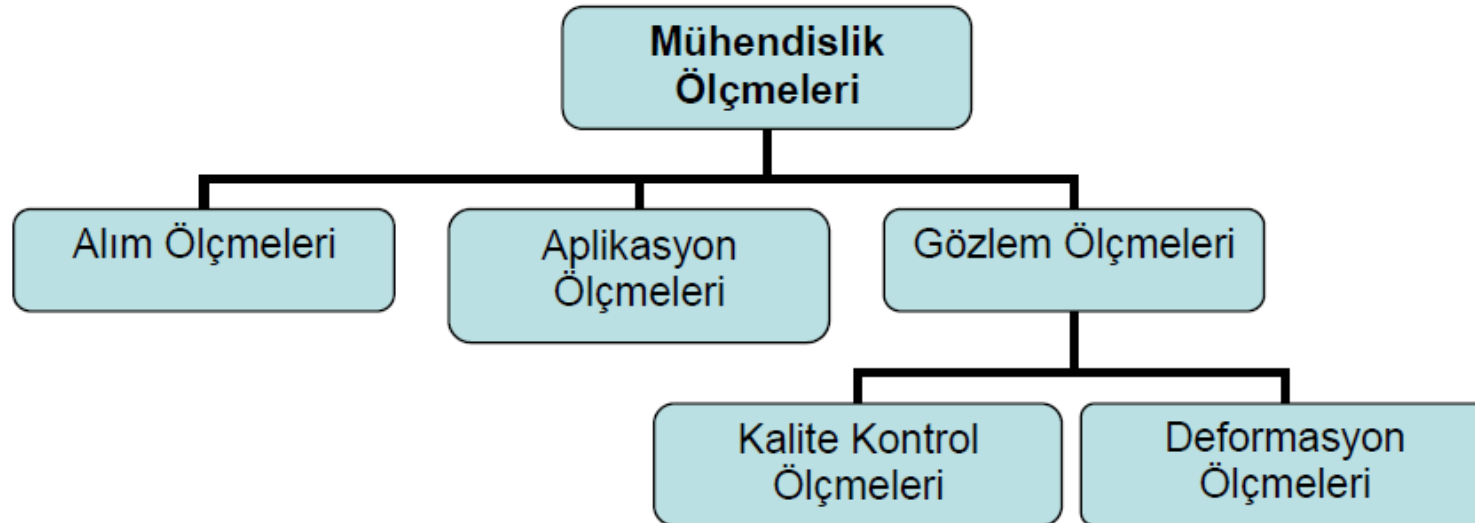


Mühendislik Ölçmeleri

MÜHENDİSLİK ÖLÇMELERİ



DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

- **Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri;** bir objedeki geometrik değişimlerin belirlenmesi veya objedeki hareketlerin ve şekil değişimlerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir.
- İnsan ihtiyaçlarına paralel olarak gelişen büyük mühendislik yapıları, kontrol altında tutuldukları sürece amaçlarına hizmet etmekle birlikte kontrol altında tutulmadıkları sürece de birer potansiyel tehlike oluşturmaktadırlar.
- Mühendislik yapılarına etkiyen iç ve dış kuvvetler nedeniyle yapıda zamanla oluşabilecek deformasyon ve deplasmanlar, insanların can ve mal güvenliğini tehlikeye sokabilecek bir noktaya gelebilir.



DEFORMASYON ÖLÇMELERİ



Yüksek Katlı Binalar



Köprüler



Tünel



Rüzgar Türbinleri

Mühendislik Yapıları

Deformasyon Ölçmelerinin Önemi



Deformasyon Ölçmelerinin Önemi



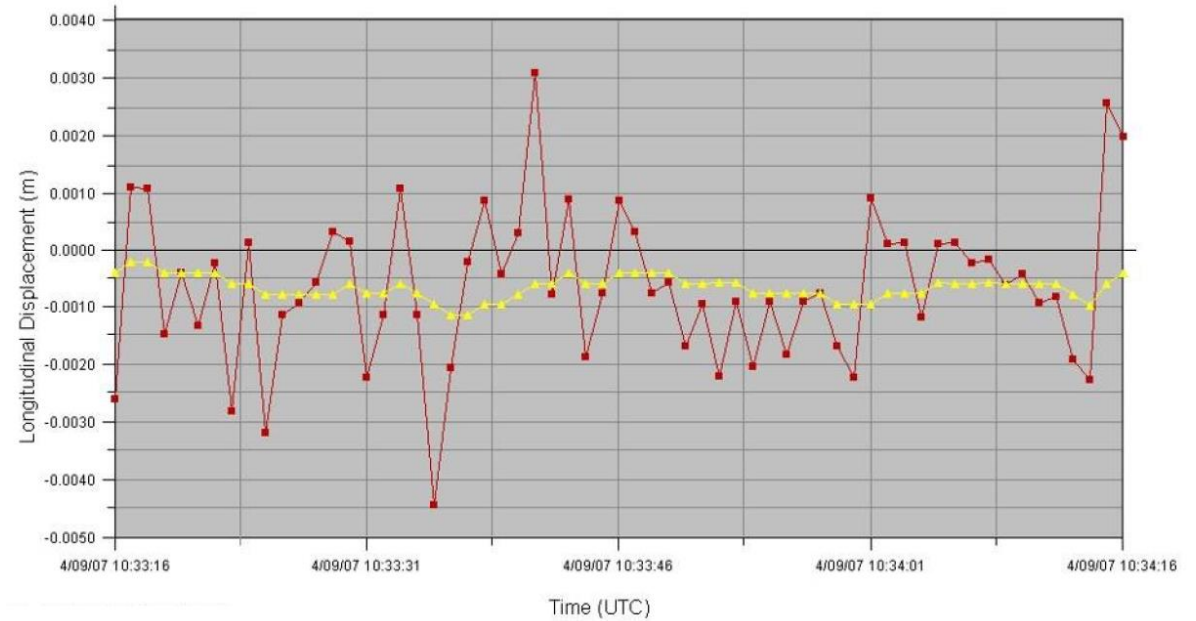
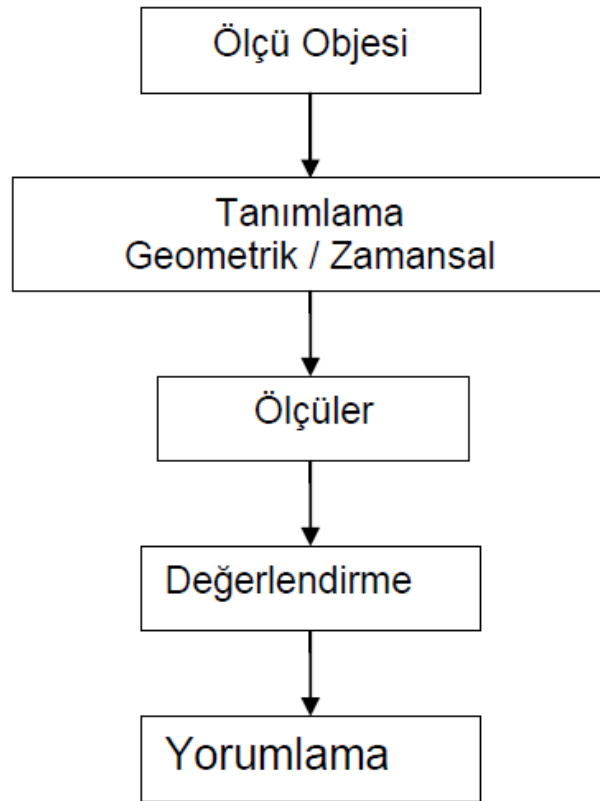
**Ölçme Teknikleri Kullanılarak Yapılarda
Oluşabilecek Geometrik Değişimler
İncelenmelidir!**

Deformasyon Ölçmelerinin Önemi

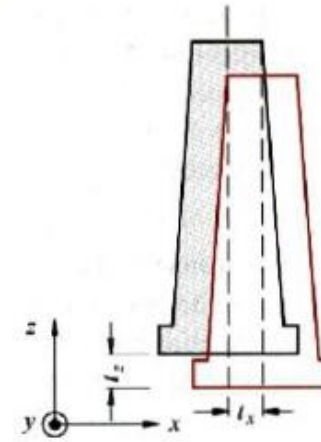
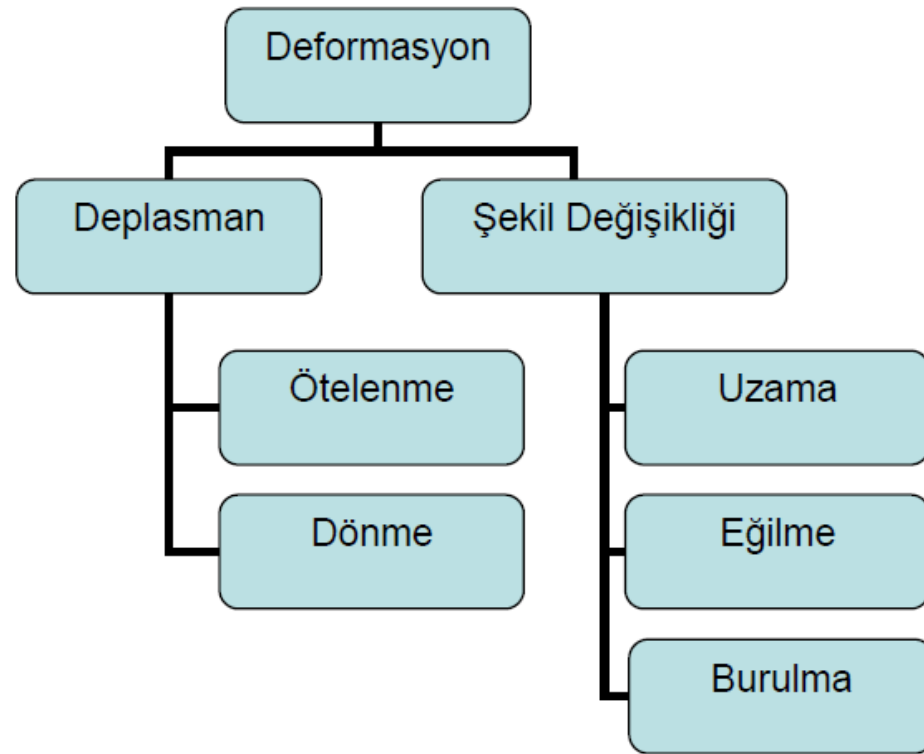


