

# 2. BÖLÜM

## TEMEL BİLGİLER

### 2.1. Giriş

Yeryüzündeki bazı bölgeler ve mühendislik yapıları ile bunların yakın çevreleri geçici ya da kalıcı özellikte değişik faktörlerin etkisi altında bulunurlar. Bu faktörleri;

- Zeminin fiziksel özellikleri,
- Bölgedeki yer kabuğu hareketleri,
- Yapının kendi ağırlığı ve kullanılan malzemenin türü,
- Yapıya etkiyen hareketli dış yükler (Trafik yükü, rüzgar kuvveti vb)
- Jeolojik ve atmosferik birtakım etmenler ve
- Suyun dinamik basıncı

olarak sıralamak olanaklıdır. Bu faktörlerden dolayı bir bölgede, yapıda veya çevresinde oluşan şekil değişikliklerine genel anlamda deformasyon denilmektedir, ( E.Algöl 1983, V.Atasoy 1984 ).

Jeodezide bu kavram bölgede veya yapı üzerinde seçilen karakteristik bir  $P_i$  noktasının  $t_1$  ve  $t_2$  gibi iki farklı zamanda yapılan ölçüler sonucu konumu  $P_i(t_1)$  ve  $P_i(t_2)$  olarak belirlenebiliyor ve bu iki değer arasındaki fark olan  $d_i$ 'nin istatistik olarak sıfırdan farklı olduğu kanıtlanabiliyorsa deformasyon/deplasman diye tanımlanır.

Bir bölge, yapı veya çevresindeki geometrik şekil değişikliklerini belirlemek için yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri denir. Değişik zaman aralıkları ile yapılan ölçmelerin değerlendirilerek yer, zaman ve büyüklük parametrelerine bağlı olarak değişimlerin belirlenmesi ve yorumlanmasına da deformasyon analizi denilmektedir.

## 2.2. Deformasyon ölçmelerinin uygulama alanları

Deformasyon ölçmeleri mühendislik yapıları ve doğal objeler dahil çok farklı disiplinlerde gündeme gelebilir. Bunların kapsamlı olanlarından bazıları şunlardır;

**Mühendislik yapılarının inşaatındaki ölçmeler:** Köprü, baraj ve gökdelen gibi yapılardaki şekil değişikliklerinin araştırılmasına yönelik ölçmelerdir. Bu araştırmalar daha çok yapının yapım özellikleri ile malzeme kontrolüne olanak sağlar. Ayrıca işletme zararlarını ve çevre için tehlikelerini önlemek amacıyla şekil bozukluklarının önceden farkedilmesini de sağlar.

**Makine ve tesislerinin inşaatındaki ölçmeler:** Makine ve sanayi tesislerinin geometrik durumlarının belirlenmesi ve kontrolü için yapılan ölçmelerdir. Vinç rayları ve büyük türbinler gibi tesislerin hasarsız çalışması yalnız tesisin içindeki geometrik koşullara uyulması ile sağlanır.

**Zemin ve kaya mekaniği, mühendislik jeolojisi ölçmeleri:** Yeryüzünün şekil bozukluklarının ve yerel hareketlerin araştırılmasına yönelik ölçmelerdir. Örneğin, zemin oturmaları, heyelanlar ve tektonik hareketler gibi. Yeraltından kütle çıkarmaları sonucu oluşan zemin hareketleri de bu çerçeveye girer.

Dar anlamda jeodezik deformasyon ölçmelerinin ödevi, bir araştırma objesinin çevresine göre yatay ve düşey konum değişikliklerini veya bozukluklarını zamanın fonksiyonu olarak araştırmaktır. Temel prensip olarak objenin her detay noktasının sürekli gözlenmesi gereklidir. Ancak bu işlem çoğunlukla teknik olarak gerçekleştirilemez veya ekonomik değildir. Bu nedenle ölçü tasarımı mekansal ve zamansal olarak dikkate alınmalıdır.

Objeyi temsil edebilecek bazı noktalar seçilir ve bunların koordinatları belirli zaman aralıklarıyla belirlenir. Noktaların obje üzerindeki dağılımı ve ölçülerin zaman aralığı beklenen deformasyonları belirlemeye olanak verecek şekilde seçilmelidir.

## 2.3. Mühendislik yapılarının kontrolü

“Mühendislik yapıları niçin kontrol edilmelidir?” sorusunun yanıtı:

- Kamu güvenliği sorumluluğu,
- Yapının çalışma ve güncel durum emniyeti hakkında bilgi edinme,
- Yapıdaki değişimlerin nitelik ve niceliklerinin saptanması,
- Kuramsal kabullerin ispatlanması ve
- Hesap ve ölçü yöntemlerinin geliştirilmesi olarak verilebilir.

