyutlu uzayda deformasyonlar ve objenin muhtemel davranışları hakkında bazı bilgi ve verilere, deformasyon izleme projesinin doğru oluşturulması sayesinde ulaşılır.

Bu deformasyon analiz türünden, deformasyon modelinde hareketli noktanın parametre sonuçlarının deformasyon analizi yapıldığından, geleneksel deformasyon analizi olarak söz edilir (Welsch ve Heunecke 2001).

4.2.1.2 Kinematik model

Mühendislik yapılarının ve yerleşim alanlarının doğal ya da yapay etkilerden korunmasına yönelik olarak deformasyonların izlenmesi ve zararlarının azaltılması yönündeki çalışmalar günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Ölçme ve hesaplama araçlarının gelişimi deformasyon izleme yöntemlerinin hareket davranışlarını belirleyebilecek şekilde gelişimini sağlamıştır. Bu gelişmeye paralel olarak köprüler, barajlar, kuleler ile heyelanlara ve depremlere maruz kalan kütleler gibi objelerin davranışlarının daha kapsamlı analizi mühendislik ölçmelerinin güncel uğraş alanı olmuştur. Bu alanda, zamana ve konuma bağlı olarak obje davranışlarını temsil eden parametreleri hesaplayan kinematik yaklaşımların kullanılması tercih edilmeye başlamıştır. Kinematik yaklaşımlarla deformasyonları belirlemek için sadece jeodezik veriler yeterli olmaktadır. Ancak, jeodinamik alanlarda yapılan çalışmalarda yorumlama hatalarından kaçınmak ve daha gerçekçi kanılara varmak amacıyla konuyla ilgili disiplinlerin katkılarına gereksinim vardır. Başka bir deyişle jeodinamik alanda oluşan ve deformasyonların yönünü ve büyüklüğünü etkileyen parametrelerin yorumlama aşamasında dikkate alınması gerekir.

Kinematik hareketlerin tanımlanabilmesi için kurulan modeller, bir jeodezik ağdaki konum değişikliklerini zamanın fonksiyonu olarak verirler. Bu modellerin genel amacı, etkiyen kuvvetleri dikkate almaksızın zamana ve konuma bağlı olarak deformasyon noktalarının hareketlerini veya deformasyon bölgesinin hareket yüzeyini saptamaktır.

Otomatikleştirilen ölçme prosedürleri kullanıma girdiğinden bu yana modellerin değerlendirilmesinde deformasyon yöntemlerinin zamanla ilgili bölümü gittikçe daha çok hesaba katılmıştır. Uyumlu modellerde geometrik deformasyon analizini tamamen klasik olarak genişletme fırsatı sunulmuştur, eğer bu modeller üç boyutlu uzayda obje hareketlerini ve bozulmaları tanımlama ve araştırmada sınırlandırılırsa, bir kinematik

modelden söz edilebilir. Kinematik modelin amacı, etkilere neden güçlerin potansiyel bağlantısına ilişkin olarak zaman fonksiyonları olmaksızın nokta hareketlerini yerinde bir tanımlamayla bulmaktır. Genellikle polinom yaklaşımlar, harmonik fonksiyonlar ve özellikle hızlarla ivmelere uygulanmaktadır. Kinematik analiz değerlendirmesi, kinematik tek nokta modeli, kinematik yüzey modeli ve katı kinematik model ile yapılabilmektedir (Brujine ve ark.'na (2001) göre).

4.2.2 Etki-Tepki modelleri

Neden-cevap modellerinden dinamik model dikkate alındığında, statik model çok daha pratik ve dar kapsamlı bir çalışmayla istediğimiz noktaya ulaşmamızı sağlar. Dinamik model de ise uzun bir zaman diliminde, farklı meslek dallarından alınan yardımlarla oldukça kapsamlı ve masraflı bir çalışma söz konudur. Bunun yanında diyebiliriz ki statik modeller dinamik modellerden türetilmiş modellerdir (Welsch ve Heunecke 2001).

4.2.2.1 Statik model

Statik model, bir objede hareket oluşup oluşmadığını, o obje ve çevresini kapsayan deformasyon ağının çeşitli periyotlarda belirlenen nokta koordinat farklarını istatistik olarak eşdeğerlik testi ile saptayan en temel yöntemdir. Statik modelin konusu, deformasyon irdemesi yapılan objenin karakteristik noktalarına ait deformasyon vektörlerinin, zamandan ve etkiyen dış kuvvetlerden bağımsız olarak belirlemektir. Bu modelle deformasyonun belirlenmesi için öncelikle obje çeşitli periyotlarda ölçülmeli ve her periyottaki ölçüler ayrı ayrı dengelenmelidir. Ölçme periyotları arasındaki koordinat farkları hem araştırılan objedeki deformasyonu hem de gözlemlerdeki hataları yansıtır. Bu nedenle periyotlar arasındaki koordinat farkları, istatistik yöntemlerle test edilerek

deformasyon irdelemesi yapılır. Objeye etki eden yükler ve geometrik reaksiyonlar arasındaki davranışların incelenmesi statik modelin konusu dışındadır. Bu modelde tüm sistemin bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır. Bu tanımla statik model jeodezik olarak en çok uygulanan bir deformasyon analizi yöntemidir. Basit olarak iki koordinat değerinin karşılaştırılması yerine, ölçülerin tamamının değerlendirildiği istatistik testlere dayalı çeşitli statik deformasyon modelleri geliştirilmiştir (Bayrak ve Yalçınkaya 2001).

Etki ve gerilim arasındaki fonksiyonel ilişki statik modelle anlatılır. Objenin geometrik reaksiyonunda olduğu gibi doğmakta olan gerilim, obje üstünde ki kuvvetlerin veya yüklerin yerine geçen etkilere neden olur. Objeye üstüne gelmiş olan yük öncesi ve sonrasında ,obje gözlem epoklarının her ikisinde birden yeterince dengede olduğundan, statik modellerde zaman faktörünün hesaba katılması netlik kazanmamıştır. Ortalama denge durumunda yeterince kalan objede, gözlem süresince daha az yada tam tersi daha çok hareket ortaya çıkmaktadır. Objeye bozulmaları ve hareketleri yalnızca zamanın değil yükünde bir fonksiyonu olarak hesaba katılmalıdır .

Statik, cisimlerin denge öğretisidir. Böyle bir modelle gözlem zamanı sürecinde geometrik şeklini değiştirmeyen objeler anlatılır. Örneğin, ülke ölçümündeki jeodezik ağlar normal halde statik olarak düşünülür. Koordinat vektörü sabit olarak dikkate alınırsa bazen mühendislik ölçmeleri alanında da aynı şeyler geçerlidir.

Deformasyon ölçüleri ve analizinde amaç, araştırılan objede ortaya çıkan hareket ve şekil değişikliklerini uygun ölçü donanımıyla ölçmek ve elde edilen ölçü büyüklüklerine göre objede oluşan deformasyonları şekil ve türüne göre belirlemektir .

Deformasyon analizinde, objenin davranışına uygun modelin belirlenmesi gerekmektedir. Deformasyon analizinde uzun bir süre, periyodik olarak ölçülen bir nokta alanında oluşan geometrik değişimin hipotez testleri yardımıyla belirlenmesinin amaçlandığı, statik model kullanıldı (Gülal 1998). Statik model ile deformasyonların belirlenmesi için

belirli periyotlarda yapılmış jeodezik ölçüler yeterlidir .

Statik modeller için objenin fiziksel ve geometrik yapısının, madde parametreleri ve diğer karakteristik niceliklere sahip olduğu bilinir ve objenin etki-gerilim ilişkisini ifade eden diferansiyel denklemin terimleri formüle edilmektedir. Statik modellerin kişiselleştirilen diğer terimide bu gereksinime yol gösterir. Statik modeller belirleyici yada kuruluş biçimi bakımından parametrik modellerdir. Diğer terimler durum yada teorik modellerdir; statik modellerin değerlendirme uygulaması “**yaklaşım modeli**” olarak da adlandırılır. Test edilmekte olan sütun, köprü ve benzeri yapılarda yük taşıma kapasitesi vb. durumlar için statik modelleme sıklıkla uygulanmaktadır .

Statik deformasyon analiz modeli kendi içinde tercih sırasına göre θ^2 –ölçütü ile deformasyon analizi, bağıl güven elipsleriyle deformasyon analizi, S transformasyonu ile deformasyon analizi, Cholesky çarpanlara ayırma yöntemiyle deformasyon analizi ve Mierlo yöntemiyle deformasyon analizi başlıklarında toplanabilmektedir (İnal 2004).

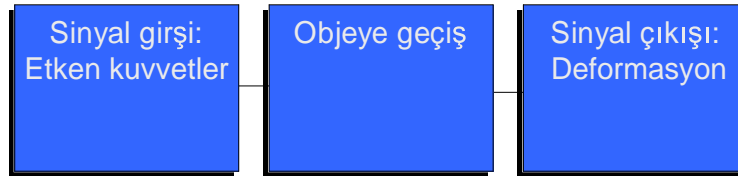
4.2.2.2 Dinamik modeller

Deformasyon analizlerinde modellerin modern olarak değerlendirilmesinde, üç boyutlu uzayda sadece bir objenin geometrik değişiminin göz önünde tutulması yeterli olmaz. Analiz modelleri daha çok deformasyona neden olan faktörleri de etkileyen dış etmenleri araştırmaktadır. Bu modeller yardımcı kuvvetlerin objeye olan etkisinden sorumlu ve karakteristik (genişleme katsayıları, materyal sabitleri vb.) objenin fiziksel özelliklerini ayrıca göz önünde tutmaktadırlar (Welsch ve Heunecke 2001).

Mekaniğe ilaveten dinamik kavramı sistem teorisinde de kullanılmaktadır. Sistem teorisinde obje terimi sisteme genelleştirilir ve sisteme etkiyen büyüklükler ile sistemin tepkimesi sonucu oluşan çıkış büyüklükleri arasındaki ilişki araştırılır. Eğer bir t_k zaman noktasındaki tepki (çıkış büyüklüğü) sadece bu t_k zaman noktasına ait giriş büyüklüğünün sonucunda oluşmayıp daha önceki zaman noktaları $t_{k-1}, t_{k-2} \dots$ 'in etkisi varsa araştırılan obje sistem teorisinde alanında dinamik sistem olarak tanımlanır. Bir dinamik sistem yada bir dinamik yöntem –sistem terminolojisine göre giriş büyüklüğü “neden”, dönüşüm “taşınma” ve çıkış büyüklüğü “tepkisi” olmak üzere üç unsurdan oluşur. Giriş büyüklüğü; sıcaklık, su basıncı, rüzgar kuvveti ve trafik yükü, çıkış büyüklüğü ise deformasyon, deplasman, torsiyon, burulma olabilmektedir (Gülal 1998).

Bu tanımlamalara göre aşağıdaki dinamik sistemler mühendislik ölçmelerindeki uygulamalarda ortaya çıkabilir .

- Sıcaklık ve su seviyesi değişimi nedeniyle barajlarda oluşan deformasyon ve deplasmanlar ,
- Sıcaklık ve rüzgar kuvveti etkisi altında yüksek kulelerdeki değişimler ve
- Trafik yükü ve sıcaklık değişimi nedeniyle köprü pylonlarındaki şekil değişimleri (Gülal 1998).



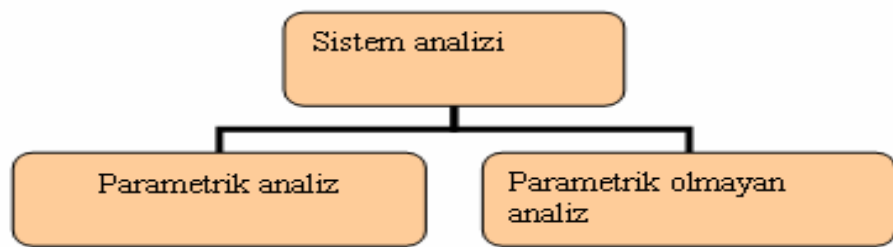
Şekil 4. 2 Dinamik bir sistemde bir etki sonucu oluşan deformasyon

Dinamik modellemenin kompleksliği iki yada daha çok disiplinle işbirliği yapmayı açık olarak gerektirmektedir (Welsch ve Heunecke 2001).

Dinamik deformasyon modelinde, hareketi oluşturan dış etkenler de hareket modelinin içine katılarak hareket, hem zamana, hem konuma, hem de harekete neden olan dış etkenlere bağlı olarak belirlenir.

Dinamik modeller en genel ve geniş çaplı modellerdir, aynı zamanda onların amacı tamamen dinamik sistemleri anlatmaktır. Obje bozulmalarında ve hareketlerinde, zaman- yük ikilisinin her ikisinin de bir fonksiyonu hesaba katılmalıdır. Bu modelin, etkilerin ve tepkilerin zamansal değişimini içerdiği anlamını taşır. Objenin statik konumundaki çelişki sürekli hareket halinde olmasından kaynaklanır. Böyle bir konum, otomatik gözlem prosedürleri ve süreklilik gerektiren bir izlemeyi temsil eder (Welsch ve Heunecke 2001).

Dinamik deformasyon analizinin amaç ve temel düşüncesinin açıklanmasında matematik biliminin bir kolu olan sistem teorisinden yola çıkılır. Sistem teorisi mühendislik ve fen biliminde ortaya çıkan çeşitli olayların matematiksel modellerle açıklamasına olanak tanır. Bir objede meydana gelen değişimlerin dinamik modellenmesi sistem teorisinde deneysel sistem analizi olarak adlandırılır. Sistemi tanımlayan matematiksel model, ölçülen giriş ve çıkış büyüklüklerinden elde edilir. Sistem analizinde matematiksel modeli elde etmek için iki farklı teorem mevcuttur (Gülal 1998).



Şekil 4. 3 Sistem analizinde modelleme yöntemleri

Dinamik modeller parametrik yada parametrik olmayabilir. Parametrik analizde sistemi tanımlayan denklemin yapısı hakkındaki öncül bilgilerin eksiksiz olarak kullanıma hazır olduğu düşünülür. Buna karşılık parametrik olmayan modelde sistem hakkında hiçbir

öncül bilgi elde olduğu varsayılmaz. Heyelan bölgesindeki deformasyonlar ve benzeri oluşumlar dinamik metodla belirlenebilir (Çakır 2004).

4.3 Deformasyon Modellerinin Karşılaştırılması

Hesaplama göz önüne alınan yük ve zaman faktörlerinin taşıdığı içeriklere göre dört kategoriye ayrılan deformasyon modelleri tablo 4.1’de ki gibi sınıflandırılmıştır.

Tablo 4. 1 Deformasyon modellerinin sınıflandırılması ve özellikleri (Welsch ve Heunecke 1999)

Deformasyon Modeli	Uyum Modeli	Kinematik Model	Statik Model	Dinamik Model
Zaman	Modellenmiyor	Hareketler zamanın bir fonksiyonudur	Modellenmiyor	Hareketler yükler ve zamanın bir fonksiyonudur
Kuvvetlerin Temsil edilmesi	Modellenmiyor	Modellenmiyor	Yer değiştirmeler yüklerin bir fonksiyonudur	
Objenin Durumu	Yeterince kararsız	Hareket devamlıdır	Yükler altında yeterince kararsızdır	Hareket devamlıdır

Doğal olaylar ve teknik araştırma gibi pek çok sebepten dolayı uygulanması ve gelişmesi büyük bir anlam teşkil etmektedir. Yöntemlere has özellikler ve yorum, analiz için olanakların en geniş ölçüde sunulması, deformasyon analiz modelinin başlıca özelliklerindedir. Böylece değerlendirme prosedürleriyle, yapılan belli başlı işler izlenmeye çalışılır.