Mühendislik yapılarının izlenmesi, olası tehlikeli durumların zamanında tespit edilerek gereken önlemlerin alınması açısından büyük öneme sahiptir

Deformasyon Oluşumunun Belirlenmesi

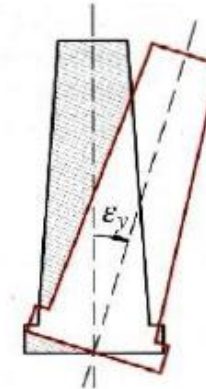


Deformasyonların Sınıflandırılması



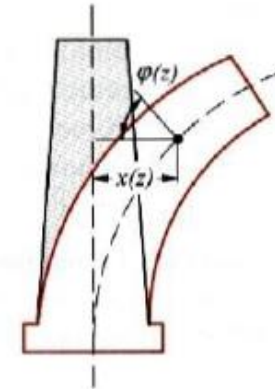
Ötelenme

t_x ve t_z



Dönme

ϵ_y



Eğilme

$x(z)$

Deformasyon Ölçmeleri Örnekleri

Tsing Ma Bridge, Hong Kong

Source: Chan et al., 2011

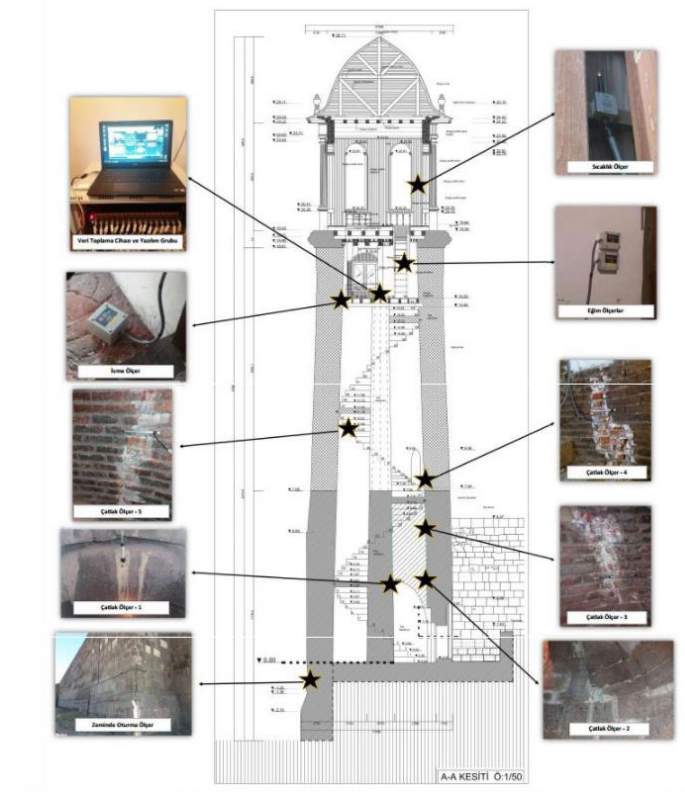


Figure 1. Instrumentation layout in Tsing Ma Bridge



İstanbul Boğaziçi Köprüsü

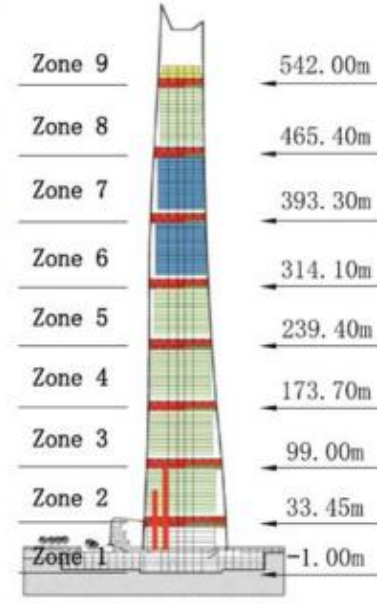
Deformasyon Ölçmeleri Örnekleri



Erzurum Tarihi Saat Kulesi



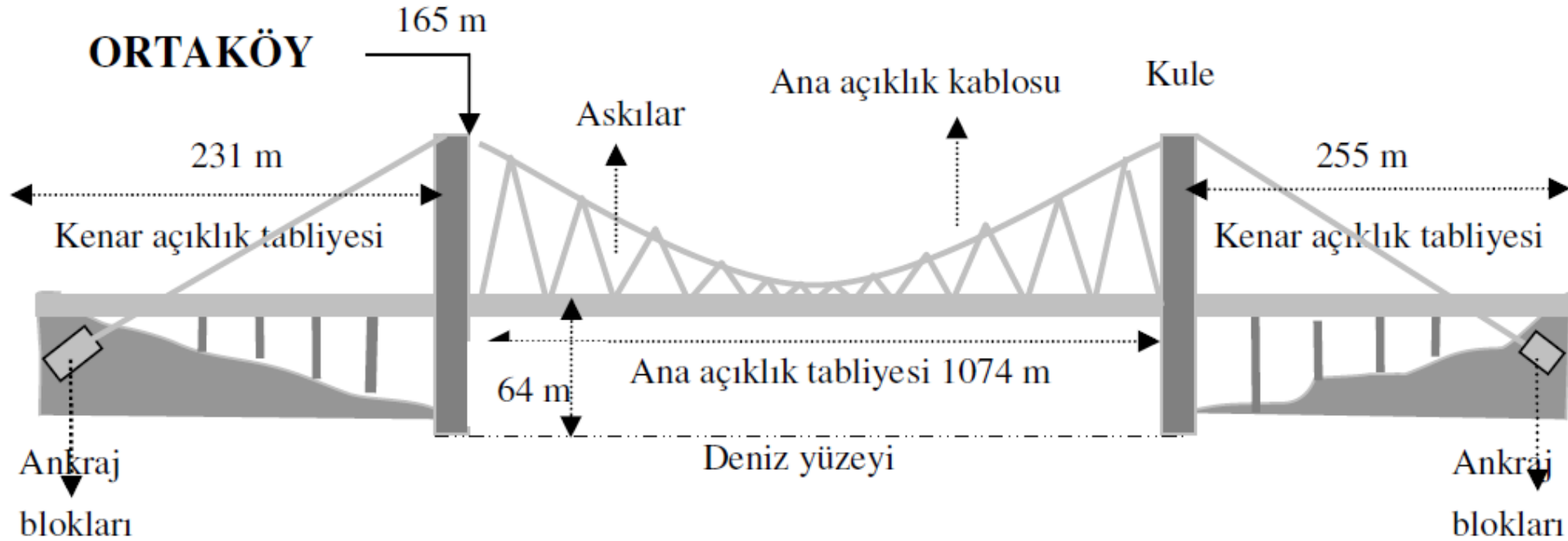
(a) Perspective view



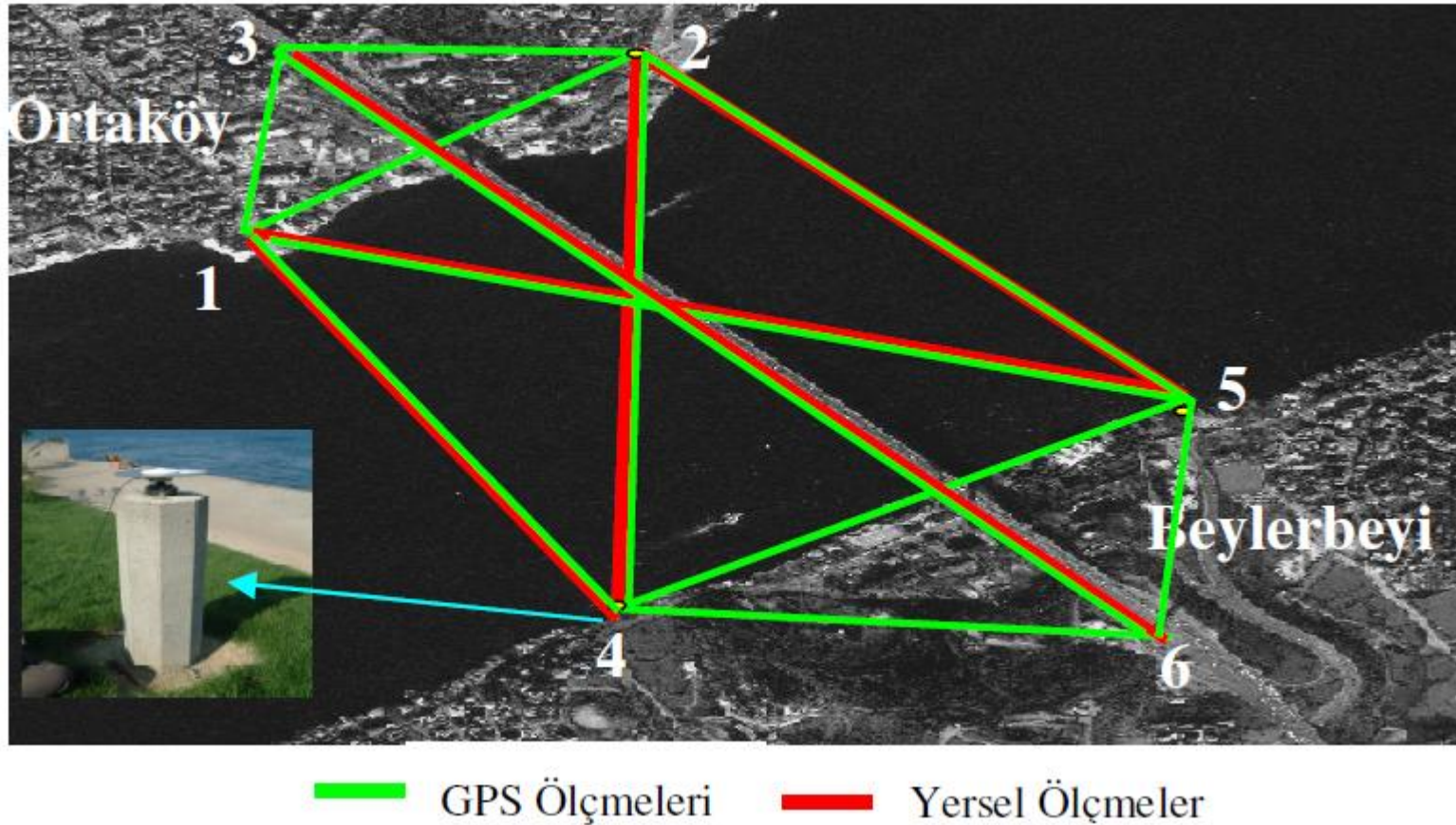
(b) Strengthening floors

Shanghai Tower, Qilin Zhang et al.