## 2. Temel Bilgiler

Eğer bir obje;

- Statik ve yapısal olarak sınır değerlere ulaşmışsa, deformasyon ve deplasmanlar emniyeti tehdit ediyorsa, örneğin: barajlar, köprüler ve kuleler gibi,

- Jeolojik ve zemin mekaniği olarak uygun olmayan bir zemin üzerinde ise ya da tünel kazı çalışmalarının yapıldığı bir alanda ise,

- Radyo ve televizyon kuleleri ile termik santrallerdeki büyük bacalarda olduğu gibi çalışma güvenliği deformasyonlarla tehdit altında ise

bu tür yapılarda periyodik veya sürekli gözlem yapılması gereklidir.

### 2.4. Deformasyonların sınıflandırılması

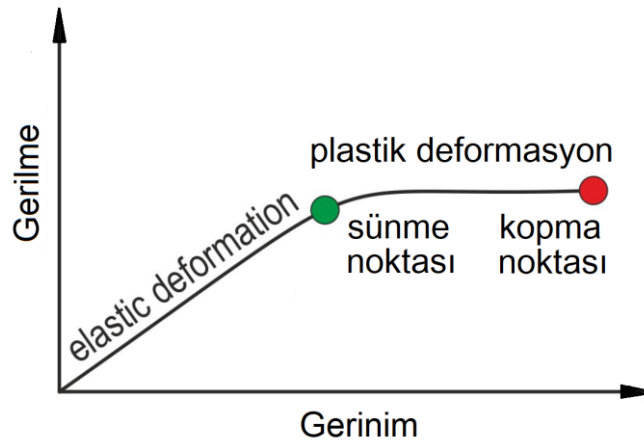
Deformasyonları şekil değişimlerinin yapısına ve türlerine göre iki ana gruba ayırabiliriz. Buna göre;

**1-** Şekil değişimlerinin yapısına göre,

**1a-** Elastik (geçici) deformasyonlar: Objeye etkiyen faktörün ortadan kalkması ile objenin, faktörün etkisinden önceki durumuna gelmesidir.

**1b-** Elastoplastik deformasyonlar: Objeye etkiyen faktörün ortadan kalkması ile objenin, faktörün etkisinden önceki durumunu almaya çalışması ancak tam olarak eski durumunu alamamasıdır.

**1c-** Plastik (kalıcı) deformasyonlar: Objeye etkiyen faktör ortadan kalksa bile, objenin eski durumuna dönememesidir.



Şekil-1.01 Elastik-Plastik deformasyon akış grafiği

**2-** Türlerine göre,

**2a-** Küçük deformasyonlar: Bölgede veya yapılarda tehlikeli olmayan değişimlerdir. Bunların belirlenmesi ve ölçü hatalarından ayırt edilebilmeleri çok zordur. Genellikle ölçü duyarlılığı içinde kalırlar.

**2b-** Büyük deformasyonlar: Objede meydana gelen değişikliğin bir süre sonra gözle dahi görülür hale geldiği, yapının sürekliliğini olumsuz yönde etkileyen deformasyonlardır.

### 2.5. Deformasyon modelleri

Deformasyon analizinde kullanılacak deformasyon modelinin seçimi son derece önemlidir. Bu nedenle analiz modelinin seçiminde aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Uygun bir deformasyon modelinin seçimi deformasyon olayının doğru bir şekilde tanımlanmasını sağlarken, yetersiz bir model seçimi deformasyon analizinde başarısızlıklara neden olabilir.
- Karmaşık deformasyon modelleri, modelin doğruluk, güvenilirlik ve hassasiyetini azaltmaz. Buna karşın deformasyon analizinin başarısızlığına neden olabilir.
- Diğer yandan basit deformasyon modelleri, araştırılan objenin deformasyonlarının belirlenmesinde yetersiz kalabilir.
- Deformasyonların seyri ve şiddeti konusunda bir ön bilgi olmaması durumunda basit modellerle analiz çalışmalarına başlangıç yapılabilir.
- Eğer basit modeller yapılan istatistik testler neticesinde yetersiz görülürse karmaşık modellerle çalışılabilir, (Yalçınkaya M., 2000).

Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme planına ve yöntemine göre farklı modeller içinde incelenirler. Bunlar;

- Statik davranışlı model ( Quasi-statik model ),
- Kinematik model ve
- Dinamik modeldir.