Dinamik modelin sağladığı olanaklar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir dinamik sistemin giriş ve çıkış sinyallerinin izlemesinde, farklı sensör sistemleriyle toplanan verinin büyük miktarı belli bir işleme tabi tutulur.

- Modellerin uygulanması sistem davranışının tanınmasında izlenen yöntem nazaran yeterlidir.
- Filtreleme etkisiyle model işleyişi bozulabilir.
- Eğer sistem çok büyük etkilere yada beklenmedik durumlara maruz kalırsa, dinamik model sistemin tepkilerini önceden haber verebilir.
- Sisteme has giriş faktörleriyle etkilerin birbirinden ayrılmasına neden olur.
- Faktörlerin esas sebeplerini saptar.
- Faktörler üzerinde yöntemlerin kontrolünü olanaklı kılar.
- Gözleme ve izlemenin optimizasyonu, yöntemin daha iyi bilgilendirilmesiyle planlanır.
- Sonuçların daha ayrıntılı açıklanması, yöntemin fiziksel gerçeklere dayanması ve tanımlanabilen veri sayesinde elde edilmektedir .

Pek çok durumda yöntemin iç ve dış bağlantılarına ilişkin ortada yalnızca yetersiz veri vardır. Bu yüzden farklı objeleri araştırmak için evrensel bir genelleme kabul edilen tek bir proje kurulamayabilir. Objelerin ve yöntemlerin büyük çoğunluğunda uygun bir davranış büyük boyut da bir değişiklik mümkün değildir. Bu alandaki gelişmeler, önceki seneleri çok ileriye götürmüş ve gelecekte de avantaj sağlayacaktır.

Bir dinamik sistemin genelinde objeyi etkileyen kuvvetler ve deformasyon sonuçları birlikte hesaba katılır. Bu nedenle en genel ve en geniş kapsamlı modeller dinamik modellerdir, diğer statik, kinematik ve uyumlu modeller dinamik modelden sadeleştirilerek türetilmiş modellerdir.

Statik ve kinematik deformasyon modeli ile deformasyonların belirlenmesi için belirli periyotlarda yapılmış jeodezik ölçüler yeterlidir. Dinamik deformasyon modeli uygulamaları için deformasyona neden olan etkenlerin de belirlenmesi gerekir. Hareketin nedeninin belirlenmesinde farklı disiplinlerin (jeodezi, jeoloji, jeofizik, inşaat vs.) bir araya gelerek çalışması gerekmektedir.

Statik ve uyumlu modeller için objenin geometrik durumundaki denge başlangıç noktasını oluşturur ve analiz modeli içinde oluşturulan hipotezler bu bilgi üzerinden hareketle kurulur. Her iki analiz modelinde de zaman faktörü modellenemezken, dinamik ve kinematik analiz modelleri için zaman bir fonksiyon olarak işlemin içine girer. Dinamik ve kinematik analiz modelleri için hareket bir süreklilik içerir.

Kinematik modeli dinamik modeldeki süreklilik gösterdiği kabul edilen hareket faktöründen ayıran, kinematik yöntemde yüklerin işin içine girmemesidir. Bunun yanında statik modelde dinamik modelde olduğu gibi yükler yer değiştirmeleri tanımlarken fonksiyonun temelini oluşturur fakat statik model bütününde bu yüklere ilişkin dış etkenler ele alınmaz (Çakır 2004).

5 KONUM AĞLARININ DENGELENMESİ

5.1 Fonksiyonel Modelin Oluşturulması

Nokta koordinatlarının ölçüldüğü doğrultu –kenar ağlarında ölçüler; nokta koordinatları, doğrultu ve kenarlardır. Böyle bir ağın P_i ve P_k noktaları arasında bu büyüklüklerle ilgili ölçülmüş ve hesap yüzeyine indirgenmiş değerleri,

r_{ik} : Doğrultu gözlemleri

S_{ik} : Uzunluk ölçüleri

$V_{r_{ik}}$, $V_{S_{ik}}$ ölçülere getirilen düzeltmeler olmak üzere doğrultu ve uzunluk ölçülerinin dengelemeden sonraki kesin değerleri \hat{r}_{ik} , \hat{S}_{ik} olsun. Bunların arasında dengeleme hesabının özelliği gereği,

$$\hat{r}_{ik} = r_{ik} + V_{r_{ik}} \quad (5.1)$$

$$\hat{S}_{ik} = S_{ik} + V_{S_{ik}} \quad (5.2)$$

yazılabilir (İnal 2003).

5.2 Düzeltme Denklemleri

Doğrultulara ilişkin düzeltme denklemleri,



Şekil 5.1 İki Nokta Arasındaki Doğrultunun Belirlenmesi

$$r_{ik} + V_{ki} + Z_{ik} = t_{ik} = \arctan \frac{y_k - y_i}{x_k - x_i} \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial t_{ik}}{\partial x_i} = \frac{y_k - y_i}{S_{ik}^2} \quad a_{ik} = \frac{\sin t_{ik}^0}{S_{ik}^0} \times \rho \quad (5.4)$$

$$\frac{\partial t_{ik}}{\partial y_i} = -\frac{x_k - x_i}{S_{ik}^2} \quad b_{ik} = -\frac{\cos t_{ik}^0}{S_{ik}^0} \times \rho \quad (5.5)$$

$$z_i^0 = -\frac{[t_{ik}^0 - r_{ik}]}{n_i} \quad \text{:Yöneltme bilinmeyeninin yaklaşık değeri} \quad (5.6)$$

$$Vr_{ik} = t_{ik}^0 - r_{ik} - z_i^0 + a_{ik} \Delta x_i + b_{ik} \Delta y_i - a_{ik} \Delta x_k - b_{ik} \Delta y_k \quad (5.7)$$

$$-l_{ik} = t_{ik}^0 - (r_{ik} + z_i^0) \quad (5.8)$$

$$Vr_{ik} = -l_{ik} - \Delta z_i + a_{ik} \Delta x_i + b_{ik} \Delta y_i - a_{ik} \Delta x_k - b_{ik} \Delta y_k \quad (5.9)$$

Kenarlar için düzeltme denklemleri

$$S_{ik} + Vs_{ik} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial F}{\partial x_i} &= \frac{x_k - x_i}{S_{ik}} = -\cos t_{ik} = a_{S_{ik}} \\ \frac{\partial F}{\partial y_i} &= \frac{y_k - y_i}{S_{ik}} = -\sin t_{ik} = b_{S_{ik}}\end{aligned}\quad (5.11)$$

$$V_{S_{ik}} = a_{S_{ik}} \Delta x_i + b_{S_{ik}} \Delta y_i - a_{S_{ik}} \Delta x_k - b_{S_{ik}} \Delta y_k + S_{ik}^0 - S_{ik} \quad (\text{İnal 2003}). \quad (5.12)$$

5.3 Stokastik Modelin Oluşturulması

Ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonların dengeleme sonuçlarına etkileri, stokastik modelle belirlenir. Dengeleme sonrası en uygun sonucun elde edilmesi için ölçü gruplarının ağırlıklarının doğru seçilmesi gerekmektedir. Kuramsal olarak herhangi bir ölçü kümesi için varyans-kovaryans matrisi

$$K_{11} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & r_{12}\sigma_1\sigma_2 & \cdots & r_{1n}\sigma_1\sigma_n \\ r_{21}\sigma_2\sigma_1 & \sigma_2^2 & & r_{2n}\sigma_2\sigma_n \\ \vdots & & \ddots & \\ r_{n1}\sigma_n\sigma_1 & r_{n2}\sigma_n\sigma_2 & & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

şeklinindedir. Doğruluk ölçütü varyanslar yanında onların tersleri ile orantılı ağırlık olarak adlandırılan başka büyüklüklerde kullanılır. Varyansı σ_i^2 olan ölçünün ağırlığı tanıma uygun olarak,

$$P_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2} (\sigma_0^2 = \text{sabit}) \quad (5.14)$$

şeklinde hesaplanır. σ_0^2 ve σ_i^2 kuramsal varyanslar olduğundan bunların yerine deneysel değerleri olan s_0^2 ve s_i^2 kullanılır. Ağırlık buna bağlı olarak,

$$P_i = \frac{s_0^2}{s_i^2} (s_0^2 = \text{sabit}) \quad (5.15)$$

şeklini alır. Gerek ölçülerden gerekse tanı dengelemelerinden elde edilecek ortalama hata değerleri kullanılarak her bir ölçü grubunun ağırlığı

$$P_i = \frac{s_0^2}{s_{rik}^2} : (\text{Yatay doğrultu ağırlığı}) \quad (5.16)$$

$$P_i = \frac{s_0^2}{s_{Sik}^2} : (\text{kenarların ağırlığı}) \quad (5.18)$$

bağıntıları ile hesaplanır. s_0^2 öncül deneysel varyansı, ölçü gruplarına ilişkin değerlerden biri, genellikle yatay doğrultular için belirlenen değer alınır (Hoşbaş ve ark.'na (2003) göre).

5.4 Konum Ağlarının Serbest Dengelenmesi

Bilinmeyenlerin belirlenmesi için gerekenden fazla gözlem yapılmışsa birden fazla çözüm var demektir. Dengelemenin ödevi ölçülerle bilinmeyenlerin en büyük olasılıkla değerlerini belirlemek, ölçüler ve dengelenmiş değerler ile bilinmeyenler için doğruluk ölçütleri vermektir. Dolaylı ölçüler yöntemine göre oluşturulan Gauss-Markov Modeli ile bilinmeyenlerin kesin değerleri

$$\begin{aligned} A^T P A x - A^T P \ell &= 0 \\ N x - n &= 0 \end{aligned} \quad (5.19)$$

biçiminde normal denklem sisteminin çözümünden bulunur.

Deformasyon araştırması amacıyla kurulan kontrol ağlarında, dış parametreleri varsayımlara dayanmayan serbest ağ dengelemesi yöntemi uygulanır. Tüm koordinat parametrelerinin bilinmeyen olarak öngörülmesi nedeniyle çözümde, konum belirsizliği, yöneltme ve ölçek sorunu oluşur. N matrisinin determinantının sıfır olması nedeniyle inversi alınamaz. Bu matrisin, ağ noktalarının ağırlık merkezine indirgenmiş yaklaşık koordinat değerleri ile kurulan G matrisi yardımıyla Pseudo(Moore-Penrose) inversi

$$N^+ = (N + GG^T)^{-1} - GG^T \quad (5.20)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bilinmeyenlerin bu şekilde belirlenmesine tüm iz=min. çözümü denir. G matrisi konum ağlarında,

$$G^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{P} & 0 & 1/\sqrt{P} & 0 & 1/\sqrt{P} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{P} & 0 & 1/\sqrt{P} & 0 & 1/\sqrt{P} \\ -y_{10}'' & x_{10}'' & -y_{20}'' & x_{20}'' & -y_{p0}'' & x_{p0}'' \\ x_{10}'' & y_{10}'' & x_{20}'' & y_{20}'' & x_{p0}'' & y_{p0}'' \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{x yönünde öteleme} \\ \text{y yönünde öteleme} \\ \text{dönüklük} \\ \text{ölçek} \end{array} \quad (5.21)$$

şeklinde oluşturulur (Hoşbaş ve ark.'na (2003) göre).

G matrisinde P ağdaki nokta sayısını göstermek üzere normlandırma elemanları;

$$x_s = \frac{[x]}{P}, \quad y_s = \frac{[y]}{P} \quad \text{ağırlık merkezi koordinatları} \quad (5.22)$$

$$\begin{array}{l} x_i' = x_i - x_s \\ y_i' = y_i - y_s \end{array} \quad \text{ağırlık merkezine indirgenmiş koordinatlar} \quad (5.23)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{[x'^2 + y'^2]}} \quad \text{normlandırma elemanı} \quad (5.24)$$

$$\begin{aligned} x_i'' &= c \cdot x_i' \\ y_i'' &= c \cdot y_i' \end{aligned} \quad \text{normlandırılmış koordinatlar} \quad (5.25)$$

olarak hesaplanır (İnal 2001).

Jeodezik kontrol ağının datumunu tanımlayan bu matrisin ilk satırı x yönünde öteleme, ikinci satırı y yönünde öteleme, üçüncü satırı dönüklük ve son satır ölçek bilinmeyenine karşılık gelir. Hangi dış parametre datum belirleyici olarak alınacaksa ona ilişkin sütun elemanları sıfır olarak seçilir. Bazı çalışmalarda referans noktalarının datum belirleyici olarak alınması istenir. Bu gibi hallerde ilgili noktalara karşılık gelen satırların elemanları sıfır alınır. Bu durumda genişletme matrisi B ile gösterilir ve normal denklem sisteminin çözümü

$$N^- = (N + BB^T)^{-1} - G(G^T BB^T G)^{-1} G^T \quad (5.26)$$

şeklini alır. Bu çözüm yöntemi serbest dengelemede kısmi iz=min. adını alır.

Gerek her ölçü grubunun tanı dengelemesinde gerekse her ölçü döneminin ayrık dengelemelerinde kurulan modeli bozan uyumsuz ölçü var ise belirlenerek ya dengeleme sonuçlarına etkisi yok edilir ya da ölçü grubu içinden çıkarılır (Hoşbaş ve ark.'na (2003) göre).

6 TRİGONOMETRİK YÜKSEKLİK AĞLARININ DENGELENMESİ

Trigonometrik nivelman ağ dengelemesinin klasik verileri olan; düşey açı ölçüleri ve noktalar arası uzaklıklar (yatay veya eğik) dengelemenin üç boyutlu (x,y,z) sisteminde yapılmasını gerektirir. Ancak pratikte üç boyutlu modelde dengeleme yapmak yerine ağın yatay konumu sabit alınarak yalnızca düşey konumu dengelenir. Trigonometrik nivelman ağ dengelemesinde, yatay uzaklık veya eğik uzaklıkların kullanılması, düşey açı ölçmelerinde alet ve işaret (hedef noktası) yüksekliklerinin farklı olması durumunda ölçülen düşey açılardan ayrıca indirgenmesini gerektirir. Ayrıca refraksiyon indirgememesinin de refraksiyon katsayısının sabit mi veya değişken mi alınacağını da önceden belirlenmesi gerekir. Bu nedenlerle trigonometrik nivelman ağ dengelemesi, ağda yapılan ölçülerden noktalar arası geometrik yükseklik farkları hesaplanarak klasik nivelman ağ dengelemesine dönüştürmek suretiyle gerçekleştirilir.

6.1 Fonksiyonel Modelin Kurulması

Fonksiyonel model ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri gösterir. i ve j gibi iki ağ noktası arasında yapılan bir dh_{ij} nivelman ölçüsüne yazılacak düzeltme denklemi;

$$dh_{ij} + V_{ij} = H_j - H_i \quad (6.1)$$

şeklindedir.