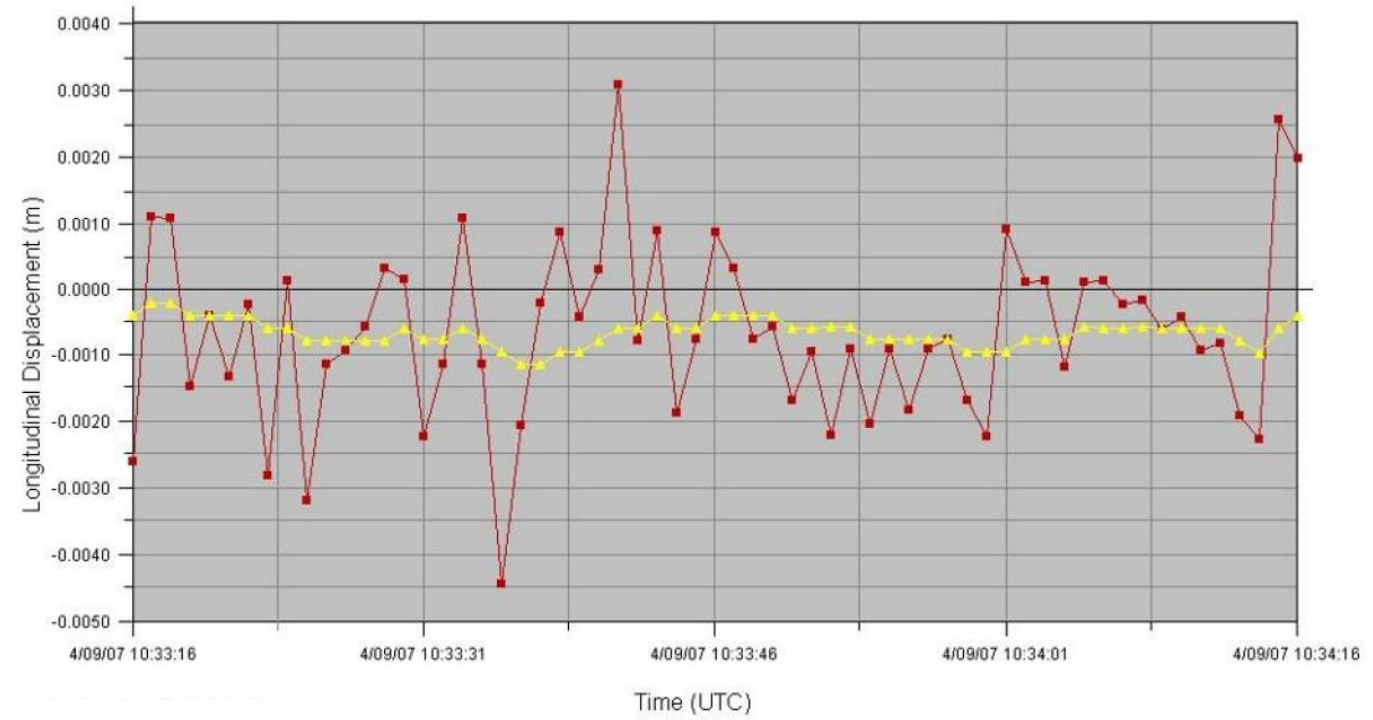
Deformasyon Ölçmeleri Örnekleri



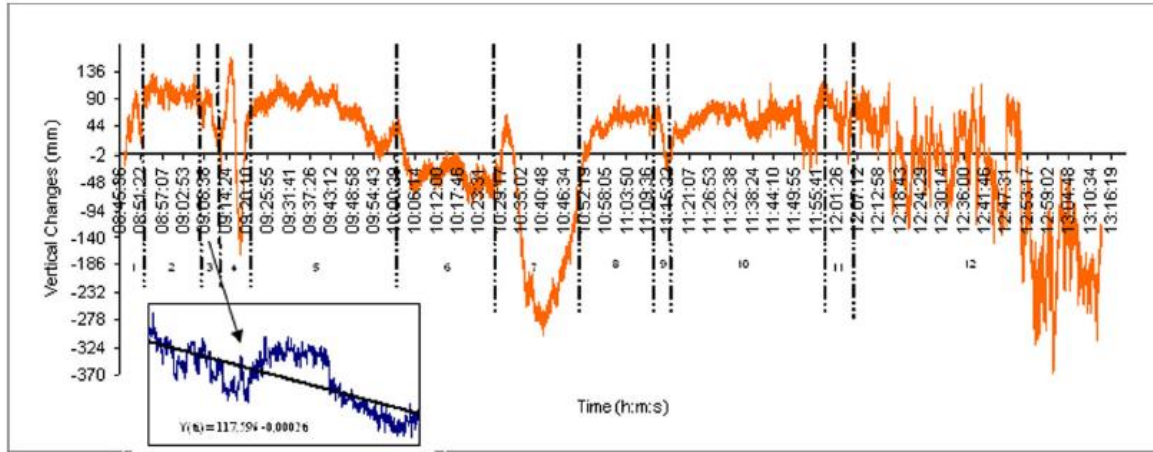
Deformasyon Ölçmeleri Örnekleri



Deformasyon Ölçmeleri Örnekleri

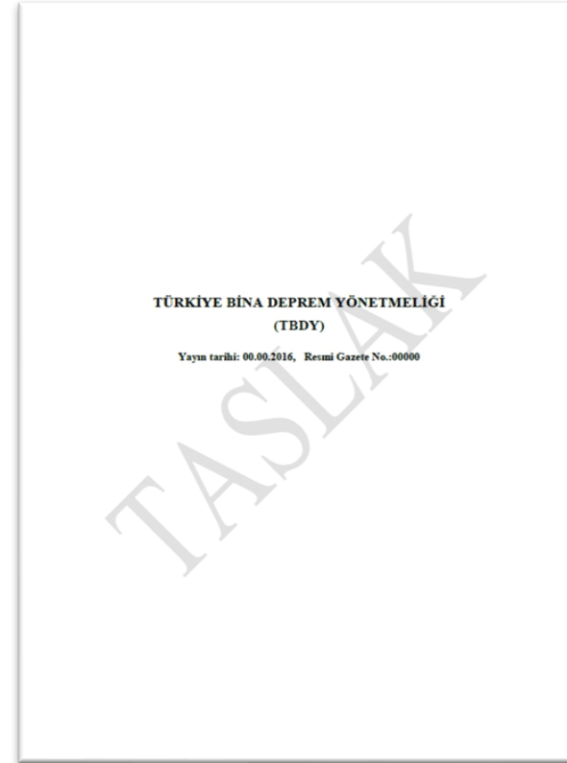
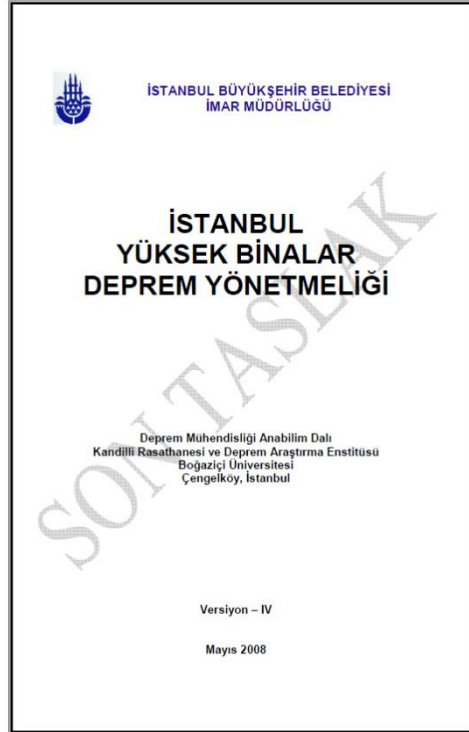


Deformasyon Ölçmeleri Örnekleri



Part no.	Load	Maximum changes above mean movement level (mm)	Maximum changes below mean movement level (mm)	Amplitude values for maximum periodical movements (mm)
1	Low vehicle load	+117	-18	46.7
2	Empty 1	+132	-	7.3
3	Marathon (rhythmic run)	+131	-	21.2
4	11 buses + pedestrian	+159	-169	100.4
5	Pedestrian activities	+131	-19	19.5
6	Low pedestrian load	+8	-81	13.8
7	Pedestrian + vehicle	+63	-303	206.6
8	Low pedestrian load	+95	-35	23.1
9	Buses + trucks + pedestrians	+64	-28	34.1
10	Empty 2	+118	-28	17.7
11	Traffic on the North Side	+120	-16	18.3
12	Opened for traffic	+116	-390	51.5