**Statik davranışlı model:** Nokta alanı için,

$$\underline{x}^T = [ x_1 \ y_1 \ x_2 \ y_2 \ \dots \ x_p \ y_p ] \quad (1.01)$$

$$\underline{x}^T = \text{sabit}$$

olarak tanımlanır. Noktanın  $t_0$  ve  $t_i$  zamanlarındaki konumları  $\underline{x}_0$  ve  $\underline{x}_i$  ise  $d\underline{x} = \underline{x}_i - \underline{x}_0$  analiz edilerek yorum yapılmaktadır. Bu açıklamadan da anlaşılacağı gibi deformasyon incelemesine konu olan bölge veya yapıyı karakterize eden noktaların zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesi statik modelin temelini oluşturmaktadır. Bu modelde, sistemin bir kez ölçülmesi sürecinde geçen zaman içerisinde noktaların sabit kaldığı varsayılmaktadır.

## 2. Temel Bilgiler

Buna göre modelin özellikleri

- Obje periyodik olarak ölçülür,
- Ölçülen nokta hareketlerinin anlamlılığı istatistiksel olarak araştırılır,
- Hareket süreci gözardı edilir,
- Harekete neden olan kuvvetler dikkate alınmaz

olarak sıralanabilir. Bu anlamda statik modeller jeodezik deformasyon ölçme yöntemlerinin on çok uygulama alanı bulduğu irdeme yöntemidir.

**Kinematik model:** Bu modelde nokta koordinatları zamanın fonksiyonu olarak tanımlanır.  $t_i$  zamanındaki nokta koordinatı

$$\underline{x}_i = \underline{x}(t_i) = \underline{x}_0 + \Phi(\underline{x}, t_i - t_0) \quad (1.02)$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağlamda

- $\underline{x}_i$  :  $t_i$  zamanındaki nokta koordinatları,
- $\underline{x}_0$  :  $t_0$  referans zamanındaki nokta koordinatları ve
- $\Phi$  : kinematik model fonksiyonudur.

Bu modelde deformasyon araştırması yapılacak bölge veya yapıyı karakterize eden noktaların hareketleri ve hızları araştırılır. Deformasyon araştırması yapılan objenin büyük olması durumunda, tüm sistemin bir defa ölçümü için uzun bir süre gerekir. Örneğin, bir ülkede veya bölgede yer kabuğu hareketlerinin araştırılması amacına yönelik yapılan nivelman ölçülerinin periyotları 20-25 yıl olmakta ve her yineleme ölçüsü 4-5 yıl gibi uzun zaman almaktadır. Yineleme ölçülerinin yapıldığı süre içerisinde nivelman noktalarının hareketsiz olduğu da düşünülemez. Bu durumda parametre olarak nokta yükseklikleri seçilmez. Yüksekliklerdeki değişimler zamanın fonksiyonu olarak ifade edilerek düşey hareketlerin hızları araştırılır.

Modelin özellikleri

- Obje periyodik ya da sürekli olarak ölçülebilir
- Hareketin akışı, hız ve ivme gibi kinematik parametrelerle ifade edilir,
- Harekete neden olan kuvvetler dikkate alınmaz

şeklinde özetlenebilir.

**Dinamik model:** Çok karmaşık olmayan kinematik modellerin, yeni ölçme ve bilgisayar tekniklerinin sağladığı olanaklarla desteklenmesiyle deformasyonların jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde uygulama alanlarının genişlemesi sonucu dinamik model kavramı gündeme gelmiştir.

## 2. Temel Bilgiler

Dinamik modelde geometrik değişimlerin yanında deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimi ve birbirleriyle ilişkileri ve bunların oluşmasına belirleyen dönüşüm fonksiyonu araştırılır. Genel olarak model

$$\underline{x}_i = \underline{x}(f_i) = \underline{x}_0 + \Phi(\underline{x}, f_i - f_0) \quad (1.03)$$

şeklindedir. Burada

- $\underline{x}_i$  :  $f_i$  kuvvetinin etkisindeki nokta koordinatları,  
 $\underline{x}_0$  :  $f_0$  kuvvetinin etkisindeki nokta koordinatları ve  
 $\Phi$  : dinamik model fonksiyonudur.