Bu denklemde;

H_i, H_j : i ve j noktalarının yükseklikleri

dh_{ij} : i ve j noktaları arasında ölçülen yükseklik farkı

V_{ij} : ölçülen yükseklik farkına getirilecek düzeltme

olarak tanımlanmaktadır. Nokta yükseklikleri yaklaşık yüksekliklerden yararlanarak;

$$H_i = H_i^0 + dh_i \quad (6.2)$$

biçiminde tanımlanırsa dh_{ij} yükseklik farkı için yazılacak düzeltme denklemi aşağıdaki gibi

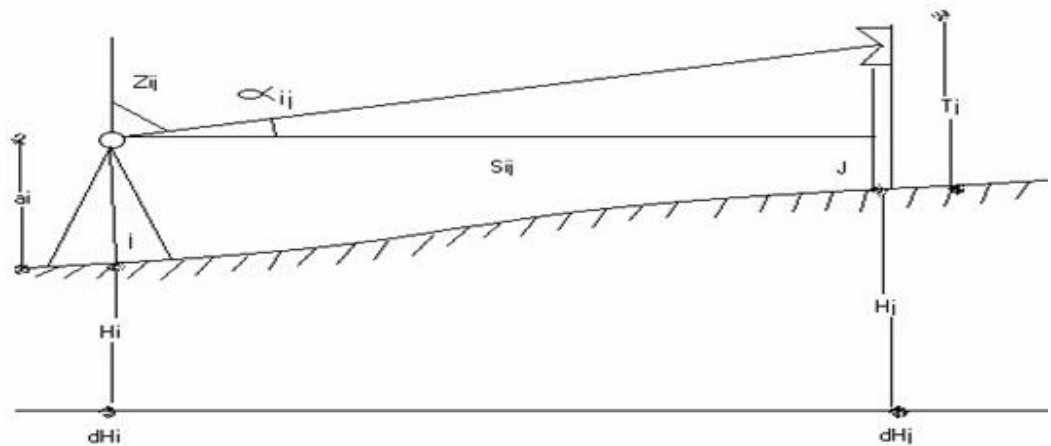
$$V_{ij} = -dh_i + dh_j - \ell_{ij} \quad (6.3)$$

ve sabit terimler

$$-\ell_{ij} = H_j^0 - H_i^0 - dh_{ij} \quad (6.4)$$

şeklinde olur. Her ölçü için bir düzeltme denklemi yazılacağından n bilinmeyenli n tane denklem elde edilir. Bu denklemler matris gösterimiyle $V = Ax - \ell$ şeklinde ifade edilir. Burada A katsayılar matrisi, x dengeleme bilinmeyenlerini (dh), $-\ell$ sabit terimleri, V ölçülere getirilecek düzeltmeleri göstermektedir (Bektaş ve Doğan 1998).

6.2 Düzeltme Denklemlerinin Oluşturulması



Şekil 6. 1 Trigonometrik Yükseklik Tayini

dH_i : H_i yüksekliği için düzeltme

dH_j : H_j yüksekliği için düzeltme

Z_{ij} : Başucu açısı

α_{ij} : Eğim açısı

T_j : Bakılan noktanın işaret yüksekliği

a_i : Alet yüksekliği

K_i : Kırılma indisi

Başucu açılarına göre,

$$H_j = H_i + a_i - T_j + S_{ij} \cdot \text{Cotg } Z_{ij} + \frac{1-K}{2R} S_{ij}^2 \quad \text{buradan} \quad (6.5)$$

$$H_j - H_i = a_i - T_j + S_{ij} \cdot \text{Cotg } Z_{ij} + \frac{1-K}{2R} S_{ij}^2 \quad (6.6)$$

$$Z_{ij} = \text{arcCotg} \left(\frac{H_j - H_i}{S_{ij}} - \frac{a_i - T_j}{S_{ij}} - \frac{1-K}{2R} S_{ij} \right) \quad (6.7)$$

buradan fonksiyonun değişkenlere göre türevi alınır,

$$\frac{\partial Z_{ij}}{\partial H_j} = - \frac{\text{Sin}^2 Z_{ij}^0}{S_{ij}} \quad (6.8)$$

Z_{ij}^0 yaklaşık yüksekliklerden hesaplanması gerekir, aksi halde dengeleme modeli hatalı olur.

$$\frac{\partial Z_{ij}}{\partial H_i} = \frac{\text{Sin}^2 Z_{ij}^0}{S_{ij}} \quad (6.9)$$

$$\frac{\partial Z_{ij}}{\partial K_i} = - \frac{S_{ij} \text{Sin}^2 Z_{ij}^0}{2R} \quad (6.10)$$

$$V_{ij} = -Z_{ij} + \operatorname{arccotg}\left(\frac{H_j^0 - H_i^0}{S_{ij}} - \frac{1 - K_i^0}{2R} S_{ij} - \frac{a_i - T_j}{S_{ij}}\right) + \frac{\operatorname{Sin}^2 Z_{ij}^0}{S_{ij}} \rho dH_i - \frac{\operatorname{Sin}^2 Z_{ij}^0}{S_{ij}} \rho dH_j - \frac{S_{ij} \operatorname{Sin}^2 Z_{ij}^0}{S_{ij}} \rho dK_i \quad (6.11)$$

hata denklemi

$$V_{ij} = -\ell_{ij} + \frac{\operatorname{Sin}^2 Z_{ij}^0}{S_{ij}} \rho dH_i - \frac{\operatorname{Sin}^2 Z_{ij}^0}{S_{ij}} \rho dH_j - \frac{\rho}{2R} S_{ij} \operatorname{Sin}^2 Z_{ij}^0 dK_i \quad (6.12)$$

olur.

Eğim açılarına göre,

$$H_j = H_i + a_i - T_j + S_{ij} \cdot \tan \alpha_{ij} + \frac{1 - K}{2R} S_{ij}^2 \quad (6.13)$$

buradan,

$$\alpha_{ij} = \arctan\left(\frac{H_j - H_i}{S_{ij}} - \frac{a_i - T_j}{S_{ij}} - \frac{1 - K}{2R} S_{ij}\right) \quad (6.14)$$

$$\frac{\partial \alpha_{ij}}{\partial H_j} = \frac{\operatorname{Cos}^2 \alpha_{ij}^0}{S_{ij}}$$

$$\frac{\partial \alpha_{ij}}{\partial H_i} = -\frac{\operatorname{Cos}^2 \alpha_{ij}^0}{S_{ij}} \quad (6.15)$$

$$\frac{\partial \alpha_{ij}}{\partial K_i} = \frac{S_{ij} \operatorname{Cos}^2 \alpha_{ij}^0}{2R}$$

$$V\alpha_{ij} = -\ell_{ij} - \frac{\operatorname{Cos}^2 \alpha_{ij}^0}{S_{ij}} \rho dH_i + \frac{\operatorname{Cos}^2 \alpha_{ij}^0}{S_{ij}} \rho dH_j + \frac{\rho}{2R} S_{ij} \operatorname{Cos}^2 \alpha_{ij}^0 dK_i \quad (6.16)$$

$$-\ell_{ij} = -\alpha_{ij} + \operatorname{Arc tan}\left(\frac{H_j^0 - H_i^0}{S_{ij}} - \frac{1 - K_i^0}{2R} S_{ij} - \frac{a_i - T_j}{S_{ij}}\right) \quad (6.17)$$

şeklinde hata denklemleri yazılır (İnal 2003).

6.3 Stokastik Modelin Oluşturulması

Matematiksel modelin ikinci bileşeni olan stokastik model, bir fonksiyon ile kavranamayan fiziksel etkileri, başka bir deyişle ölçüler arasındaki bağımlılıkları (korelasyonları) ve ölçülerin duyarlıklarını gösterir. Ağdaki ölçüler arasındaki söz konusu duyarlık ilişkileri K_{II} varyans-kovaryans matrisi ile ifade edilmektedir.

$$K_{II} = s_0^2 Q_{II} \quad (6.18)$$

$$P = Q_{II}^{-1} \quad (6.19)$$

Burada s_0^2 öncül varyans (a Priori) değerini, $Q_{II(n \times n)}$ ölçülerin ağırlık katsayıları matrisinin tersini ve $P_{(n \times n)}$ 'de ölçülerin ağırlık matrisini göstermektedir. Nivelman ağında stokastik modeli temsil eden p ağırlık matrisi, ağda yapılan yükseklik farkı ölçülerinin bağımsız-korelasyonsuz olması durumunda bir köşegen matrise döner ve her ölçünün ağırlığı ilgili köşegen terimi olur. Nivelman ölçülerinin ağırlığı için kilometre cinsinden geçki uzunluğunun tersi alınabilir ($P_i = 1/S_i$) (Bektaş,Doğan 1998). Trigonometrik yükseklik ağlarının dengelemesinde, tek taraflı gözlemler kullanılıyorsa $P = \frac{1}{S^2}$, karşılıklı gözlemler kullanılıyorsa $P = \frac{2}{S^2}$ alınmalıdır. Ağ noktalarının yaklaşık yükseklikleri ile gözlemlerin ağırlıkları belirlendikten sonra dengeleme işlemine geçilir (İnal 2003).

6.4 Yükseklik Ağlarının Serbest Dengelenmesi

Ağdaki ölçülerin kendi aralarındaki tutarlılığını ve noktaların konum duyarlılığını en iyi şekilde yansıtabilmek için ağın serbest dengelenmesi, başka bir deyişle ağda değişmez olarak kabul edilecek noktanın ve ölçünün bulunmaması gerekir. Serbest ağ dengelemesinde, başlangıçta belirlenen yaklaşık değerlere dengeleme sonucunda eklenecek bilinmeyenlerin kareleri toplamı minimum yapılmaktadır. Bu nedenle serbest ağ dengelemesinde yaklaşık koordinatların çok iyi belirlenmiş olmaları gerekmektedir.

Serbest ağ dengelemesi, hiçbir datum parametresi sabit alınmaksızın, düzeltmeler; x bilinmeyenler vektörü; p ölçülere ilişkin ağırlık matrisi olmak üzere, tüm iz minimum koşulu altında, düzeltmelerin ve bilinmeyenlerin kareleri toplamının minimum yapıldığı

$$V^T P V + x^T x \Rightarrow \min$$

en küçük kareler çözümüyle gerçekleştirilir. Serbest ağ dengelemesinde, koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hatalarının en küçük olması anlamına gelen, koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisinin izinin minimum olması

$$iz\{Q_{xx}\} \Rightarrow \min$$

koşulunda gerçekleşir(Yalçınkaya ve ark.'na (2003) göre). En küçük kareler yöntemi ile ,

$$\begin{aligned} A^T P A x - A^T P \ell &= 0 \\ N x - n &= 0 \end{aligned} \tag{6.20}$$

normal denklem sisteminin çözümünden bulunur.

A, katsayılar matrisi olmak üzere, serbest ağ dengelemesinde hesaplanan normal denklem katsayılar matrisi (N),

$$N = A^T P A \quad (6.21)$$

tekil yapıda olur. Bu nedenle bu matrisin tersi Moore-Pensore inversiyle

$$N^+ = (N + G G^T)^{-1} - G G^T \quad (6.22)$$

biçiminde alınır. Burada G matrisi, normal denklem katsayılar matrisinde datum parametre sayısı kadar sıfır eşit özdeğerlere karşılık gelen özvektörlerden ya da benzerlik dönüşümüne karşılık gelen ve ağırlık merkezine ötelenmiş (normlandırılmış) koordinatlardan oluşturulan ortogonal özellikli bir dönüşüm matrisidir. G matrisi trigonometrik yükseklik ağırları için,

$$G^T = \left[1/\sqrt{P} \quad 1/\sqrt{P} \dots \dots \dots 1/\sqrt{P} \right] \quad (6.23)$$

şeklinde yazılır.

Serbest ağ dengelemesinin ardından model hipotezi testi yapılır ve dengeleme modelinin geçersiz olması durumunda,

- dengelemenin matematik modelinin doğru kurulmamış olabileceği,
- ölçü ağırlıklarının doğru belirlenmemiş olabileceği,
- ölçülerden en az birinin uyumsuz olabileceği,

şeklinde sonuçlar çıkarılır. Ölçülerin birinde yada bir kaçında bulunan ve rasgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükte olan kaba hatalar kolaylıkla fark edilemezler ve dengeleme hesabı sonucunda bulunan büyüklükleri olumsuz yönde etkiler. Bunlar ancak uyumsuz ölçüler testi ile belirlenebilirler (Yalçınkaya ve ark.'na (2003) göre).

7 UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN AYIKLANMASI VE GENİŞLETİLMİŞ MODEL TESTİ

Değişik amaçlarla yapılan ölçüler arasında, ölçü kümesinin dağılımına girmeyen(kümenin genel özelliklerine uymayan) ölçüler olabilir (Aksoy 1987). Okuma yazma hataları, aletlerin hatalı merkezlendirilmesi ya da yanlış hedefe gözlem yapma gibi nedenlerle ortaya çıkan kaba hataların büyük bir bölümü, düzeltme denklemlerinin kurulması sırasında sabit terimlerde kendini gösterirler ve gözlemler yenilenerek düzeltilirler.

Buna karşın rasgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükte olan kaba hatalar, kolaylıkla fark edilemezler ve dengeleme hesabı sonucunda bulunan büyüklükleri olumsuz yönde etkilerler. Bu ölçülere “uyuşumsuz ölçü” denir ve tespit edilerek diğer ölçülerden ayıklanması gerekir (Demirel 1987). Bunlar ancak dengeleme hesabı tamamlandıktan sonra uygulanan Uyuşumsuz Ölçüler Testi yardımı ile belirlenebilir.

Her uyuşumsuz ölçü mutlaka kaba hatalı demek değildir. Örneğin çevre koşullarının değişmesi, gözlemcinin yorulmasıyla dikkatinin azalması, yuvarlatma yapma, belirlenmiş parametrik modelden sapmalar vb. nedenlerle az sayıda bir grup ölçü, ölçülerin büyük kesiminden ayrı bir özellik gösterebilir, öngörülen matematik modele uymayabilir.

Tüm uyuşumsuz ölçüler kaba hatalardan kaynaklanmış kötü veriler değildir, bazen yeni etkileri veya bilgileri taşıyabilirler. Uyuşumsuz veriler bir atılıp birde az ağırlık olarak çalıştırılıp sonuçlar karşılaştırılabilir. Eğer farklar rasgele değişebilirlikle açıklanamazsa bu uyuşumsuz ölçüler sapıcıdır yahut dağılımları hakkında öngörülen model yanlıştır denir.

Jeodezi ve Fotogrametri’de ölçülerin değerlendirilmesinde kaba hataların ve uyuşumsuz ölçülerin bulunması güvenirlilik ve kalite açısından çok önemlidir. Eğer uyuşumsuz

ölçüler ayıklanmazsa En Küçük Kareler(EKK) yöntemi ile kestirilen değerleri bozarlar. Ölçüler ne derece özenle yapılırsa yapılsın uyuşumsuzları içermeleri kaçınılmazdır. Bunların uyumlu (iyi) ölçülere oranı Jeodezi ve Fotogrametri’de yaklaşık %1 kadar olmasına karşın diğer bilim dallarında %30’a kadar ulaşmaktadır. Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde; geleneksel uyuşumsuz ölçü test yöntemleri ve Robust Kestirim yöntemleri olmak üzere iki yaklaşım bulunmaktadır.