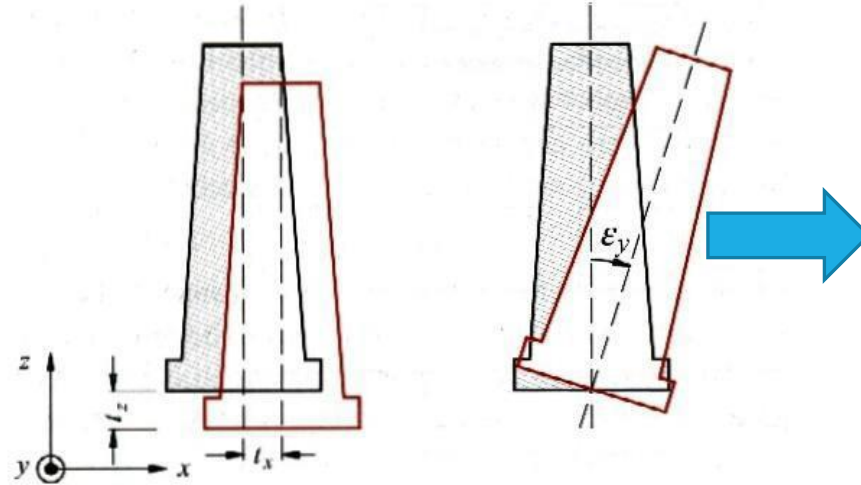
Yapı Sağlığı İzleme



Yapı Sağlığı İzleme



İVME ÖLÇER
Yapı Titreşimleri

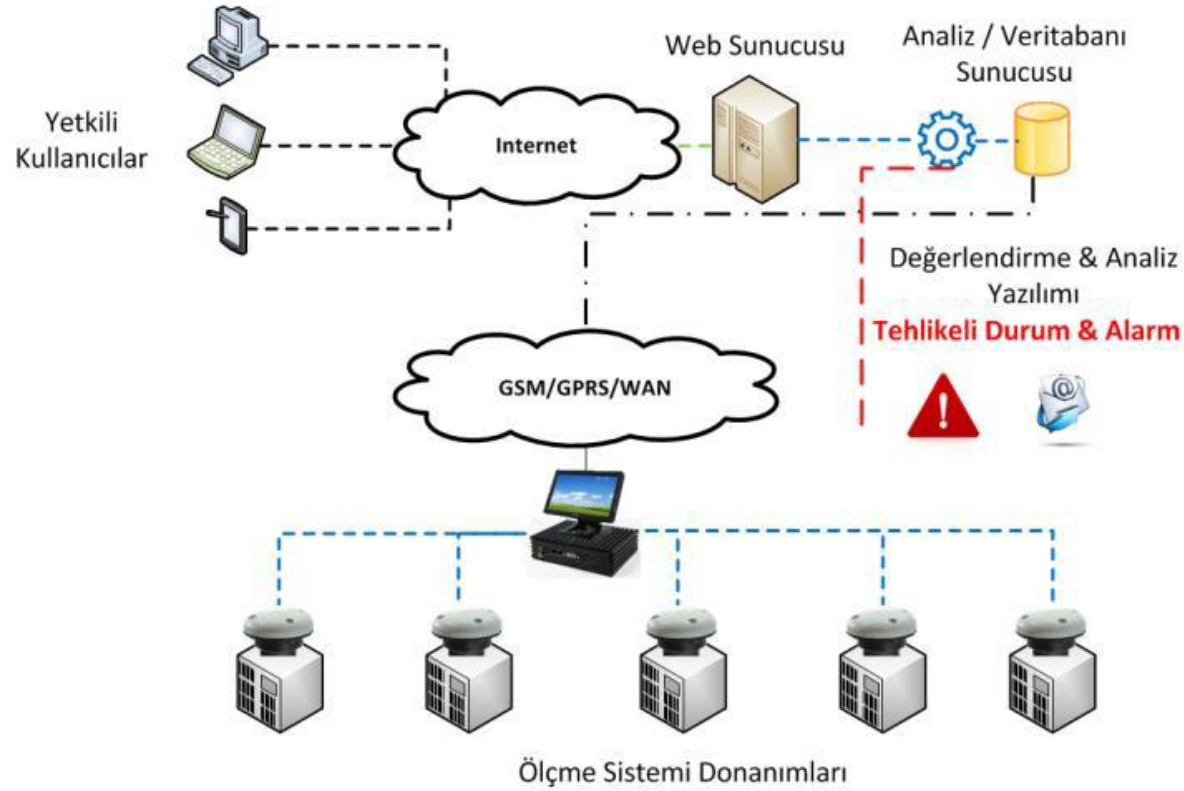


EĞİM ÖLÇER

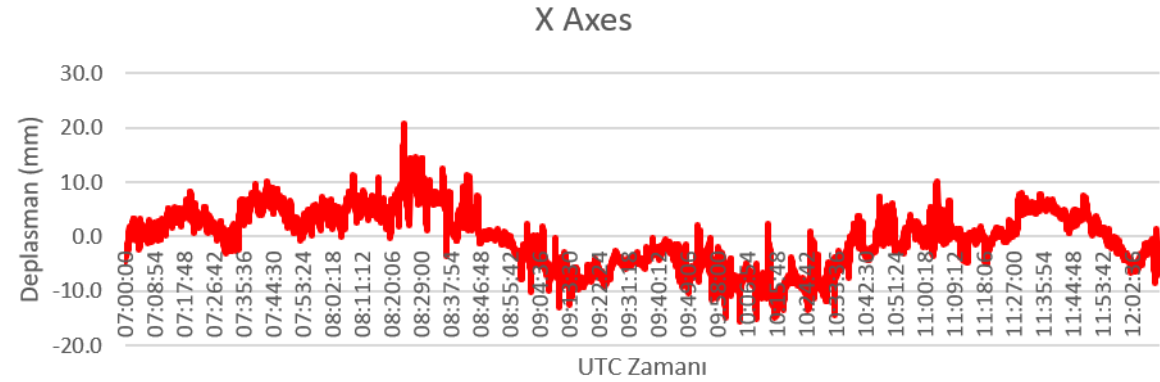
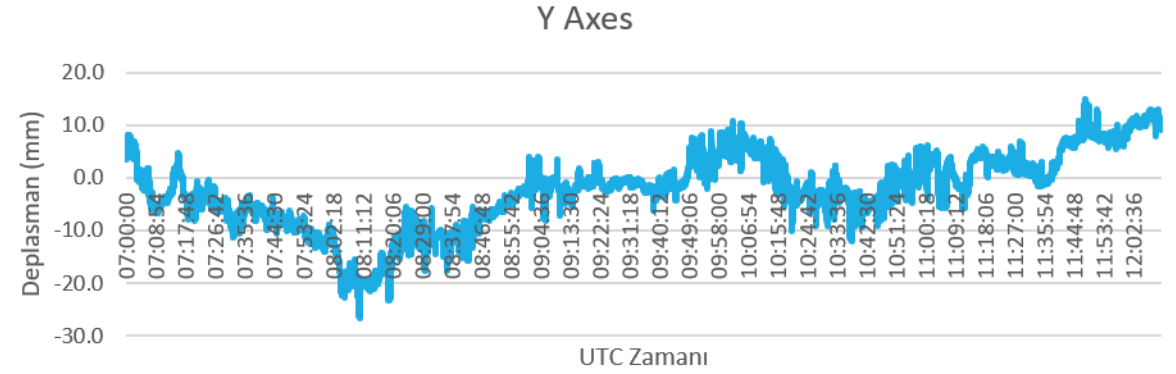


GNSS

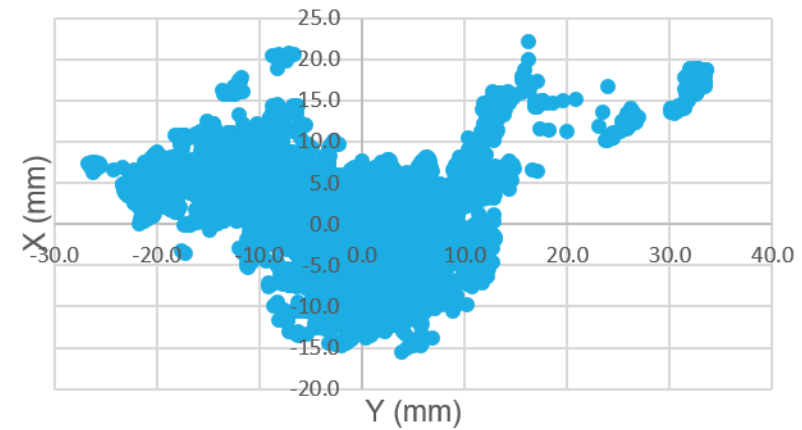
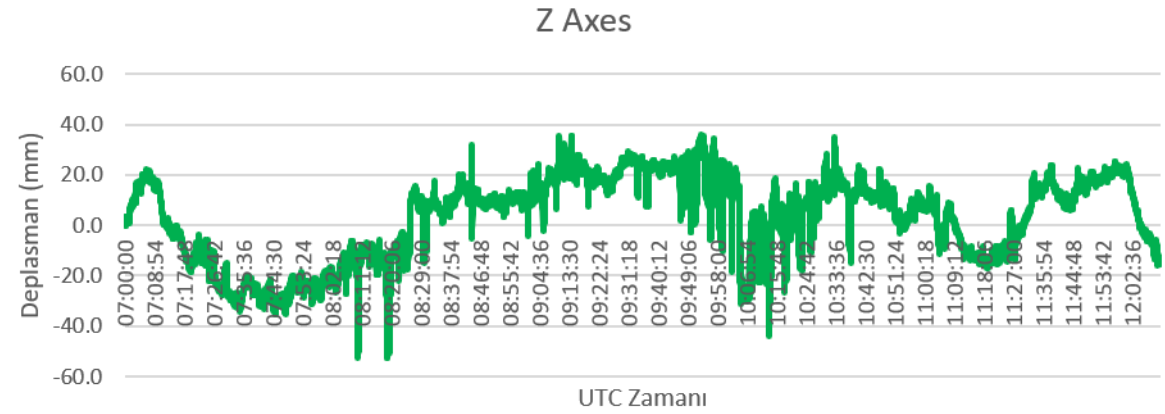
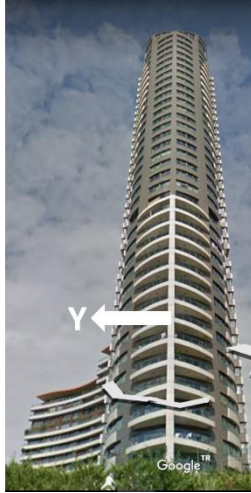
Yapı Sağlığı İzleme