Örneğin bir barajın rezervuarında toplanan suyun hem yapı, hem de yakın çevresi üzerindeki etkileri bilinmektedir. Basınç kuvveti olarak ortaya çıkan bu etki, su seviyesinin değişimine bağlı olarak yapıda iç gerilmelere ve çevresinde zemin hareketlerine neden olarak yapıda şekil değişimleri oluşturmaktadır. Burada yapıya etki eden kuvvetler ile yapı karakteristikleri arasındaki dönüşüm fonksiyonu araştırılır.

Sonuçta dinamik modelin özellikleri olarak

- Obje periyodik ya da sürekli olarak ölçülür,
- Objeye etkiyen büyüklükler ölçülür,
- Hareketler etki büyüklüklerinin fonksiyonu olarak analiz edilir

sıralanabilir, (T.Ayan 1982, E.Gülal, 1999).

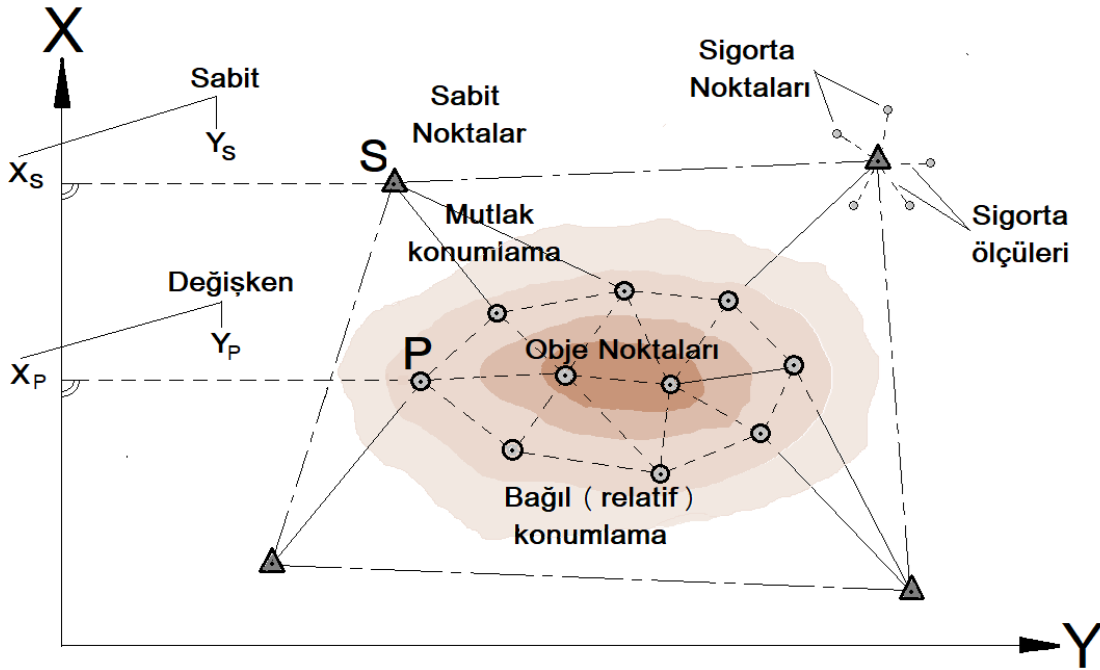
Deformasyon modelleri görüldüğü gibi kendi aralarında farklılıklar göstermektedir. Bu modellerin kendi aralarında karşılaştırılmaları Tablo-1.01’de verilmiştir.

Tablo-1.01 Deformasyon modellerinin sınıflandırılması (Heunecke ve Welsh, 2001)

| Deformasyon Modeli     | Statik Davranışlı Model              | Kinematik Model                      | Dinamik Model                           |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Zamanın etkisi</b>  | Modelleme yok                        | Zamanın fonksiyonu olarak hareketler | Zaman ve yükün etkisi olarak hareketler |
| <b>Kuvvetin etkisi</b> | Yükün etkisi olarak yer değiştirme   | Modelleme yok                        |                                         |
| <b>Objenin durumu</b>  | Yük altında yeterli miktarda değişim | Hareket halindeki süreklilik         | Hareket halindeki süreklilik            |

### 2.6. Geometrik Obje Modeli ve Veri Akış Süreci

Geometrik model, objeyi karakterize eden noktaların birbirlerine göre bağıl ve çevreye göre mutlak hareketlerini belirlemek için araştırma objesini temsil etmek üzere oluşturulur, (Şekil-1.02). Bu noktalar birbirlerine geometrik büyüklükler ile (açı, uzunluk ve yükseklik farkı gibi) doğrudan ve dolaylı olarak bağlıdır. Bu elemanlar, tekrarlanarak veya sürekli olarak ölçülerek obje noktalarının bağıl (relatif) hareketleri belirlenir.