İlk yaklaşım Jeodezi ve Fotogrametri’de uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Uyuşumsuz ölçü testleri genellikle bir anda tek uyuşumsuz (düzeltmesi en büyük) ölçüyü belirlemeye yatkındır. Bir uyuşumsuz ölçü belirlenir ve atılır. Daha sonra EKK yöntemi geri kalan ölçülere yeniden uygulanır. Yeniden uyuşumsuz ölçü testi yapılır ve işlem böyle sürer(Hekimoğlu ve ark.’na (1993) göre).

Uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması için kullanılan geleneksel test yöntemleri; bilinmeyen sayısının birden fazla olması durumu ve bilinmeyen sayısının tek olması durumu için ikiye ayrılır. Bilinmeyen sayısının tek olması halinde, t-dağılımının uygulanması, ekstrem değer dağılımının uygulanması, çekip atma (Ausreiper) testi kullanılır. Eğer bilinmeyen sayısı birden fazla ise, Baarda’ nın B-test metodu, Pope yöntemi, t-testi kullanılır (İnal 1989). Bu çalışmada birden fazla bilinmeyen olduğu için Baarda, Pope ve t-testi uygulamaları ele açıklanacak ve ölçülerin uyuşum testi Pope yöntemiyle yapılacaktır.

7.1 Baarda’nın B Test Metodu

Baarda’nın B test metodu ile ölçülerdeki kaba hatalar belirlenebilir. Bunun için önce dengeleme modelinin testi yapılır. Bu test sonucu model hatası olduğuna karar verilirse hatanın bir yada birkaç ölçünün uyuşumsuz olmasından kaynaklandığı düşünülür. Bu

metotta dengeleme sonrası varyans ile dengeleme öncesi varyansın uyum içinde olduğu H_0 hipotezi olarak ileri sürülür.

Dengeleme öncesi varyans;

- Nivelman ağında, gidiş-dönüş ölçüsünden hesaplanır,
- Doğrultu ağında, Ferrero eşitliğinden
- Kenar ölçülmüşse, elektronik uzaklık ölçerin ölçme hassasiyetini veren bağıntıdan belirlenir.

$$H_0 : E(\bar{\sigma}^2) = E(\sigma^2) \quad (7.1)$$

$$\frac{V^T P V}{f \sigma^2} > F_{1-\alpha, f, \infty} \quad (7.2)$$

ise H_0 hipotezi red edilir. Yukarıdaki eşitsizlikte,

V :Düzeltilmeler

σ^2 :Dengeleme öncesi deneysel varyans

f :serbestlik derecesini ifade etmektedir.

Bu yöntemde herhangi bir li ölçüsünün uyumsuz olup olmadığına karar verebilmek için,

$$T_{i,B} = \frac{V_i}{\sigma \sqrt{q_{viVi}}} \quad (7.3)$$

hesaplanır. Burada,

V_i :ilgili ölçüye ait düzeltme

σ :Dengeleme öncesi standart sapma

q_{viVi} :Düzeltilmelere ilişkin ağırlık katsayısı

dır.

Test büyüklüklerinin en büyüğü $T_{\max,B}$ standart normal dağılım tablosundan alınan $k_{1-\alpha/2}$ güven sınırın aşıyorsa yani,

$$T_{\max,B} > k_{1-\alpha/2} = \sqrt{F_{1,\infty,\alpha}} \quad (7.4)$$

ise o ölçünün uyumsuz olduğuna karar verilir (İnal 1989).

7.2 Pope Yöntemi

Bu yöntemde göre test büyüklüğünün hesabında dengeleme sonrası varyans kullanılır. Yöntemde test büyüklüğü,

$$T_{i,P} = \frac{V_i}{\hat{\sigma} \sqrt{q_{viVi}}} \quad (7.5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte,

$\hat{\sigma}$:Ölçülerin dengelenmesi sonucunda bulunan standart sapma

V_i : düzeltme

q_{viVi} :Düzeltilmelere ilişkin ağırlık katsayısıdır.

$$q = u - d \quad (7.6)$$

u : bilinmeyen sayısı

d : defekt sayısı

$n - q$: ağ dengelemesinin serbestlik derecesi

olmak üzere hesaplanan $T_{\max,P}$ değeri,

$$C = \left(\frac{(n-q)F}{n-q-1+F} \right)^{1/2} \quad (7.7)$$

eşitliğinden bulunacak C değerinden büyük çıkıyorsa $T_{\max,P} > C$ ölçü uyuşumsuzdur.

F : 1 ve $n-q-1$ serbestlik derecelerinde $(1 - 0,05)^{1/n}$ test düzeyi için F dağılım tablosundan alınan değerdir.

$n-q$: Ağ dengelemesinin serbestlik derecesidir (İnal 1989).

7.3 t- Testi

t testine göre uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması için test büyüklüğü

$$T_{i,t} = \frac{V_i}{\bar{\sigma}_i \sqrt{q_{ViV_i}}} \quad (7.8)$$

$$T_{\max,t} > t_{f-1, 1-\alpha/2} \quad (7.9)$$

ise o ölçü uyuşumsuz kabul edilir ve ölçü vektöründen çıkarılır.

$\bar{\sigma}_i$: 1 ölçüsü çıkarıldıktan sonra diğer ölçü değerleri sonucu bulunan ortalama hata

$$Q_{vv} = P_{\ell\ell}^{-1} - A Q_{xx} A^T \quad (7.10)$$

$P_{\ell\ell}^{-1}$:Dengeleme öncesi ağırlık matrisinin tersi

A :Katsayılar matrisi

Q_{xx} :Bilinmeyenlere ait kofaktör matrisi

Q_{vv} :Düzeltilmelerin ağırlık katsayıları matrisidir.

Açıklamalardan görüldüğü gibi uyumsuz ölçüler testinde temel veri ölçünün düzeltilmesidir. Bir ölçünün düzeltilmesi ise tüm ölçülerden etkilenmektedir. Bu nedenle bir test ile ancak bir ölçünün uyumsuz olduğuna karar verilebilir. Bu nedenle işe en büyük test büyüklüğü ile başlanmalıdır. Sınır değerini aşan en büyük test büyüklüğüne ait ölçü, ölçü vektöründen çıkarılarak dengeleme yenilenir (İnal 1989).

7.4 Dengeleme Modelinin Test Edilmesi

7.4.1 Fonksiyonel modelin testi

Ölçüler ile bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel modelin doğru olarak ortaya konması gerekir, aksi halde dengeleme hesabının kendi içindeki kontrolleri olası model hatalarını ortaya çıkarmak için yeterli olmayabilir. Fonksiyonel modelin test edilmesinde x koordinat bilinmeyenlerinin yanında z gibi başka bilinmeyenlerinde bulunduğu yeni karşıt bir model oluşturulur.

$$\underline{l} + \underline{V} = [Ax \quad Az] \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} \quad (7.11)$$

Uygulamada bu genişletilmiş modelin z bilinmeyenleri olarak örneğin ölçek bilinmeyeni yada trigonometrik nivelman ağlarında k kırılma katsayısı alınabilir.

Genişletilmiş fonksiyonel modelin normal denklemleri,

$$\begin{bmatrix} \underline{N}_{xx} & \underline{N}_{xz} \\ \underline{N}_{zx} & \underline{N}_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{x} \\ \underline{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{n}_x \\ \underline{n}_z \end{bmatrix} \quad (7.12)$$

bilinmeyenlerin kesin değerleri

$$\begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{xx} & \underline{Q}_{xz} \\ \underline{Q}_{zx} & \underline{Q}_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{n}_x \\ \underline{n}_z \end{bmatrix} \quad (7.13)$$

ve birim ağırlıklı ölçünün varyansı,

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T Q_{ll}^{-1} V}{n - u_x - u_z + r} \quad (Q_{ll}^{-1} = P) \quad (7.14)$$

ile hesaplanır.

r: n matrisinin rang düşüşü (katsayılar matrisi N'in rangı)

n: Ölçü sayısı

u_x : x bilinmeyenlerinin sayısı

u_z : z bilinmeyenlerinin sayısı

Normal ve genişletilmiş fonksiyonel modellerden elde edilen koordinat bilinmeyenleri (\hat{x}, \hat{z}) ve ölçülerin \underline{V}, \bar{V} düzeltmeleri birbirinin aynı değildir. Ayrıca genişletilmiş fonksiyonel modelin daha iyi olduğu söylenemez. Genişletilmiş fonksiyonel modelden elde edilen bilinmeyenlerin presizyonları, normal modelden elde edilenlere göre daha azdır.

Bu nedenle hangi modelin seçilmesi gerektiğine karar verirken dengeleme hesabına katılan ek bilinmeyenlerin sıfırdan farklı olduklarının kanıtlanabilir olup olmadığına bakılır. Buna göre z bilinmeyenlerinin signifikant testi için,

Sıfır hipotezi,

$$H_0 : E(\underline{Z}) = 0 \quad (7.15)$$

Alternatif hipotez,

$$H_A : E(\underline{Z}) = \underline{Z} \neq 0 \quad (7.16)$$

Test büyüklüğü;

$$T_f = \frac{\underline{z}^T \underline{Q}_{zz} \underline{z}}{\sigma_0^2 u_z} \quad (7.17)$$

Seçilerek Fisher dağılım tablosundan $s = 1 - \alpha$, $f_1 = u_z$, $f_2 = (n - u_z - u_x + r)$ serbestlik dereceleri için bulunacak F_{α, f_1, f_2} tablo değeriyle karşılaştırılır.

$$T_f > F_{\alpha, f_1, f_2} \quad (7.18)$$

İse hipotez red edilir. Genişletilmiş model kullanılmalıdır (İnal 2004).

7.4.2 Stokastik modelin test edilmesi

Dengeleme hesabında ölçülerin varyans kovaryans matrislerinin dolayısıyla P_i ağırlıklarının,

$$P_i = \sigma_0^2 K_{ii}^{-1}$$

doğru olarak seçilmesi gerekir. Bunun için dengeleme öncesi varyans ile dengeleme sonrası varyans uyum içinde olmalıdır.

$$H_0 : E(\bar{\sigma}_0^2) = E(\hat{\sigma}_0^2) = \sigma_0^2 \quad (7.19)$$

$\bar{\sigma}_0^2$: Dengeleme ncesi varyans

$\hat{\sigma}_0^2$: Dengeleme sonrası varyans

σ_0^2 : Teorik varyans

Test büyüklüğü,

$$Ts = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\bar{\sigma}_0^2} \quad (7.20)$$

bağıntısından hesaplanır.

$$Ts > F_{s,f1,f2} \quad (7.21)$$

İse l ağırlıkları isabetli belirlenmemiştir. Dolayısıyla ağırlık oranlarının değiştirilmesi gerekir (İnal 2004).

8 S-TRANSFORMASYONU İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Mühendislik yapılarında ve yeryüzünün belli bir bölümünde hareketleri araştırmak amacıyla jeodezik kontrol ağları oluşturulur. Değişik zamanlarda belli elemanları ölçülen ağların datumları çeşitli nedenlerle farklı olabilmektedir. Karşılaştırılacak parametreler, örneğin ağ noktalarının koordinatları aynı bir datumda belirlenmiş olmalıdır. S(similariy)-transformasyonları yardımıyla değişik periyotlar arasında datum birliği sağlanabilir. Ayrıca bu transformasyon art arda uygulanarak hareketli noktalar saptanabilir.

S-transformasyonu, yeni bir dengelemeye gerek olmadan bir datumdan bir başkasına geçme, başka bir deyişle herhangi bir datumda belirlenmiş bilinmeyen parametreleri, örneğin nokta koordinatlarını ve bunların kofaktörler matrisini belli bir datuma dönüştürme işlemidir. S-transformasyonu, tüm ağ noktalarının ya da bir bölümünün (datum noktalarının) küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamının minimum olmasını öngören serbest dengeleme ile eş anlamlıdır.

Deformasyon analizleri dışında başka alanlarda datum problemi ve datum transformasyonları ile karşılaşılır. Duyarlık ölçütleri genellikle datuma bağlıdır. Duyarlık açısından ağların karşılaştırılmaları gerektiğinde bunların, örneğin S-transformasyonu ile aynı bir datuma dönüştürülmeleri gerekir.

Bir kontrol ağının duyarlık beklentilerini sağlayıp sağlamadığını belirlemek amacıyla koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisi öngörülen ve ölçüt matrisi adı verilen yapay bir kovaryans matrisi ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma için, tanımlanan bir datumu olmayan ölçüt matrisi S-transformasyonu yardımıyla ağın datum sistemine dönüştürülür.

Ülke ölçmelerinde de datum problemiyle karşılaşılır. Ağ sıklaştırmalarında bağlantı noktalarının olumsuz etkilerinden bağımsız olarak, duyarlık ve güvenilirliğini belirlemek, uyumsuz ölçüleri ayıklamak ve bağlantı noktalarının uygun olup olmadığını test etmek amacıyla yeni ve bağlantı noktalarından oluşan ağ bölümü genellikle serbest dengelenir. Üst dereceli noktalara bağlantı ikinci adımda gerçekleştirilir. İkinci adımda S-transformasyonu yardımıyla mevcut ağın analizine geçilebilir (Demirel 1987).

8.1 S-Transformasyonu ve datum belirleme

Bir jeodezik ağ, uygun ölçülerle birbirine bağlanan noktalardan oluşur. Yalnızca klasik ölçme yöntemlerinin uygulandığı düşünülürse 1 boyutlu nivelman ağlarında yükseklik farkları ve gravite ağlarında gravite farkları, 2 boyutlu konum ağlarında doğrultular ve kenarlar, 3 boyutlu ağlarda doğrultular, kenarlar ve başucu açıları ölçülür. Aranılan büyüklükler ağ noktalarının yükseklikleri, gravite değerleri veya iki yada üç boyutlu koordinatları(bilinmeyen parametreler)dir. Ölçü sayısı bilinmeyen sayısından daha büyüktür. Genellikle uygulanan Gauss- Markov modelinde dengeleme için ölçülerle aranılan büyüklükler arasında fonksiyonel ilişkiler (düzeltme denklemleri) yazılır. Doğrusallaştırma işleminden sonra ℓ küçültülmüş ölçüler vektörü, v düzeltmeler vektör, A katsayılar matrisi, x küçültülmüş ölçüler vektörü ve C_{11} ölçülerin varyans-kovaryans matrisi, Q_{11} ağırlık katsayıları matrisi ya da $P = Q_{11}^{-1}$ ölçülerin ağırlık matrisi olmak üzere

$$\begin{aligned} \ell + v &= Ax \\ C_{11} &= \sigma_0^2 Q_{11} \end{aligned} \quad (8.1)$$

dengeleme modelinden (σ_0^2 bilinmeyen varyans faktörü)

$$\begin{aligned} N &= A^T P A, \quad n = A^T P \ell \\ N x &= n \end{aligned} \quad (8.2)$$

normal denklemleri elde edilir.