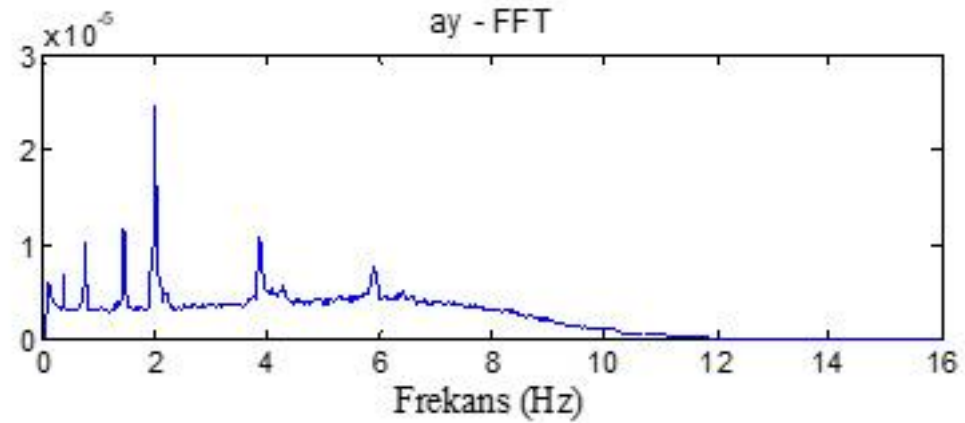
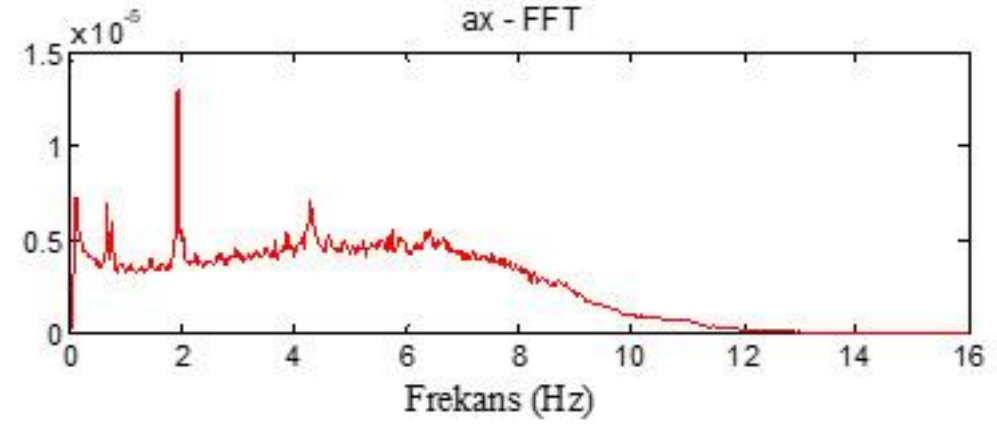
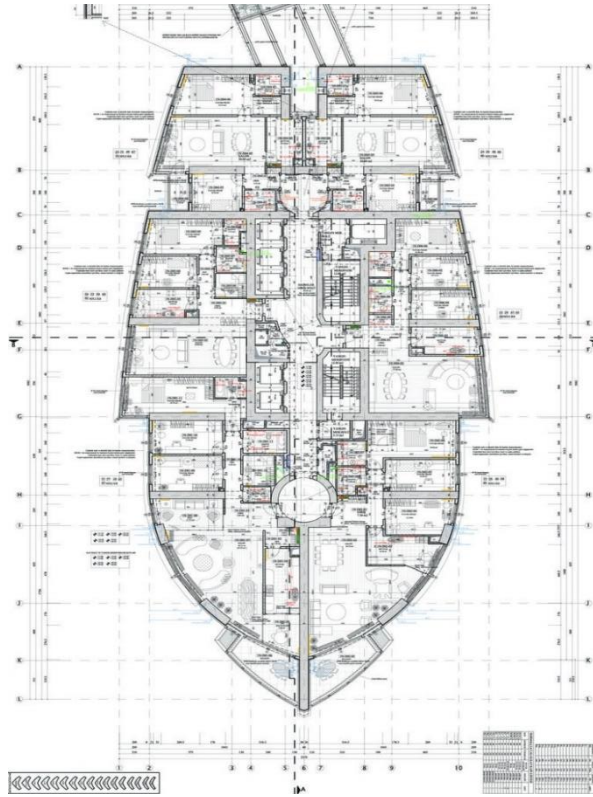
Yapı Sağlığı İzleme