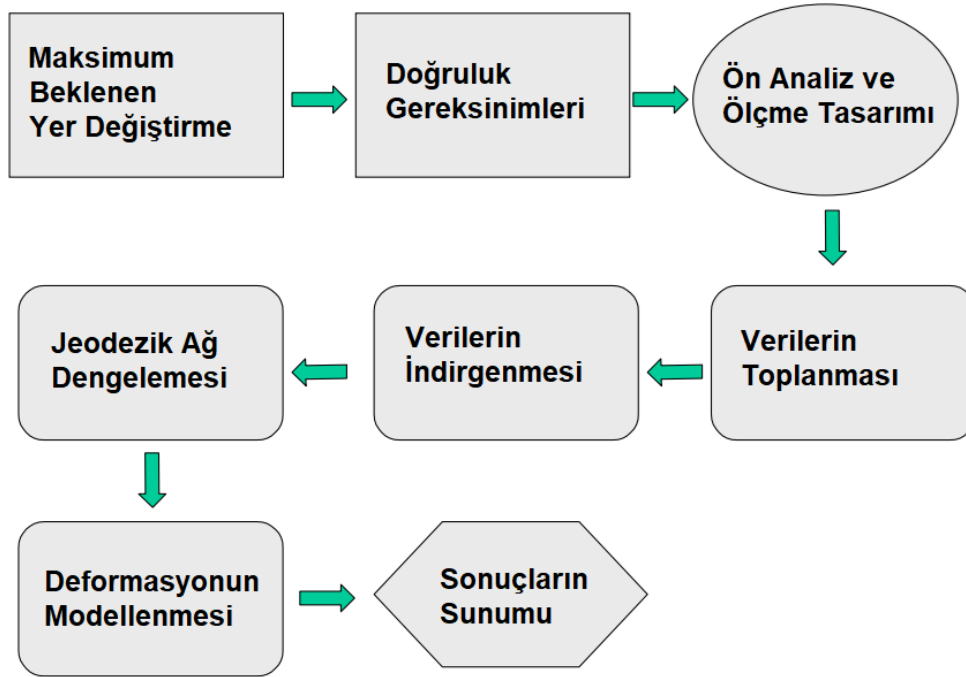
Şekil -1.02. Geometrik obje modeli

Obje noktalarının mutlak hareketlerinin belirlenebilmesi için objenin dışında obje deformasyonundan etkilenmeyen ve başka kuvvetlerin etki alanında olmayan sabit noktalar gerekir. Bu sabit noktalarla obje noktaları doğrudan veya dolaylı olarak ölçülerle bağlıdır. Bu bağlantı elemanlarının tekrarlı veya sürekli ölçümü ile objenin mutlak hareketleri gözlemlenir. Bu hareketlerden objenin çevresine göre davranışları belirlenir.

Geometrik obje modeli, bir koordinat sisteminin tanımı için temel oluşturur. Model, isteme göre tek boyutlu (yükseklik), iki boyutlu (yatay konum) veya üç boyutlu sistem olarak tasarlanabilir. Sistemdeki sabit nokta hipotezi ölçü sonuçları ile geçersiz kılınmadıkça bu noktaların koordinatları sabit olarak kabul edilir. Objе noktalarının koordinatları ise bir obje durumunu belirlediğinden değişken olarak alınır. Farklı dönemlerde yapılan gözlemler

## 2. Temel Bilgiler

sonucu belirlenen koordinat değişimleri obje deformasyonu olarak tanımlanır, (H.Pelzer vd, 1988).



Şekil-1.03 Deformasyon Ölçmelerinde veri akış süreci

(Engineering and Design/Structural Deformation Surveying, Andersen J.A., 2018)

Deformasyon ölçme çalışmalarına başlarken inceleme konusu olan objede beklenen deformasyonların büyüklüğü ve hızı, bu boyuttaki deformasyonları belirlemek için gereksinilen doğruluk boyutunun bilinmesi gerekmektedir. Ardından gözlemler neticesinde toplanan verilerin işlenmesi (indirgenmesi ve duyarlık ölçütlerinin belirlenmesi) ve dengeleme hesabının yapılarak bilinmeyenlerin kesin değerleri belirlenir. Hangi deformasyon modelinin uygulanacağı tespit edilerek elde edilen sonuçların nasıl sunulacağına karar verilir. Bu işlemlerin akışının nasıl bir süreç izlediği Şekil-1.03'de görülmektedir.