Ölçüler yalnızca ağ noktalarının karşılıklı konumunu, başka bir deyişle iç geometrisini belirler. Ölçüler, örneğin tek boyutlu ağlarda bir referans yüzeyi veya iki yada üç boyutlu ağlarda bir koordinat sistemiyle bağlantı için gerekli bilgiyi içermez. Bunun sonucu olarak A katsayılar matrisi ve bilinmeyen parametre sayısı u ise $u \times u$ boyutlu normal denklem katsayılar matrisi N tekil ($\det N=0$) olur. N matrisinin rangı $\text{rg}N=r$ ile gösterilirse $d=u-r$ farkına rank ya da datum defekti denir. d sayıda “serbest datum parametreleriyle” iç ağ geometrisinin bir koordinat sisteminde hareket olanakları tanımlanır.

Datum defektinin büyüklüğü ağın boyutuna ve ağda gözlenen elemanlara bağlıdır. Örneğin yükseklik farkları ölçülen nivelman ağlarında defekt sayısı $d=1$, serbest datum parametresi 1 ötelemedir. 2 boyutlu konum ağında yalnızca kenarlar ya da kenarlar ve doğrultular ölçülmüşse $d=3$, serbest datum parametreleri 1 dönüklük, x ve y eksenleri yönünde 2 ötelemedir. Yalnızca doğrultular ölçülmüşse bir ölçek faktörünün de eklenmesiyle $d=4$ olur.

Bir jeodezik ağın ölçüler yardımıyla belirlenen görelî konumu ile koordinat sistemi arasında bağlantı kurma işlemi ya da (8.2) normal denklemlerinin çözümü datum problemini oluşturur. Çözüm için örneğin konum ağlarında noktaların küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamının minimum olması öngörülerek serbest dengeleme yapılır. Minimum koşulu ağın tüm noktalarını içeriyorsa koordinat bilinmeyenlerine ilişkin ağırlık katsayıları matrisinin izi de minimum olur. Minimum koşulu, defekt sayısından az olmamak üzere ağ noktalarından bir bölümüne ilişkin koordinat bilinmeyenini içeriyorsa ağırlık katsayıları matrisinin yalnızca bunlara karşılık bölümü minimum olur. Bu anlamda serbest dengelemelere “tüm iz minimum” ve “kısmi iz minimum” çözümleri de eklenir. Minimum koşulu defekt sayısı kadar koordinat bilinmeyeni için yazıldığında çözüm, defekt sayısı kadar parametrenin sabit alındığı klasik dengelemeye dönüşür.

Serbest dengeleme türlerinde ağıın iç geometrisi; dengelenmiş ölçüler ve bunların karesel ortalama hataları aynı kalır. Yalnızca koordinat bilinmeyenleri ve bunların kofaktörler matrisi datum noktalarının (min koşuluna giren noktaların) seçimine bağlı olarak değişir.

Defekt sayısından daha çok sayıda parametrenin sabit geçtiği sıklaştırma ağların da ağıın iç geometrisi bağlantı noktalarına göre belirlendiğinden bir zorlama söz konusudur. A matrisinde sabit nokta koordinatlarına karşılık sütunlar çizildiğinden normal denklem katsayılar matrisi N regulerdir. Bu anlamda “zorlamalı dengeleme” yukarıda açıklanan “serbest dengeleme “kavramından farklıdır.

Tüm serbest dengeleme sonuçları S-transformasyonu ile birbirine dönüştürülebilir, başka bir deyişle yeni bir dengelemeye gerek olmadan bir datumdan istenen başka bir datuma geçilebilir. Bu yüzden serbest dengelemelere S-sisteminde dengeleme de denir. Zorlamalı dengeleme bir S-sistemi değildir (Demirel 1987).

8.1.1 Datum tanımları

(8.2) normal denklemlerinin çözümü için değişik yollardan birinde katsayılar matrisi N bir B matrisiyle genişletilerek reguler yapılır. Bu çözüm ,

$$\begin{aligned} v &= Ax - 1 \\ B^T x &= 0 \end{aligned} \quad (8.3)$$

sistemine karşılıktır(Gauss-Markov modelinde koşullu dengeleme). Lagrange fonksiyonu minimum yapılarak

$$\begin{bmatrix} N & B \\ B^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_b \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8.4)$$

normal denklemleri elde edilir. Burada x_b , x bilinmeyenler vektörünün B matrisine bağlı tahmin değeri, k korelatlar anlamındadır. Sütun sayısı defekt sayısına eşit olan B matrisi

$$A G = 0 \text{ ve } N G = 0 \quad (8.5)$$

koşullarını sağlayan G matrisinden dönüştürülür. G matrisi, normal denklem katsayılar matrisi N'in d sayıda $\lambda=0$ öz değerlerine karşılık öz vektörler matrisidir. Örneğin defekt sayısı d=4 olan p noktalı bir doğrultu ağında x_{i0}, y_{i0} ($i=1, p$) yaklaşık koordinat değerleri olmak üzere G için

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ -y_{10} & x_{10} & -y_{20} & x_{20} & -y_{p0} & x_{p0} \\ x_{10} & y_{10} & x_{20} & y_{20} & x_{p0} & y_{p0} \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{x yönünde öteleme} \\ \text{y yönünde öteleme} \\ \text{dönüklük} \\ \text{ölçek faktörü} \end{array} \quad (8.6)$$

öz vektörler matrisi geçerlidir. Ağda en azından bir kenar ölçülmüşse G^T nin son satırı ortadan kalkar. Nivelman ağlarında ($d=1$)

$$G^T = [1 \quad 1 \dots \dots \dots 1] \quad (8.7)$$

dir.

E matrisi köşegeni üzerinde datumu belirleyen nokta koordinatlarına karşılık "1" ötekiler için "0" değerlerini içeren bir köşegen matris olmak üzere B matrisi

$$B = E G \quad (8.8)$$

eşitliğiyle tanımlanır. G ve B aynı boyutlu sütun reguler matrisler olduğundan bunların $G^T B$ çarpımı reguler bir kare matristir. Ayrıca (8.5) eşitlikleri göz önünde tutulursa (8.4) normal denklemlerinin çözümü için

$$\begin{bmatrix} N & B^{-1} \\ B^T & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_b & G(B^T G)^{-1} \\ (G^T B)^{-1} G^T & 0 \end{bmatrix} \quad (8.9)$$

çıkar. O_b için

$$N Q_b = 1 - B(G^T B)^{-1} G^T \quad (I \text{ birim matris}) \quad (8.10)$$

ya da bunun genişletilmiş

$$Q_b = (N + B B^T)^{-1} - G(G^T B B^T G)^{-1} G^T \quad (8.11)$$

eşitliği geçerlidir. $G^T n = G^T A^T P 1 = 0$ nedeniyle (8.4)'ten

$$\begin{aligned} x_b &= Q_b n = (N + B B^T)^{-1} n \\ k &= 0 \end{aligned} \quad (8.12)$$

çıkar. (8.10) eşitliği sağdan B ile çarpılırsa $Q_b B = 0$ koşulunun sağlandığı görülür.

Korelatlar sıfır çıktığından (8.4) normal denklem istemi korelatlar bağımsız

$$N x_b = n \quad (8.13)$$

sistemine dönüşür. B matrisinin seçimine bağlı olarak (8.11) ve (8.12) dan x için farklı çözümler elde edilir. Bunlardan her biri (8.13) normal denklem sistemini sağladığından çözüm açık değildir.

Datumu ağın tüm noktaları yardımıyla belirlemek için datum seçici(8.8)'de birim matris olarak öngörülmelidir. Buna göre $B=G$ ve Q_b yerine Q_g ile

$$\begin{bmatrix} N & G^{-1} \\ G^T & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_b & G(G^T G)^{-1} \\ (G^T G)^{-1} G^T & 0 \end{bmatrix} \quad (8.14)$$

çıkar. Q_g matrisi için

$$NQ_b = I - G(G^T G)^{-1} G^T \quad (8.15)$$

ya da

$$Q_b = (N + GG^T)^{-1} - G(G^T GG^T G)^{-1} G^T \quad (8.16)$$

eşitlikleri geçerli olduğundan (8.4)'ten

$$\begin{aligned} x_b &= Q_b n = (N + GG^T)^{-1} n \\ k &= 0 \end{aligned} \quad (8.17)$$

çözümü elde edilir.(8.15) eşitliği sağdan G ile çarpılırsa $Q_g G=0$ özelliğinin geçerli olduğu görülür. Q_g ağırlık katsayıları matrisi N matrisinin Moore-Penrose inversidir:

$$Q_g = N^+ \quad (8.18)$$

N 'in tüm inversleri karşısında Q_g matrisinin izi ve tüm çözümler karşısında (8.17)'e göre belirlenen x_g koordinat bilinmeyenleri vektörünün normu en küçüktür(tüm iz minimum):

$$iz Q_g = \min, \quad x_g^T x_g = \min \quad (8.19)$$

Q_b ağırlık katsayıları matrisi, N normal denklem katsayılar matrisinin simetrik refleksiv genel inversidir:

$$Q_b = N^- \quad (8.20)$$

Bu matriste yalnızca datum noktalarına karşılık alt matrisin izinin ve bu noktaların koordinat bilinmeyenlerinin normunun minimum (kısmi iz minimum) olduğu gösterilebilir. Bunu için datuma giren bilinmeyen parametreler x_1 ; ötekiler x_2 alt vektörleri içinde toplanmalıdır; $x^T = [x_1^T \ x_2^T]$ ve bu ayrıma uygun olarak (8.4)'te

$$G = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix}, N = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{bmatrix}, n = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (8.21)$$

yazılmalıdır. x_2 yok edilerek (98) sistemi datum noktalarına indirgenirse

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & G_1 \\ G_1^T & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} n_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & G_1(G_1^T G_1)^{-1} \\ (G_1^T G_1)^{-1} G_1^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8.22)$$

çıkar. Burada indirgenmiş büyüklükler,

$$N_{11} = N_{11} - N_{12} N_{22}^{-1} N_{21} \quad \text{ve} \quad n_1 = n_1 - N_{12} N_{22}^{-1} n_2 \quad \text{dir.}$$

Datum noktalarına indirgenmiş normal denklem sistemi (8.14) ile karşılaştırıldığında Q_{11} ağırlık katsayıları matrisinin N in Moore-Penrose inversi olduğu ($Q_{11} = N^+_{11}$) ve $Q_{11} G_1 = 0$ özelliğinin sağlandığı görülür. Ayrıca (8.5)'dan $NG=0$ koşuluna karşılık $N_{11} G_1 = 0$ çıkar. Bu nedenle x_1 ve Q_{11} için (8.19) özellikleri geçerli olmalıdır:

$$iz Q_{11} = \min, x_1^T x_1 = \min \quad (8.23)$$

$G^T x_g = 0$ koşuluna göre datum belirleme ya da (8.3) fonksiyonel modelinde bu koşulun öngörülmesi, ağırlık bilinmeyen parametreleri, örneğin dengelenmiş koordinatlar ile yaklaşık nokta koordinatları arasında benzerlik(Helmert) dönüşümünün uygulanması anlamına gelir. Burada küçültülmüş bilinmeyenler yaklaşık koordinatlara getirilen

düzeltilmelerdir. Bu nedenle Helmert dönüşümünde düzeltmelerin kareleri toplamının minimum olması koşulu (8.19)'e göre $x_g^T x_g = \min$ özelliğiyle özdeştir.

Datum için $B^T x_b = 0$ koşulu öngörülmüşse, Helmert dönüşümü nokta kümesinin datumu tanımlayan bölümünü kapsar ve minimum norm özelliği bilinmeyenler vektörünün datum noktalarına ilişkin bölümü için geçerli olur. Buna göre, tüm iz minimum ve kısmi iz minimum çözümleri arasında

$$izQ_g < izG_b, x_g^T x_g < x_b^T x_b \quad (8.24)$$

eşitsizlikleri yazılabilir.

Datum için B matrisinde defekt sayısı d kadar parametre öngörülürse O_b matrisinde bu parametrelere karşılık satır ve sütunlar sıfır çıkar. Bu sonuç, d sayıda parametrenin sabit alındığı ya da düzeltme denklemlerinde ilgili sütunların çizildiği klasik dengeleme ile özdeştir.

Bilinmeyenler vektörü koordinat bilinmeyenleri yanında yönlendime ve ölçek faktörleri gibi başka bilinmeyenleri de içerebilir. Bir serbest ağıın datumu genellikle yaklaşık koordinatlar yardımıyla tanımlanır. Bu nedenle, ya koordinat bilinmeyenleri dışında kalan parametreler normal denklemler indirgenerek önceden yok edilir, ya da datumu belirleyen B ve G matrisleri normal denklemlerin yalnızca koordinat bilinmeyenlerine karşılık bölümü için oluşturulur (Demirel 1987).

8.2 S-Transformasyonu

Tekil bir normal denklem sisteminin çözümü $B^T x_b = 0$ koşul denklemlerinin seçimine bağlı olarak değişmektedir. Koşul denklemleri, ağıın belli sayıda bilinmeyen parametreleri (datum noktalarının koordinatları) yardımıyla tanımlanmakta ve her bir datum değişikliği yeni bir dengelemeyi zorunlu kılmaktadır. S-transformasyonu ile yeni

bir dengelemeye gerek olmadan herhangi bir datumdan istenilen başka bir datuma geçilebilmektedir. $B^T x_b = 0$ koşuluna karşılık S_b transformasyon matrisi,

$$S_b = N^- N = I - G(G^T G)^{-1} B^T \quad (8.25)$$

ve $B = G$ için S_g transformasyon matrisi,

$$S_g = N^+ N = I - G(G^T G)^{-1} G^T \quad (8.26)$$

eşitlikleriyle tanımlanır.

(8.12) eşitliğine göre k datumuna ($B \rightarrow B_k$) karşılık $x_k = Q_k n$ eşitliğinde n yerine $n = N x_i$ yazılırsa, (8.25) de B yerine B_k datum matrisi yazılarak elde edilecek S_k transformasyon matrisi ile,

$$x_k = Q_k N x_i = S_k x_i \quad (8.27)$$

ve bezer biçimde,

$$x_g = Q_g N x_i = S_g x_i \quad (8.28)$$

çıkar. Buna göre, i datumuna karşılık x_i çözüm vektöründen herhangi bir k datumuna ilişkin x_k çözüm vektörüne, bunun gibi tüm ağ noktalarının kullanıldığı g datumundaki x_g çözümüne S_k ve S_g transformasyon matrisiyle geçilebileceği görülmektedir.

$NG = 0, Q_b B = 0, Q_g G = 0$ nedeniyle (8.10) ve (8.15)'e göre

$$NQ_b N = N, NQ_g N = N \quad (8.29)$$

ve

$$Q_b N Q_b = Q_b, Q_g N Q_g = Q_g \quad (8.30)$$

olduğundan xi çözümüne ilişkin Q_i ağırlık katsayıları matrisinin S_k ve S_g transformasyon matrisleriyle,

$$S_k Q_i S_k^T = Q_k N Q_i N Q_k = Q_k \quad (S_g^T = S_g) \quad (8.31)$$

$$S_g Q_g S_g = Q_g N Q_i N Q_g = Q_g \quad (8.32)$$

biçiminde herhangi bir k datumuna karşılık x_k çözümünün Q_k ve g datumuna karşılık x_g çözümünün Q_g ağırlık katsayıları matrisine dönüştürülebileceği görülmektedir.