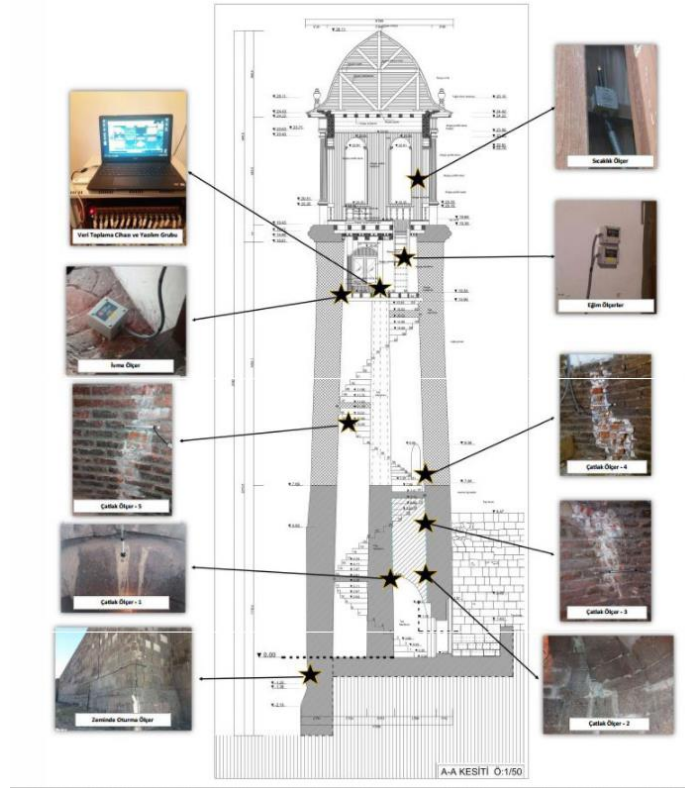
Yapı Sağlığı İzleme



Yapı Sağlığı İzleme

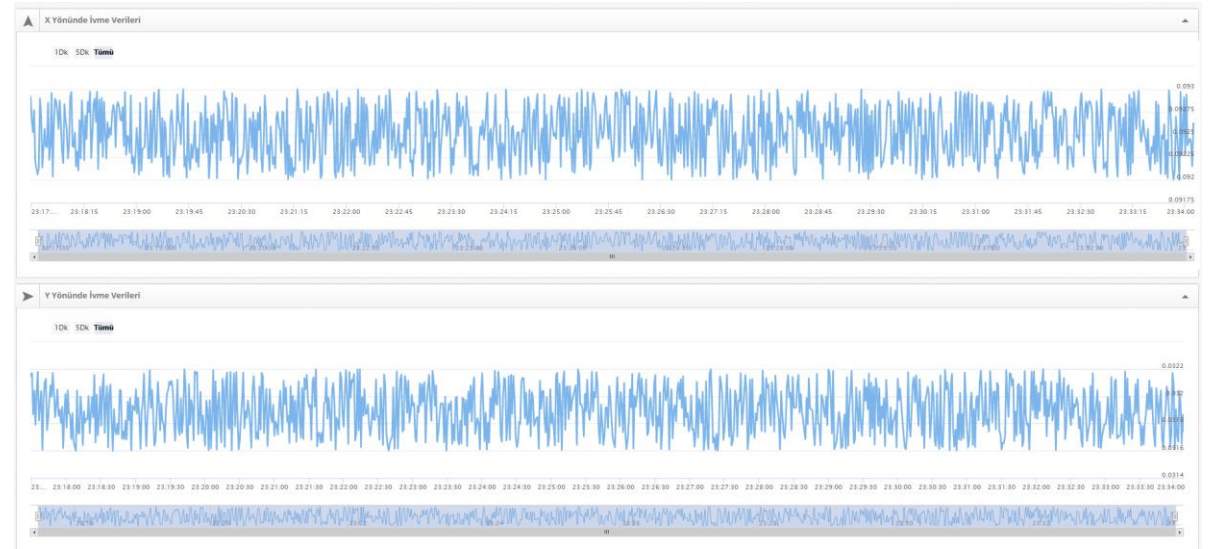


Yapı Sağlığı İzleme



Erzurum Saat Kulesi

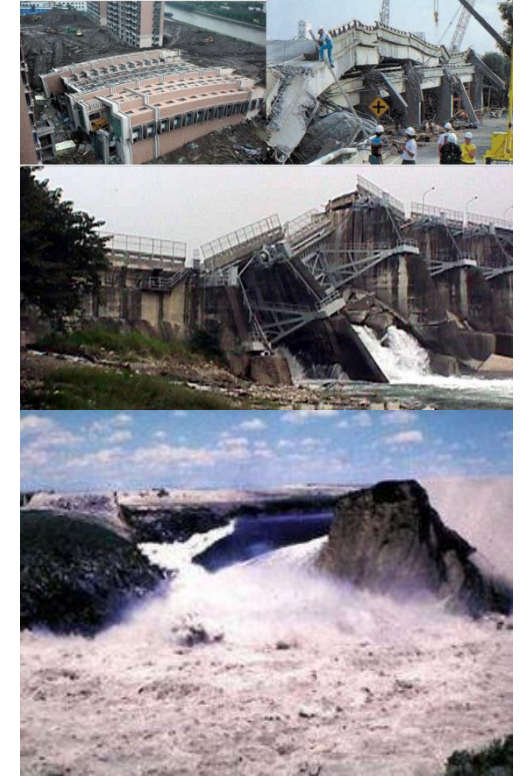
Gerçek Zamanlı İvme Ölçer Verisi



Deformasyon Ölçmeleri

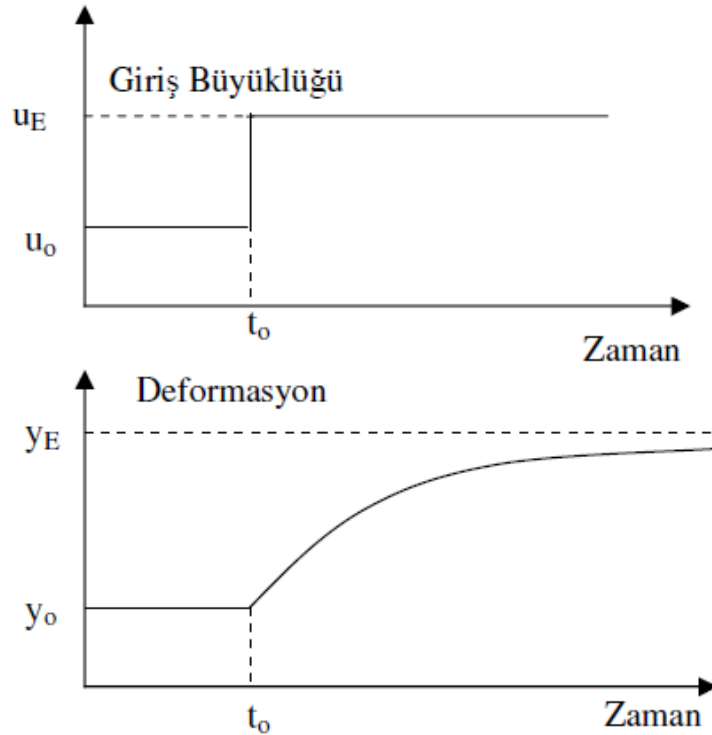
Deformasyona Neden Olan Etkiler

- Deformasyona neden olan etkiler doğal ve yapay etkiler olarak ortaya çıkmaktadır.
- Etkilerin yapısal ve tam olarak adlandırılması bir çok nedenden dolayı zor ve bazen de mümkün değildir.
- Bu nedenle deformasyona neden olan etkilerin neler olduğunun tek tek test edilmesi gerekebilir.
- Etkilerin yanında ortaya çıkan deformasyonun niteliği, şekli ve yönünün de belirlenmesi gerekir.



Deformasyona Neden Olan Etkiler

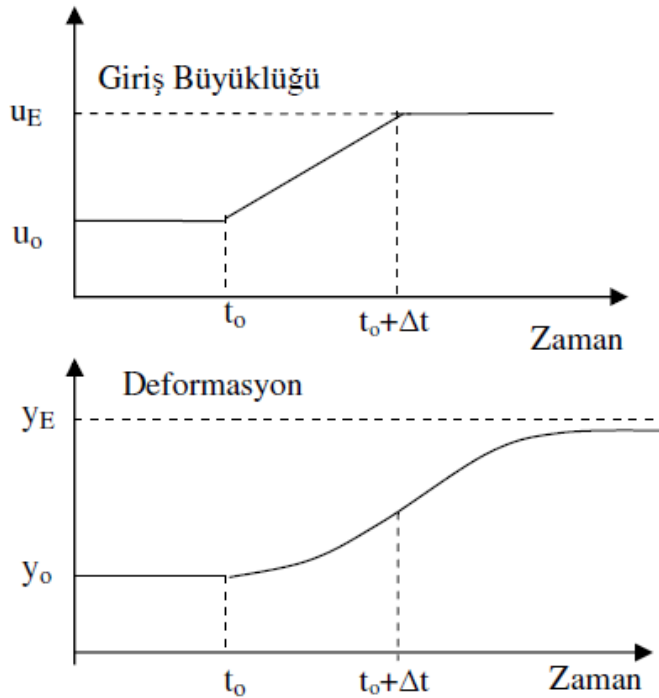
- Bir etki sonucunda objelerin tepkimeleri ani, doğrusal ve periyodik tepkimeler şeklinde meydana gelmektedir.



ANİ ETKİ SONUCUNDA OLUŞAN DEFORMASYON

- Şekilde t_0 zaman noktasındaki u_0 etkisine karşılık olarak y_E tepkimesini gösterilmektedir.
- Şekilde t_0 zaman noktasına kadar sisteme sabit bir etki olmaktadır. Bu etkiye karşılık sistemde sabit bir tepkime vermektedir. t_0 zaman noktasında sisteme ani bir etki verilmekte ve sistemde bu etkiye karşılık olarak ani bir reaksiyon göstermemektedir.
- Sistem maksimum tepkimeye ulaşincaya kadar belirli bir süre geçmektedir.
- Bu şekilde ani etki sonucu meydana gelen deformasyonlar pratikte çok az meydana gelmektedir.

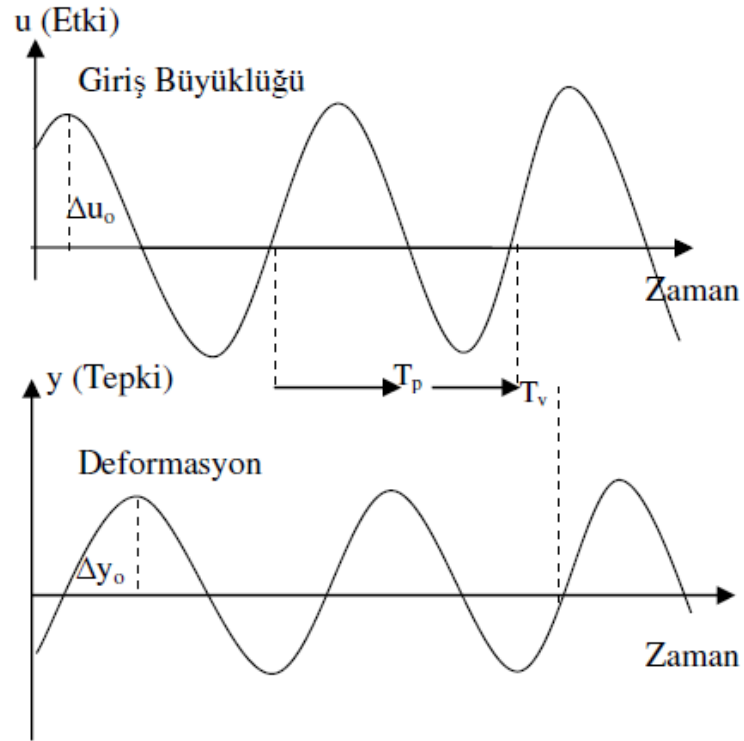
Deformasyona Neden Olan Etkiler



DOĞRUSAL ETKİ SONUCUNDA OLUŞAN DEFORMASYON

- Çoğunlukla sistem üzerindeki etkiler zamanla doğrusal olarak artmaktadır.
- Böyle bir durumda, Şekildeki t_0 zaman noktasında doğrusal etkiye karşılık tepkime oluşmakta ve $t_0 + \Delta t$ zaman noktasında maksimum hızına ulaşmaktadır.
- Etkinin $t_0 + \Delta t$ zaman noktasında sabit bir değer almasıyla deformasyon hızı yavaşlamakta ve tekrar kararlı hale geçmektedir.
- Buna örnek olarak binaların inşaatı sırasında zemin oturmaları gösterilebilir.

Deformasyona Neden Olan Etkiler



PERİYODİK ETKİ SONUCUNDA OLUŞAN DEFORMASYON

- Periyodik etkiler genellikle günlük ve yıllık periyotlarda meydana gelmektedir.
- Şekilde görüldüğü gibi obje bu periyodik etkiye karşılık olarak yine periyodik olarak aynı frekansta fakat T_v faz kayıklığı ile karşılık vermektedir.
- Etki ile tepkime (deformasyon) arasındaki genlik ilişkisi ise objenin malzeme özelliğine, frekansa ve periyot uzunluğu T_p ye bağlıdır.

Deformasyon Ölçülerinin Planlanması

Ölçü planının hazırlanmasında göz önünde bulundurulması gereken önemli noktalar:

- Beklenen deformasyonun nedeni
- Deformasyon beklenen alanın büyüklüğü
- Beklenen deformasyonun yönü
- Beklenen deformasyonun zamansal özellikleri
- İş gücü ve mali boyutu

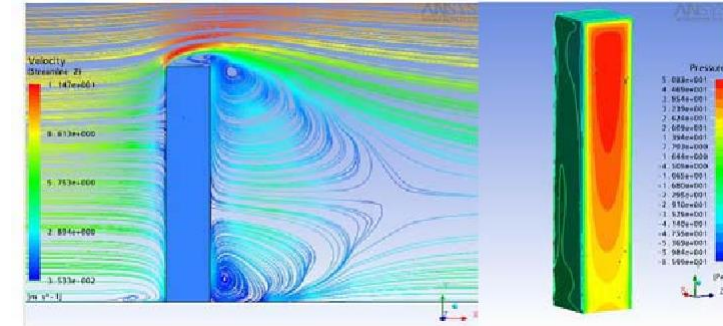
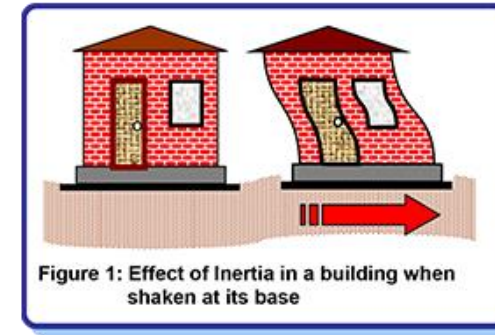
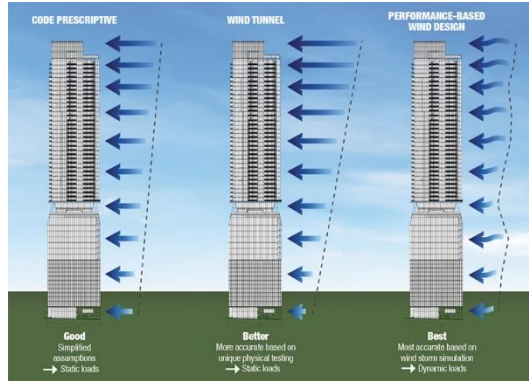
Bu sorulara göre belirlenmesi gereken kriterler