S-transformasyonu ile herhangi bir datuma geçmek için yalnızca yeni datumu bilmek yeterli olmaktadır. Çok sayıda transformasyonun art arda uygulanması durumunda sonucun en son transformasyon olduğu (8.25) ve (8.26) eşitlikleriyle gösterilebilir:

$$S_i S_j S_k = S_i, S_g S_j S_k = S_g$$

Defekt sayısı kadar parametrenin sabit alındığı serbest ağ dengelemesinde normal denklem katsayılar matrisi ve bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrisi regülerdir. Bu matris, defekt sayısı kadar sıfır elemanlı satır ve sütunla genişletilerek S_g ve S_b transformasyon matrisleriyle tüm iz minimum yada kısmi iz minimumu çözümlerine dönüştürülebilir. Klasik dengelemenin bilinmeyenler vektörü de transformasyondan önce d sayıda sabit parametreye karşılık sıfırla genişletilmelidir. Önce klasik dengeleme yapılması ve sonuçların ikinci adımda S-transformasyonu yardımıyla istenen datuma dönüştürülmesi uygulamada kolaylık sağlar.

Herhangi bir regüler matris, belli bir defekt ve datuma göre oluşturulan transformasyon matrisiyle (S_g ya da S_b) doğrudan tekil matrise dönüştürülebilir. Tekil matrisin defekt sayısı ve datumu transformasyon matrisiyle belirlenir. Bu işlem jeodezik ağların

optimizasyonun da kullanılan ve tanımlanmış bir datumu olmayan ölçüt matrislerine uygulanır (Demirel 1987).

8.3 Doğrusal Hipotez Testi

Dengeleme modeli,

$$\ell + v = Ax, \quad C_{11} = \sigma_0^2 Q_{11} = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (8.33)$$

olduğuna göre x bilinmeyenleri ya da bir bölümü arasında belli koşulların geçerli olup olmadığını test etmek amacıyla

$$H_0 : Bx = w \quad (8.34)$$

hipotezi öngörülür. Bilinmeyenlerin seçiminde, örneğin uzaklık ölçülerinde ölçek faktörlerinin, bunun gibi bir uzaklık ölçere ait toplam sabitenin bilinmeyen olarak alınmasına açıkça karar verilmediği durumlarda (8.34) doğrusal hipotezi oluşturulur. Deformasyon analizinde (8.34) sıfır hipotezi değişik periyotlarda gözlenen eşlenik ağ noktalarının koordinatları arasındaki farkların sıfıra eşit olduğunu, başka bir deyişle ağın herhangi bir noktasında hareket olmadığını varsayan koşul denklemleri biçimindedir.

(8.34) doğrusal hipotezinin oluşturulan dengeleme modeliyle uyumlu olup olmadığı sorusu F-testine göre yanıtlanır. Sıfır hipotezi geçerli ise (8.33) yerine dengeleme modeli bilinmeyenleri arasında koşul denklemleri bulunan

$$\begin{aligned} \ell + v_H &= A x_H, \quad C_{11} = \sigma_0^2 Q_{11} \\ B x_H &= w \end{aligned} \quad (8.35)$$

Denklem sistemi biçiminde tanımlanır. (8.33) dengeleme modelinden bilinmeyen parametreler x ve düzeltmelerin kareleri toplamı Ω için

$$x = N - A^T P \ell, \quad N = A^T P A \quad (8.36)$$

$$\Omega = (1 - Ax)^T p (1 - Ax) = v^T P v \quad (8.37)$$

çözümleri elde edilir.

Bilinmeyenleri arasında koşul denklemleri bulunan dolaylı ölçüler dengelemesine ilişkin çözüm yollarında gidilerek (8.35) modelinden bilinmeyenler vektörü x_H ve düzeltmelerin kareleri toplamı Ω_H için bulunacak çözüm eşitliklerinde (8.36) ve (8.37) bağıntıları göz önünde tutulursa H_0 hipotezinin etkisini gösteren

$$x_H = x - N^{-1} B^T (BN^{-1} B^T)^{-1} (Bx - w) \quad (8.38)$$

ve

$$R = (Bx - w)^T (BN^{-1} B^T)^{-1} (Bx - w) \quad (8.39)$$

ile

$$\Omega_H = \Omega + R \quad (8.40)$$

eşitlikleri elde edilir.

R büyüklüğü, sıfır hipotezi nedeniyle (8.33) dengeleme modeline göre bulunan Ω daki değişim ya da artım miktarıdır. Datum defekti d , ölçü sayısı n , bilinmeyen sayısı u , serbestlik derecesi $f = n - u$ ve dış merkezlik parametresi λ olmak üzere (8.33)'den bulunacak Ω için χ^2 -dağılımı,

$$\frac{\Omega}{\sigma_0^2} \approx \chi^2(f, \lambda) \quad (8.41)$$

geçerlidir. Ölçüler normal dağılımlı ve (8.33) modeli doğru ise dış merkezlik parametresi sıfıra eşittir ($\lambda = 0$).

R büyüklüğü için serbestlik derecesi h, (8.39) eşitliğine göre

$$h = rg(BN^{-1}B^T) \quad (8.42)$$

dir. (125) sıfır hipotezi geçerli; $E(Bx - w) = 0$ ise R büyüklüğüne ilişkin dış merkezlik parametresi λ_H sıfıra eşittir ($\lambda_H = 0$). R için de genel olarak χ^2 -dağılımı,

$$\frac{R}{\sigma_0^2} \approx \chi^2(h, \lambda_H) \quad (8.43)$$

geçerlidir.

H_0 hipotezini test etmek için test büyüklüğü olarak, birbirinden bağımsız χ^2 -dağılımlı (8.41) ve (8.43) büyüklüklerinin F-dağılımlı oranı,

$$F = \frac{R/h}{\sigma_0^2/f} \approx F(h, \lambda_H) \quad (8.44)$$

oluşturulur. α yanılma olasılığı olmak üzere H_0 hipotezi için

$$P(F > F_{h,f,1-\alpha}) = \alpha \quad (8.45)$$

olasılık eşitliği geçerlidir. Uygulamada (8.44) oranı, $1 - \alpha$ istatistik güveni için F-dağılımının h ve f serbestlik derecelerine karşılık sınır değerinden daha büyük çıkarsa H_0 doğrusal hipotezi reddedilir (Demirel 1987).

8.4 Deformasyon Analizinde Doğrusal Hipotez Testi (Global Test)

Değişik periyotlarda geometrisi aynı kalan bir konum ağında t_1 ve t_2 zamanlarında yapılan ölçüler l_1 ve l_2 , düzeltmeler v_1 ve v_2 , fonksiyonel modelde katsayılar matrisleri A_1 ve A_2 , koordinat bilinmeyenlerinin tahmin değerleri x_1 ve x_2 ile gösterilir ve periyotlara ilişkin bilinmeyenler arasında bir fonksiyonel ilişki olmadığı varsayılırsa dengeleme modeli,

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (8.46)$$

düzeltilme denklemleri ve değişik periyotların ölçüleri arasında korelasyon yoksa

$$C_{11} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 \\ 0 & Q_{22} \end{bmatrix} \quad (8.47)$$

varyans-kovaryans matrisleriyle tanımlanır.

Her iki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığı sorusunu yanıtlamak için, (8.34) doğrusal hipotezi her iki periyot arasında eşlenik nokta koordinatlarının değişmediğini öngören

$$H_0 : [-I \ I] \begin{bmatrix} E(x_1) \\ E(x_2) \end{bmatrix} = 0 \quad (8.48)$$

denklem sistemi biçimindedir ($B = [-I \ I]$, $w = 0$).

(8.46) modeline göre dengeleme, periyotlar için birbirinden bağımsız iki dengelemeye ayrılır. Dengeleme sonucu olarak,

$$x_1 = Q_{x_1x_1} A_1^T P l_1, \quad Q_{x_1x_1} = N_{11}^+ = (A_1^T P A_1)^+ \quad (8.49)$$

$$x_2 = Q_{x_2x_2} A_2^T P l_2, \quad Q_{x_2x_2} = N_{22}^+ = (A_2^T P A_2)^+ \quad (8.50)$$

$$\Omega = v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2, \quad (\sigma_{01}^2 = \sigma_{02}^2 = \sigma_{02}^2) \quad (8.51)$$

$$m_0^2 = \Omega / f, \quad f = n_1 + n_2 - 2u + 2d \quad (8.52)$$

elde edilir. (8.46) modeli (8.48) doğrusal hipotez birlikte değerlendirildiğinde iki periyot arasındaki koordinat farkları,

$$d = x_2 - x_1 \quad (8.53)$$

ve bunlara ilişkin ağırlık katsayıları matrisi,

$$Q_{dd} = Q_{x_1x_1} + Q_{x_2x_2} \quad (8.54)$$

olmak üzere (8.39) eşitliğinden

$$R = d^T Q_{dd}^+ d \quad (8.55)$$

çıkar. Her iki periyotta ağ geometrisi ve serbest datum parametreleri aynı (sayısı d) ise R'nin serbestlik derecesi,

$$h = rg(Q_{x_1x_1}) = rg(Q_{x_2x_2}) = u - d \quad (8.56)$$

olur. (8.46) doğrusal hipotezini test etmek için (8.48) test büyüklüğü,

$$F = \frac{R/h}{\Omega/f} = \frac{d^T Q_{dd} d}{m_0^2 h} \quad (8.57)$$

ve (8.45) olasılık eşitliği geçerlidir. Buna göre, $F > F_{h,f,1-\alpha}$ çıkarsa ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu sonucuna varılır (Demirel 1987).

8.5 S-Transformasyonu Yardımıyla Global Test

Global test belli bir ağ kesimindeki nokta kümelerinde, birbirlerine göre herhangi bir düşey hareket olup olmadığının açığa çıkarılması için kullanılabilir. Bu durumda iki peryot ölçülerinin birlikte dengelenmesinde test edilecek küme noktalarına tek kalan noktalara çift numara verilmekte yani noktaların 1. ve 2. peryotlarda ayrı noktalar oldukları varsayılmaktadır.

Test sonucu bu noktaların hareketsiz olarak kabul edilebileceklerini gösteriyorsa, bu defa kalan noktaların bu dengeleme ile bulunan yükseklik farklarının yükseklik değişimi mi yoksa raslantısal bir fark mı olup olmadığının test edilmesi gerekir (Yalın, Aksoy 1993).

t_1 ve t_2 zamanlarında gözlenen ağ geometrileri farklı ise global test, yalnızca eşlenik noktalardan oluşan ağ bölümlerini kapsar. Her iki ağda eşlenik noktalar datum noktaları olarak öngörülerek, yalnızca koordinat bilinmeyenlerinin bu noktalar ilişkin bölümünün normu ve bunlara ağırlık katsayıları matrisinin izi minimum yapılır. Başka bir deyişle, t_1 ve t_2 zamanlarında ölçülen ağlar eşlenik noktalara göre konumlandırılır.

Anlamlı nokta hareketlerinin araştırılmasında da sürekli datum değişikliği zorunlu olduğundan karşılaştırılacak ağları önce herhangi bir datumda, örneğin defekt sayısı kadar parametreyi sabit alarak ayrı ayrı (klasik) dengelemek ve sonuçları istenen datumlara dönüştürmek kolaylık sağlar.

t_v zamanında ölçülen bir ağda “e” ile tanımlanan eşlenik (datum) noktaların koordinatları ilk sırada, “b” ile tanımlanan diğer noktaların koordinatları ve başka bilinmeyenler ikinci sırada olmak üzere herhangi bir i datumunda serbest dengelemeyle belirlenmiş olsun. Buna göre, i datumuna ilişkin x_i parametreler vektörü

$$x_i = \begin{bmatrix} x_e^i \\ x_b^i \end{bmatrix} \quad (8.58)$$

biçiminde iki alt vektöre ayrılır. Bu ayrıma karşılık ağırlık katsayıları matrisi,

$$Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{ee}^i & Q_{eb}^i \\ Q_{be}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} \quad (8.59)$$

olur. (8.8)'ya göre datum seçici E matrisi köşegeni üzerinde ilk sırada datum noktalarına karşılık “1”, öteki bilinmeyen parametreler için “0” değerlerini içermesi gerektiğinden,

$$G = \begin{bmatrix} G_e \\ G_b \end{bmatrix}, B_j = E_j G = \begin{bmatrix} G_e \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8.60)$$

olmak üzere (8.25) eşitliğine göre

$$S_j = I - G(B_j^T G)^{-1} B_j^T \quad (8.61)$$

transformasyon matrisiyle i datumundan ağın eşlenik noktalara göre konumlandırılmasını sağlayan j datumuna (8.27) ve (8.31) eşitlikleriyle geçilir:

$$x_i = \begin{bmatrix} x_e^j \\ x_b^j \end{bmatrix} = S_j \begin{bmatrix} x_e^i \\ x_b^i \end{bmatrix}, Q_{xx}^j = \begin{bmatrix} Q_{ee}^j & Q_{eb}^j \\ Q_{be}^j & Q_{bb}^j \end{bmatrix} = S_j Q_{xx}^i S_j^T \quad (8.62)$$

(8.23)'a göre kısmi iz minimum; $(x_e^j)^T (x_e^j) = \min$ ve $\text{iz}(Q_{ee}^j) = \min$ özellikleri geçerlidir.

(8.58)-(8.62) işlemleri 1. ve 2. periyotlar için ayrı ayrı yapılarak aynı bir j datumunda eşlenik noktaların $(x_e^j)_1$ ve $(x_e^j)_2$ koordinat bilinmeyenleri ile bunların $(Q_{ee}^j)_1$ ve $(Q_{ee}^j)_2$ ağırlık katsayıları matrisleri bulunur.

Eşlenik noktaların global testi için (8.53)-(8.57) eşitliklerine uygun olarak,

$$H_0 : E(x_{e1}^j) = E(x_{e2}^j) \quad (8.63)$$

$$d_e = x_{e2}^j - x_{e1}^j \quad (8.64)$$

$$(Q_{dd})_e = (Q_{ee}^j)_1 + (Q_{ee}^j)_2 \quad (8.65)$$

$$R_e = d_e^T (Q_{dd})_e^+ d_e \quad (8.66)$$

ve R_e nin serbestlik derecesi $h_e = u_e - d$ ile

$$F = \frac{R_e}{m_0^2 h_e} \quad (8.67)$$

Test büyüklüğü elde edilir. $F > F_{h_e, f, 1-\alpha}$ çıkarsa ağın eşlenik noktalardan oluşan bölümünde bir deformasyon olduğuna karar verilir.

Objeye noktaları sabit kabul edilen dış noktalara bağlanan kontrol ağlarında, objeye noktaları x_b alt vektörü içinde düşünülerek bağlantı noktalarının yer değiştirip değiştirmediği yukarıda açıklanan yöntemle açığa kavuşturulabilir (Demirel 1987).