- Referans sistemi
- Geometrik ve zamansal obje tanımlaması
- Aranılan büyüklükler için uygun ölçü teknikleri ve yöntemleri
- Ölçülerin doğruluk kriterleri

Deformasyon Ölçülerinin Planlanması

Ölçü planının hazırlanmasında göz önünde bulundurulması gereken önemli noktalar:

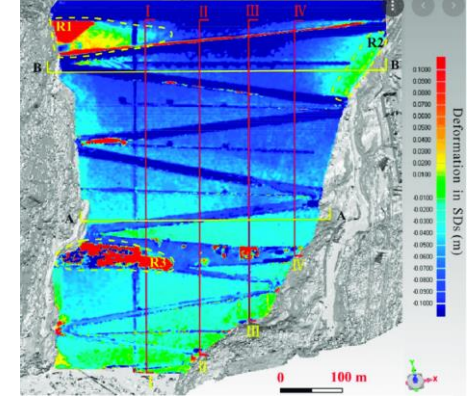
- Beklenen deformasyonun nedeni



Deformasyon Ölçülerinin Planlanması

Ölçü planının hazırlanmasında göz önünde bulundurulması gereken önemli noktalar:

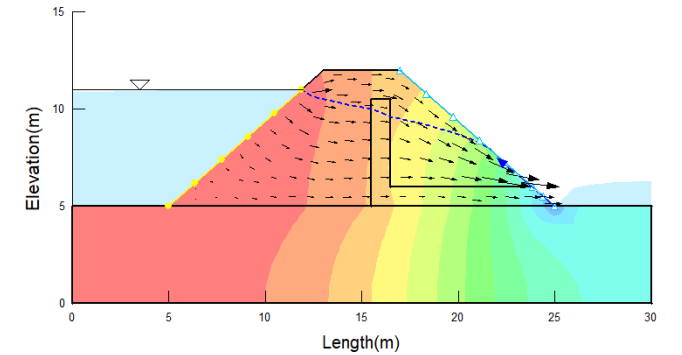
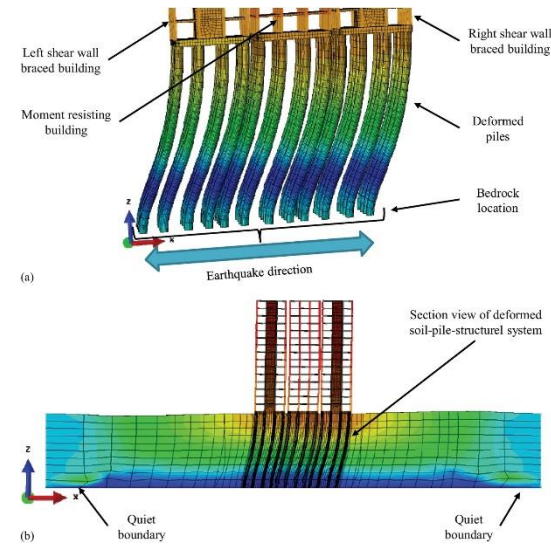
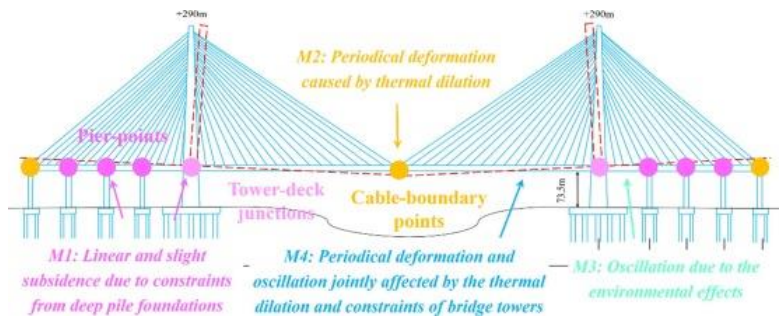
- Deformasyon beklenen alanın büyüklüğü



Deformasyon Ölçülerinin Planlanması

Ölçü planının hazırlanmasında göz önünde bulundurulması gereken önemli noktalar:

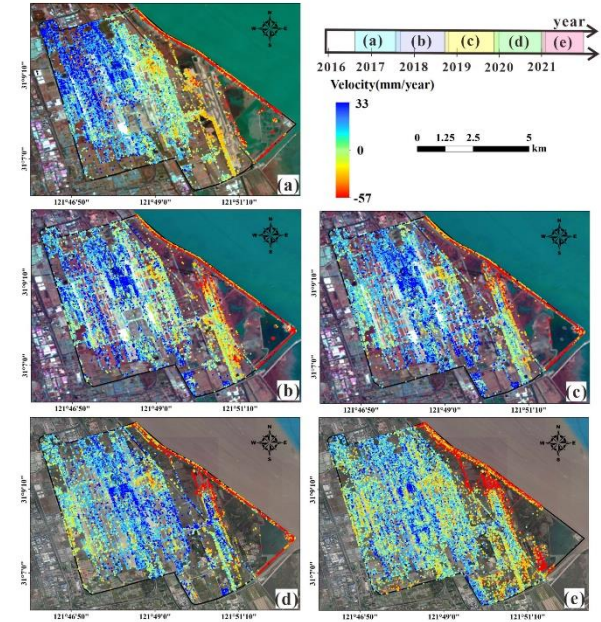
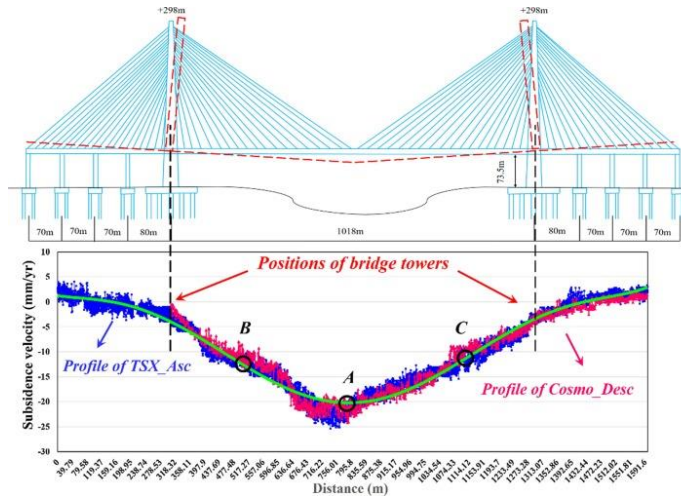
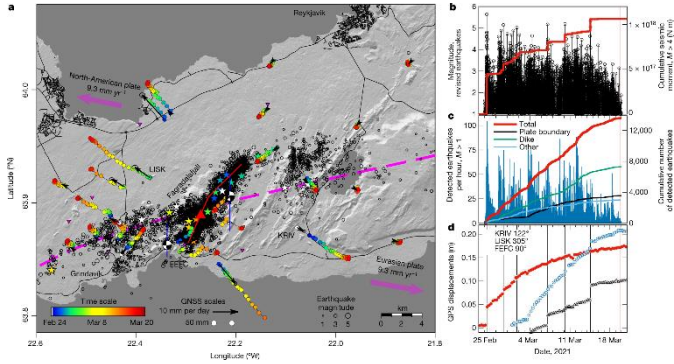
- Beklenen deformasyonun yönü



Deformasyon Ölçülerinin Planlanması

Ölçü planının hazırlanmasında göz önünde bulundurulması gereken önemli noktalar:

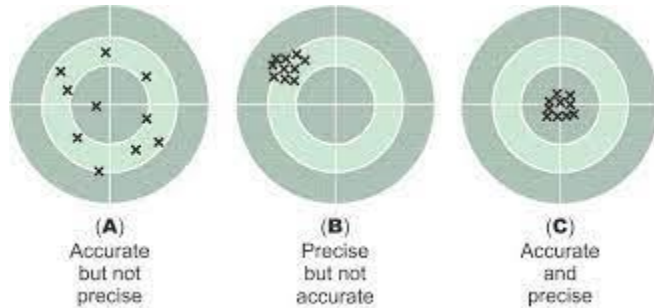
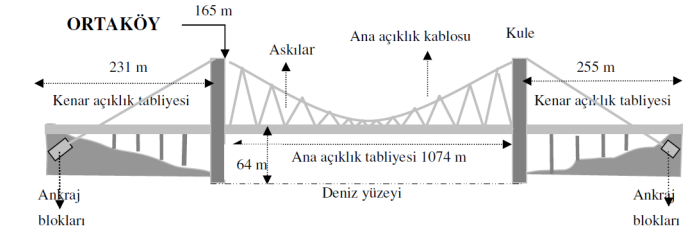
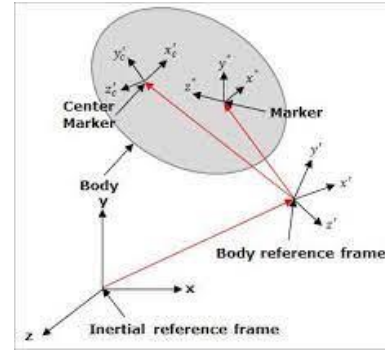
- Beklenen deformasyonun zamansal özellikleri
- İş gücü ve mali boyutu



Deformasyon Ölçülerinin Planlanması

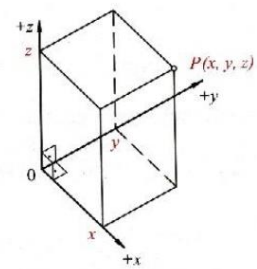
Bu sorulara göre belirlenmesi gereken kriterler

- Referans sistemi
- Geometrik ve zamansal obje tanımlaması
- Aranılan büyüklükler için uygun ölçü teknikleri ve yöntemleri
- Ölçülerin doğruluk kriterleri

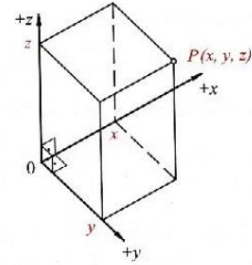


Referans Sistemleri

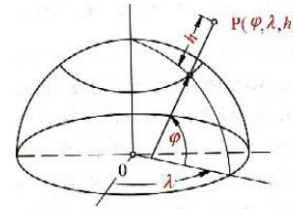
Deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde hem kartezyen veya elipsoidal hem de astronomik koordinat sistemlerinin gündeme geldiği bir, iki veya üç boyutlu koordinat sistemleri kullanılabilmektedir.