8.6 S-Transformasyonu Yardımıyla Anlamli Nokta Hareketlerinin Araştırılması

Global test sonucunda ağın tümünün yada eşlenik noktalar bölümünün herhangi bir bölümünün herhangi bir yerinde deformasyon olduğuna karar verilmişse hareketli noktaların araştırılmasına geçilir. Eşlenik noktalardan her birinin yer değiştirmiş olabileceği düşünülerek i datumunda serbest dengeleme ile belirlenmiş bir periyoda ilişkin (8.58) parametreler vektörünün eşlenik nokta koordinatlarını 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 (8.58) vektörü ve (8.59) ağırlık katsayıları matrisi ,

$$x^i = \begin{bmatrix} x_s^i \\ x_h^i \\ x_b^i \end{bmatrix}, \quad Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{ss}^i & Q_{sh}^i & Q_{sb}^i \\ Q_{hs}^i & Q_{hh}^i & Q_{hb}^i \\ Q_{bs}^i & Q_{bh}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} \quad (8.68)$$

olur.

t_v zamanında ölçülen ağ şimdi koordinatları x_s içinde toplanan ve sabit kabul edilen noktalara göre konumlandırılmalıdır. Bu datum k ile gösterilirse (8.68) ayırımına uygun olarak (8.60) yerine

$$G = \begin{bmatrix} G_s \\ G_h \\ G_b \end{bmatrix}, \quad B_k = E_k G = \begin{bmatrix} G_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8.69)$$

ile (8.61)'den S_k transformasyon matrisi bulunmalı ve her periyot için

$$\begin{pmatrix} x_s^k \\ x_h^k \\ x_b^k \end{pmatrix} = S_k \begin{pmatrix} x_s^i \\ x_h^i \\ x_b^i \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} Q_{ss}^k & Q_{sh}^k & Q_{sb}^k \\ Q_{hs}^k & Q_{hh}^k & Q_{hb}^k \\ Q_{bs}^k & Q_{bh}^k & Q_{bb}^k \end{pmatrix} = S_k \begin{pmatrix} Q_{ss}^i & Q_{sh}^i & Q_{sb}^i \\ Q_{hs}^i & Q_{hh}^i & Q_{hb}^i \\ Q_{bs}^i & Q_{bh}^i & Q_{bb}^i \end{pmatrix} S_k^T \quad (8.70)$$

transformasyonları yapılmalıdır. Sabit kabul edilen noktaların ya da

$$H_0 : E(x_{s1}^k) = E(x_{s2}^k) \quad (8.71)$$

sıfır hipotezinin testi için (8.64)-(8.66) eşitliklerine uygun olarak iki periyoda ilişkin x_s alt vektörünün d_s koordinat farkları

$$d_s = x_{s2}^k - x_{s1}^k \quad (8.72)$$

bunların ağırlık katsayıları matrisi,

$$(Q_{dd})_s = (Q_{ss}^k)_1 + (Q_{ss}^k)_2 \quad (8.73)$$

ve düzeltmelerin kareleri toplamı için artım miktarı,

$$R_s = d_s^T (Q_{dd})_s^+ d_s \quad (8.74)$$

elde edilir. (8.68)-(8.39) işlemleri x_e alt vektöründeki noktalardan her biri için yinelenerek her defasında x_s ve x_h ayırımına karşılık bir R_s değeri bulunur. Global test sonucu ağı her hangi bir yerinde deformasyon olduğuna karar verilmiş ise,

$$(R_s)_{\min} = \min(R_{s,i}, \quad i = 1, p) \quad (8.75)$$

(p eşlenik nokta sayısı) değerli noktadaki hareket anlamlı görülür. (8.67)'a göre

$$F = \frac{(R_s)_{\min}}{m_0^2 h_s} \quad (8.76)$$

test büyüklüğü $F_{h_s, f, 1-\alpha}$ sınır değerinden büyük çıkıyorsa $(R_s)_{\min}$ değerli nokta x_b vektörü içine alınır ve geri kalan eşlenik nokta kümesi için (8.68)-(8.76) işlem adımları aynen tekrarlanarak öteki hareketli noktaların araştırılması sürdürülür (Demirel,1987) .



Şekil 9. 2 Dicle Barajından Görüntüler

Mikrojeodezik ölçüm ağı; 5 adet pilye ile 21 adet obje noktasından oluşmaktadır. Ağda Şubat 1998, Temmuz 1998, Şubat 2000 olmak üzere 3 periyotluk ölçüm yapılmıştır.

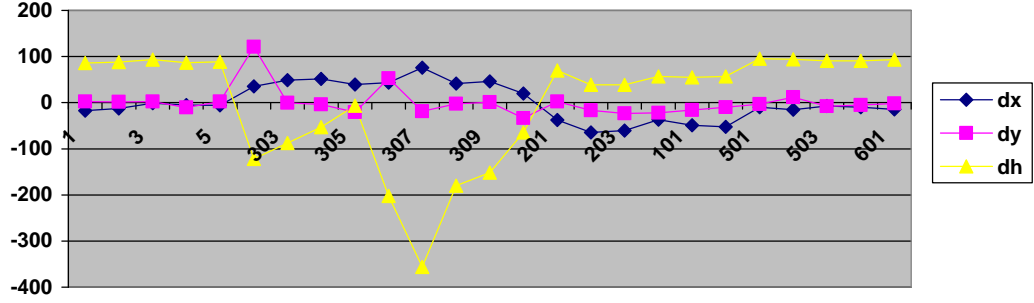
Şubat 1998 ölçümünde doğrultular ve düşey açılar Wild T2 aleti ile, kenarlar ise Leica TC 1700 aleti ile ölçülmüş; Temmuz 1998 ve Şubat 2000 ölçmelerinde ise tüm gözlemlerde Leica TC 1700 kullanılmıştır. Pilyeler çift yönlü, objeler ise tek yönlü olarak; kenarlar wild standart prizmasına, açılar ise wild targetine ile gözlenmiştir. Doğrultu gözlemleri ve düşey açı ölçümleri genel olarak 2 tam dizi şeklinde gözlenmiş, birim ölçünün ortalama hatasının 3^{cc} den büyük olması durumunda 3. dizi yapılmıştır

Mikrojeodezik deformasyon ağında yapılan ölçümler konum ağının ve trigonometrik yükseklik ağının analizi olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

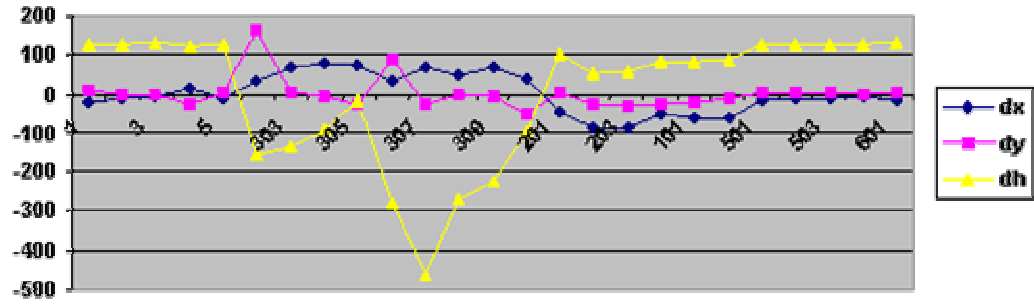
Ağa ait ölçülerin serbest dengeleme dengeleme sonuçları tablo 9.1'de verilmiştir.

Tablo 9.1 Periyot Ölçülerinin Serbest Dengelenmesi Sonucu Şubat 1998 Periyoduna Göre Elde Edilen Kot ve Koordinat Farkları

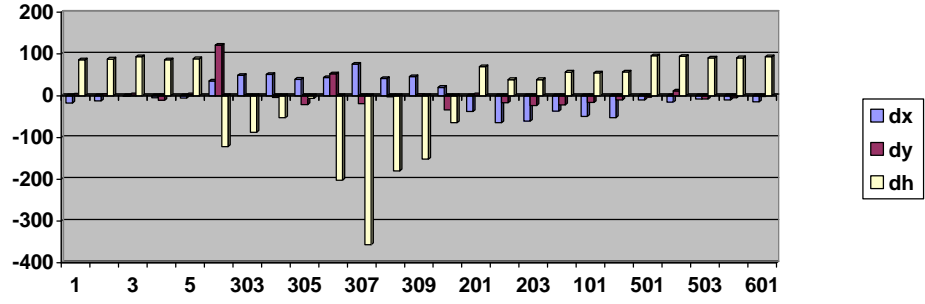
Nokta No	Şubat 1998 – Temmuz				Şubat 1998 – Şubat 2000				Açıklamalar
	<i>dx</i>	<i>dy</i>	<i>ds</i>	<i>dh</i>	<i>dx</i>	<i>dy</i>	<i>ds</i>	<i>dh</i>	
1	-17.3	2.0	17.4	86.0	-21.2	9.2	23.1	124.9	REFERANS NOKTALARI
2	-12.5	1.3	12.6	87.8	-11.8	-0.8	11.8	127.2	
3	-1.2	2.2	2.5	93.7	-5.7	-0.8	5.8	130.9	
4	-5.0	-10.8	11.9	86.3	10.6	-28.9	30.8	120.1	
5	-5.6	2.3	6.1	88.6	-10.1	5.0	11.3	128.5	
301	35.3	120.9	125.9	-121.6	34.1	158.2	161.8	-156.5	KRET MANSAP TARAFI
303	48.8	-0.4	48.8	-87.3	68.0	1.3	68.0	-136.4	
304	51.2	-3.9	51.3	-52.8	76.8	-6.2	77.0	-89.4	
305	39.5	-20.9	44.7	-6.3	70.7	-28.6	76.3	-18.7	
306	43.5	52.7	68.3	-202.1	33.9	84.9	91.4	-276.8	KRET MEMBA TARAFI
307	75.6	-18.8	77.9	-356.4	67.6	-28.7	73.4	-462.8	
308	41.1	-2.3	41.2	-179.74	48.1	-3.3	48.2	-267.1	
309	45.9	0.8	45.9	-151.8	65.4	-7.5	65.8	-222.8	
310	20.1	-33.7	39.2	-64.7	35.6	-53.2	64.0	-96.2	MANSAP ŞEVİ 1. SIRA
201	-37.8	2.2	37.9	69.8	-48.7	4.9	48.8	102.0	
202	-64.4	-16.8	66.6	38.6	-88.0	-24.9	91.5	52.2	
203	-60.6	-23.1	64.9	38.6	-87.7	-31.2	93.1	57.2	
204	-37.1	-21.8	43.0	56.6	-50.5	-24.5	56.1	80.6	MANSAP ŞEVİ 2. SIRA
101	-49.2	-16.1	51.8	54.9	-61.9	-20.0	65.1	82.6	
102	-52.3	-9.7	53.2	57.0	-62.5	-13.2	63.9	84.3	DOLU SAVAK KÖPRÜSÜ VE SIÇRAMA EŞİĞİ
501	-10.2	-3.1	10.7	95.6	-14.5	4.8	15.3	126.0	
502	-15.4	11.5	19.2	94.0	-13.9	3.5	14.3	126.5	
503	-7.5	-7.7	10.7	90.4	-12.9	1.2	13.0	127.4	
504	-10.2	-4.9	11.3	90.9	-4.6	-3.6	5.8	126.2	ENERJİ GİRİŞİ
601	-14.6	-1.9	14.7	93.7	-16.9	2.6	17.1	129.5	



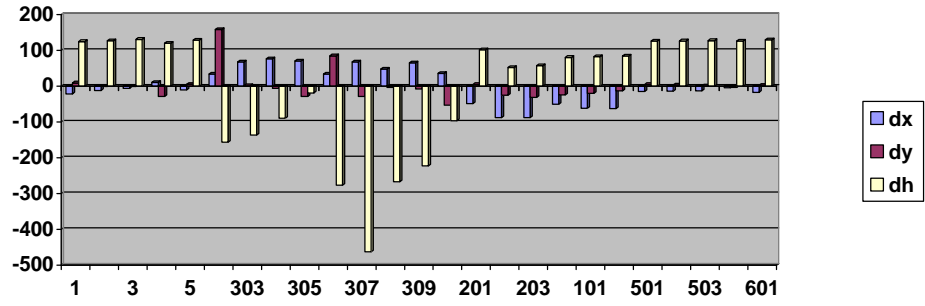
Şekil 9. 3 Şubat 1998-Temmuz 1998 Dönemi Kot ve Koordinat Değişimi



Şekil 9. 4 Şubat 1998-Şubat 2000 Dönemi Kot ve Koordinat Değişimi



Şekil 9. 5 Şubat 1998-Temmuz 1998 Dönemi Kot ve Koordinat Değişimi



Şekil 9. 6 Şubat 1998-Şubat 2000 Dönemi Kot ve Koordinat Değişimi

9.1 Yatay Yöndeki Hareketlerin Belirlenmesi

Şubat 1998 ile Temmuz 1998 dönemlerine ait ölçülerin karşılaştırılmasında, her döneme ait ölçüler ayrı ayrı serbest dengelenmiş ve Pope yöntemiyle uyumsuz ölçüler ayıklanmıştır. Test sonucunda Temmuz 1998 dönemine ait 5-3 doğrultusu ile 3-4 kenarının uyumsuz olduğu sonucuna varılmıştır. Uyumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra ağın bütünü için Global test yapılmış ve $F_{\text{test}}=279.897$ ve $F_{\text{tablo}}=1.477$ olarak hesaplanmıştır. $F_{\text{test}}>F_{\text{tablo}}$ olduğundan ağda deformasyon olduğu sonucuna varılmıştır. Daha sonra ağ sabit ve obje noktaları olarak ikiye ayrılmış, ağın sabit bölümü için Global test yapılmıştır. Bu test sonucunda $F_{\text{test}} =18.328$ ve $F_{\text{tablo}} =2.095$ olarak hesaplanmıştır. $F_{\text{test}}>F_{\text{tablo}}$ olduğu için sabit noktalardaki deformasyonların yerelleştirmesine geçilmiştir. Yerelleştirme sonucunda 4 ve 1 noktalarında %95 ihtimalle anlamlı deformasyona rastlanmıştır. Daha sonra bu noktalar obje noktaları içine alınıp deformasyonların yerelleştirmesine devam edilmiştir. Yerelleştirme sonucunda deformasyona uğrayan noktalar; 301, 310, 309, 307, 303, 304, 305, 308, 306, 202, 101, 203, 102, 201, 4, 204, 502, 503, 504, 601, 1 sırasında hesaptan çıkarılmıştır.

Şubat 1998 ile Şubat 2000 dönemlerine ait ölçüler içinde benzer işlemler tekrarlanmıştır. Ağın bütünü için yapılan Global testte $F_{\text{test}} =324.573$ ve $F_{\text{tablo}} =1.483$ olarak hesaplanmıştır. $F_{\text{test}}>F_{\text{tablo}}$ olduğundan ağda deformasyon olduğu sonucuna varılmıştır. Daha sonra ağ sabit ve obje olarak ikiye ayrılmış ve ağın sabit bölümü için Global test yapılmıştır. Test sonucunda $F_{\text{test}} =159.940$ ve $F_{\text{tablo}} =2.094$ olarak elde edilmiştir. $F_{\text{test}}>F_{\text{tablo}}$ olduğu için sabit noktalardaki deformasyonların yerelleştirmesine geçilmiş, yerelleştirme sonucunda 2 ve 4 noktalarında %95 ihtimalle anlamlı deformasyona rastlanmıştır. Sonrasında bu noktalar obje noktalarına dahil edilip deformasyonların yerelleştirmesine devam edilmiştir. Yerelleştirme sonucunda deformasyona uğrayan noktalar; 2, 301, 304, 303, 305, 4, 202, 203, 101, 306, 201, 102, 307, 310, 309, 308, 204 sırasında hesaptan çıkarılmıştır. Yatay yöndeki defromasyon araştırması sonuçları Tablo 9.2 de verilmiştir.

Tablo 9. 2 Yatay Yöndeki Deformasyon Araştırması Sonuçları

NOKTA NO	ŞUBAT 1998-TEMMUZ 1998	ŞUBAT 1998- ŞUBAT 2000
1	Deformasyon Var	Deformasyon Yok
2	Deformasyon Yok	Deformasyon Var
3	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
4	Deformasyon Var	Deformasyon Var
5	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
101	Deformasyon Var	Deformasyon Var
102	Deformasyon Var	Deformasyon Var
201	Deformasyon Var	Deformasyon Var
202	Deformasyon Var	Deformasyon Var
203	Deformasyon Var	Deformasyon Var
204	Deformasyon Var	Deformasyon Var
301	Deformasyon Var	Deformasyon Var
303	Deformasyon Var	Deformasyon Var
304	Deformasyon Var	Deformasyon Var
305	Deformasyon Var	Deformasyon Var
306	Deformasyon Var	Deformasyon Var
307	Deformasyon Var	Deformasyon Var
308	Deformasyon Var	Deformasyon Var
309	Deformasyon Var	Deformasyon Var
310	Deformasyon Var	Deformasyon Var
501	Deformasyon Var	Deformasyon Yok
502	Deformasyon Var	Deformasyon Yok
503	Deformasyon Var	Deformasyon Yok
504	Deformasyon Var	Deformasyon Yok
601	Deformasyon Var	Deformasyon Yok

9.2 Düşey Yöndeki Deformasyonların Belirlenmesi

Ağda Şubat 1998 ile Temmuz 1998 dönemlerine ait ölçülerin karşılaştırılmasında her döneme ait ölçülerin dengelemesinde yükseklik farkları kullanılmış ve ölçü ağırlıkları $P=1/S_{km}^2$ alınmıştır. Ağın serbest dengelenmesi ve uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması sonucunda Şubat 1998 dönemine ait 5-2 yükseklik farkı uyuşumsuz çıkmıştır. Ağın bütünü için Global test yapılmış ve $F_{test} = 3758.571$ ve $F_{tablo} = 1.681$ olarak hesaplanmıştır. $F_{test} > F_{tablo}$ olduğundan ağda deformasyon olduğu sonucuna varılmış, ağ sabit ve obje olarak ikiye ayrılmıştır. Ağın sabit bölümü için yapılan Global test sonucunda $F_{test} = 3.169$ ve $F_{tablo} = 2.509$ olarak hesaplanmıştır. $F_{test} > F_{tablo}$ olduğundan sabit noktalarda deformasyon yerleştirme sonucunda 4 nolu noktada %95 olasılıkla anlamlı deformasyon rastlanmıştır. Daha sonra bu nokta obje noktaları içine alınarak deformasyon yerleştirmesine geçilmiş, deformasyona uğrayan noktalar ;307, 308, 309, 310, 301, 306, 303, 304, 305, 202, 203, 101, 102, 204, 201, 4, 601, 502 sırasında hesaptan çıkarılmıştır.

Şubat 1998 ve Şubat 2000 dönemlerine ait ölçüler içinde benzer işlem adımlarından geçilerek ağın tamamı için Global test yapıldığında $F_{test} = 7419,258$ ve $F_{tablo} = 1.681$ bulunmuştur. $F_{test} > F_{tablo}$ olduğundan ağda deformasyon olduğuna karar verilmiş ve ağın sabit ve obje noktalarından oluşan sabit bölümü için, $F_{test} = 17.897$ ve $F_{tablo} = 2.509$ olarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda $F_{test} > F_{tablo}$ olduğu için sabit noktalarda deformasyon yerleştirilmesine geçilmiştir. Yerleştirme sonucunda 4 nolu noktada %95 ihtimalle anlamlı deformasyona rastlanmıştır. Objeye noktaları içine alınan 4 noktaysıyla beraber deformasyon yerleştirmesine devam edilmiştir. Yerleştirme sonucunda deformasyona uğrayan noktalar 307, 309, 310, 308, 301, 306, 303, 304, 305, 202, 203, 101, 102, 204, 201, 4 sırasında hesaptan çıkarılmıştır. Düşey yöndeki deformasyon araştırması sonuçları Tablo 9.3 de verilmiştir.

Tablo 9. 3 Düşey Yöndeki Deformasyon Araştırması Sonuçları

NOKTA NO	ŞUBAT 1998-TEMMUZ 1998	ŞUBAT 1998- ŞUBAT 2000
1	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
2	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
3	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
4	Deformasyon Var	Deformasyon Var
5	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
101	Deformasyon Var	Deformasyon Var
102	Deformasyon Var	Deformasyon Var
201	Deformasyon Var	Deformasyon Var
202	Deformasyon Var	Deformasyon Var
203	Deformasyon Var	Deformasyon Var
204	Deformasyon Var	Deformasyon Var
301	Deformasyon Var	Deformasyon Var
303	Deformasyon Var	Deformasyon Var
304	Deformasyon Var	Deformasyon Var
305	Deformasyon Var	Deformasyon Var
306	Deformasyon Var	Deformasyon Var
307	Deformasyon Var	Deformasyon Var
308	Deformasyon Var	Deformasyon Var
309	Deformasyon Var	Deformasyon Var
310	Deformasyon Var	Deformasyon Var
501	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
502	Deformasyon Var	Deformasyon Yok
503	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
504	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
601	Deformasyon Var	Deformasyon Yok

10 SONUÇ VE ÖNERİLER

Deformasyon ölçmeleri ve analizinden oluşan deformasyon araştırması süreci uygulamaya yönelik ve deneysel istemlerden oluşan toplumsal bir gereksinimdir. Depremlerin ilk belirtilerinin ve yapılarındaki yetersizlik işaretlerinin saptanması için yapılan kontrol ölçümleriyle uygulamaya ilişkin talepler karşılanmaya çalışılır. Deneysel süreçte ise deformasyonların ortaya çıkış nedenleri incelenerek en uygun yapı tasarımının gerçekleştirilmesi sayesinde yapı güvenliğinin sağlanması ve depremlerin önceden tahmin edilmesi amaçlanır. Bu istemlerin karşılıklı etkileşimi konu ile ilgili meslekler arasında yakın işbirliğinin kurulmasını gerektirir.

İnsan yapımı yapıların güvenliği, ekonomik olarak tasarlanmaları, yapısal elemanların etkin bir şekilde çalışması ve uyumları, çevreye daha az zarar verici sistemlerin geliştirilmesi, deformasyona konu objelerin uygun yöntemlerle izlenmesi ve analizi deformasyon mekanizmasının ve deformasyona neden olan etkenlerin bilinmesini gerektirir.

Hem büyüklük hem de önem arzemesi bakımından üzerinde en çok çalışılan yapılardan olan barajlar, kuruluşundan itibaren kati surette gözetim altında tutulması gereken yapıların başında gelmektedir. Geçmişten günümüze barajların ihmali sonucu oluşmuş pek çok kazaya rastlanılmaktadır. Yine de baraj güvenliğine ilişkin yasal prosedürün, özellikle yakından izleme sürecinin gelişmiş ülkelerde bile hala tam olmadığı görülmektedir.

Bu çalışmada S transformasyonu ile yapılan analiz sonucunda konum ağı için Şubat 1998-Temmuz 1998 döneminde referans noktalarının bir tanesinde, obje noktalarının ise tamamında; Şubat 1998-Şubat 2000 döneminde referans noktalarının 2 tanesinde, obje noktalarının ise onbeş tanesinde yatay yönde deformasyon olduğu sonucuna varılmıştır.

Trigonometrik yükseklik ağı için Şubat 1998-Temmuz 1998 döneminde referans noktalarının bir tanesinde, obje noktalarının ise on yedi tanesinde; Şubat 1998-Şubat 2000 döneminde referans noktalarının bir tanesinde, obje noktalarının ise onbeş tanesinde düşey yönde deformasyon olduğu sonucuna varılmıştır.

Bir jeodezik ağın ölçüler yardımıyla belirlenen konumu ile koordinat sistemi arasında bağlantı kurma işlemi yada normal denklemlerin çözümü datum problemini oluşturur. Bu datum problemini geçmenin en uygun yollarından biri S-transformasyonu ile deformasyon analizinin yapılmasıdır. Bazı analiz metotlarında sabit noktaların analize başlanmadan önce belirlenmesi, belirlenen noktanın sabit olmadığı sonucuyla karşılaşırsa işleme yeni baştan başlanması gibi problemlerle karşılaşıırken, yapılacak analiz çalışmalarında S-transformasyonu ile deformasyon analiz yöntemi bu ve benzeri problemleri elimine etme şansını vermektedir.

Tüm serbest dengeleme sonuçları S-transformasyonu ile birbirine dönüştürülebilir, başka bir deyişle yeni bir dengelemeye gerek olmadan bir datumdan istenen başka bir datuma geçilebilir. Böylelikle daha fazla ölçü daha kısa sürede analiz edilebilir.

Baraj deformasyonu gibi hassas bir çalışmada , dünyanın birçok ülkesinde bazı önemli mühendislik yapıları üzerine günlük sıcaklık değişiminin araştırıldığı bir zamanda, ülkemizde bu türden önemli yapılar üzerinde zamanla ortaya çıkabilecek hareketlerin izlenip belirlenememesi önemli bir eksikliklerdir. Bu ve benzeri araştırmalarda istenen yüksek doğruluğa ulaşmada, presizyonu yüksek aletlerin kullanılması, ağların tasarımında etkili hata kaynaklarının yeterince dikkate alınması ve ölçmelerin uzman bir ekip tarafından yapılması son derece önem taşımaktadır.

11 KAYNAKLAR

Algül,E., Deniz,R.,Yalın,D.,Arslan,E.,”1989, Alibey Barajı 1987-1988 Yılı Yatay-Düşey Deformasyon Araştırması Sonuçları”, Türkiye II.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

Aydın,Ö., Erkaya,H., Hoşbaş,G., Gülal,E., Soycan,M., Pala,H., İter,B.,2003, “Fatih Cami’sinde Deformasyon Ölçmeleri”, 1.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 80-91, İstanbul

Barışkaner,A.,1981,”Geodezik Deformasyon Ölçülerinin Analizi”,Konya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Harita ve Kadastro Bölümü,Konya

Barışkaner,A.,1989,”Büyük Yapıların Deformasyon Ölçüleri”,Türkiye II.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası,Ankara

Bayrak,T., Yalçınkaya,M.,2001, “Heyelanların Dinamik Deformasyon Modeli İle Belirlenmesi”, 8.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

Bektaş,S.,Doğan,S.,1998,”Nivelman Ağlarında Uyuşumsuz Noktaların Belirlenmesi”,Harita Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi,Sayı 84, Ankara

Bruijine de,A., Kenselaar,F., Kleijer,F.,2001, “Kinematic Deformation Analysis Of The First Order Benchmarks In The Netherlands”, Survey Department, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Delft University of Tecnology ,Department of Mathematical Geodesy and Positioning, Delft , The Netherlands

Çakır,S.,2004, "Deformasyon Modelleri", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Seminer Çalışması, 31 s, Konya

Demirel,H.,1987, "S-Transformasyonu ve Deformasyon Analizi", Türkiye I.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, s.593-608, Ankara

Demirkaya.S.,1993, "Deformasyon Analizine Bütüncül Bir Yaklaşım", Prof.Dr.H.Wolf Jeodezi sempozyumu, YTÜ, İstanbul

Demirkaya,S.2005, "Bir Kemer Barajdaki Yatay Konum Değişimlerinin Fiziksel Yorumu", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası X.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

Dilaver,A., Karaali,C,1989, "Yerel Ağların Üç Boyutlu Dengelenmesi", Türkiye II.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası,Ankara

Gülal,E.,1998, "Kalman Filtreleme Tekniğinin Deformasyon Analizinde Uygulanması" YTÜ ,İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, İstanbul

Gülal,E., Erkaya,H., Hoşbaş,R.G., Ersoy,N.,2003, "Toprak Dolgu Barajlarda Deformasyon Ölçmeleri, Alibey Barajı Örneği", 1.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 151,159, İstanbul

Gürkan, O., Özener, H., Doğru, A. G., Yılmaz, O., Turgut, B.,2005, "Tektonik Deformasyonların Jeodezik Ölçme Teknikleri İle İzlenmesi(Kafz Batı Kesimi Çalışmaları)", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası X.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

Hekimoğlu,Ş.,Ayan,T., Aktaş,A.O., 1993,”Birden Fazla Uyuşumsuz Ölçünün Robust Kestirim Yöntemleriyle Tanısı ve Uyuşumsuz Ölçü Testleriyle Belirlenmesi”, Prof.Dr.H.Wolf Jeodezi sempozyumu, İTÜ,YTÜ, İstanbul

Hoşbaş,R.G., Erkaya,H., Gülal,E.,2003, “Baraj Deformasyonlarının Üç Boyutlu Geometrik Modelle İrdelenmesi”, 1.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 160-179, İstanbul

İnal,C., Ceylan,A.,2003, “Modern Yükseklik Belirleme Teknikleri ve Doğrulukların Karşılaştırılması”, II. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 399-412, İstanbul

İnal,C.,1989, “Dengelemede Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması”, S.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi, 4.cilt, 1.sayı, s.7-14, Konya

İnal,C.,2001, “Mühendislik Ölçmeleri”, S.Ü.M.M.F. Lisans Ders Notları, Konya

İnal,C.,2001, “Dengeleme Hesabı-3”, S.Ü. Lisans Ders Notları, Konya

İnal,C.,2003, “Dengelemede Özel Konular”, S.Ü.Yüksek Lisans Ders Notları, Konya

İnal,C.,2004, “Deformasyon Ölçülerinin Analizi”, S.Ü.Yüksek Lisans Ders Notları, Konya

Kalkan,Y.,Aklan,R.M.,2005,”Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri”,II. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 64-74, İstanbul

Özhan, N., N., 1994, “Deformasyon Ölçü Yöntemleri ve İstanbul Metrosu’nda Yapılan Deformasyon Ölçmeleri”, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, İstanbul

Taşçı,L., Gökalp,E.,2003, “Deformasyonların Belirlenmesinde İstatiksel Yaklaşım”, 1.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 134-142, İstanbul

Uzel,T., Demirkaya,S., Hoşbaş,G., 1989,” Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin Analiz ve Yorumunda delft Yaklaşımı (Geliştirilmiş B-Sınama Yöntemi)”, Türkiye II.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası,Ankara

Welsch,W.W., Heunecke,O.,2001, “Models and Terminology For the Analysis of Geodetic Monitoring Observations-Official Report of the Ad-Hoc Committee of FIG Working Group 6.1-“,Germany

Yılmaz, M., 1993, “Barajlarda Deformasyon Ölçmeleri ve Kullanılan Aletler”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 82 s, Yüksek Lisans tezi, İstanbul

Yalçınkaya,M.,Teke,K.,Bayrak,T.,2003, “Jeodezik GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Analizi”, 1.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 271-291, İstanbul

İnternet kaynakları

www.dsi.gov.tr