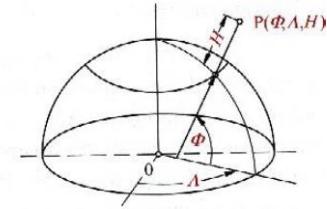
Kartezyen Sağ Sistem



Kartezyen Sol Sistem

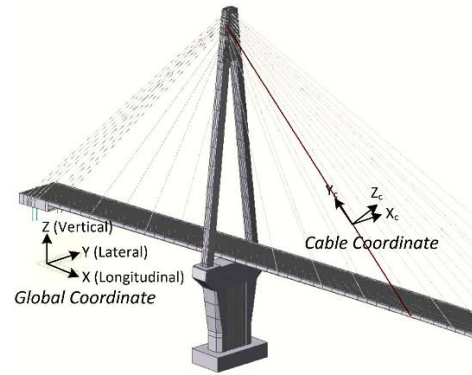
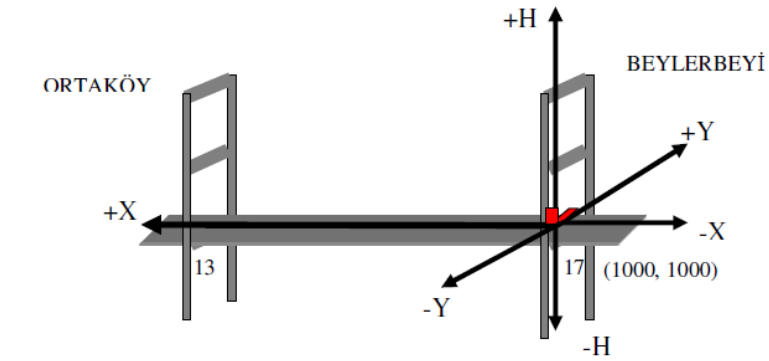


Elipsoidal Sistem
 ϕ : Elipsoidal enlem
 λ : Elipsoidal boylam
H: Elipsoidal



Doğal Sistem
 Φ : Astronomik enlem
 Λ : Astronomik boylam
H: Ortometrik

Referans Sistemleri



Source: Chan et al., 2011

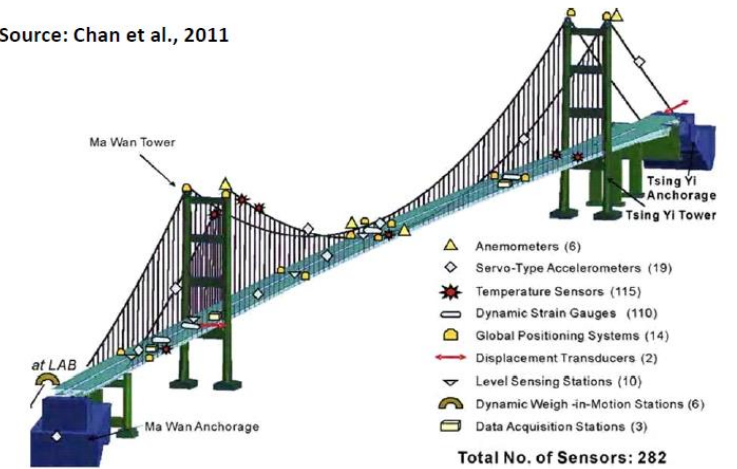
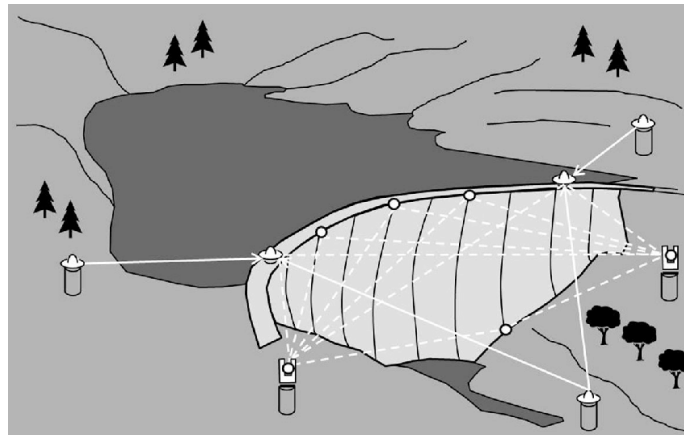
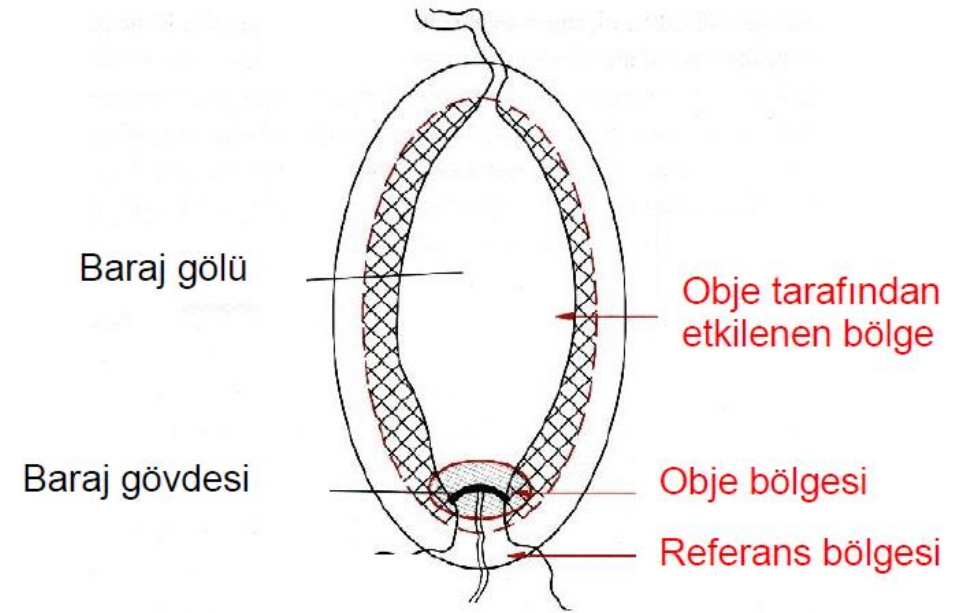


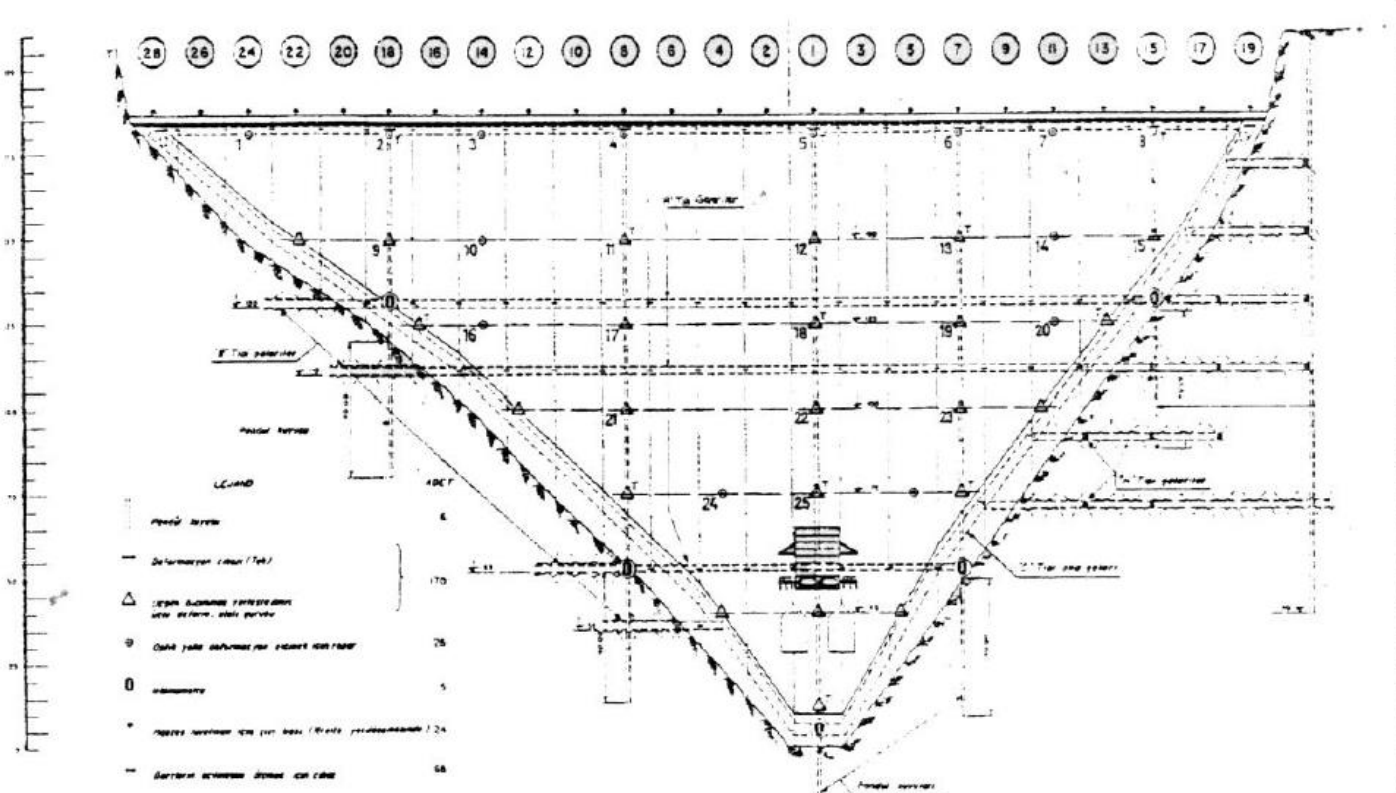
Figure 1. Instrumentation layout in Tsing Ma Bridge



Obje Tanımlaması / Geometrik Tanımlama

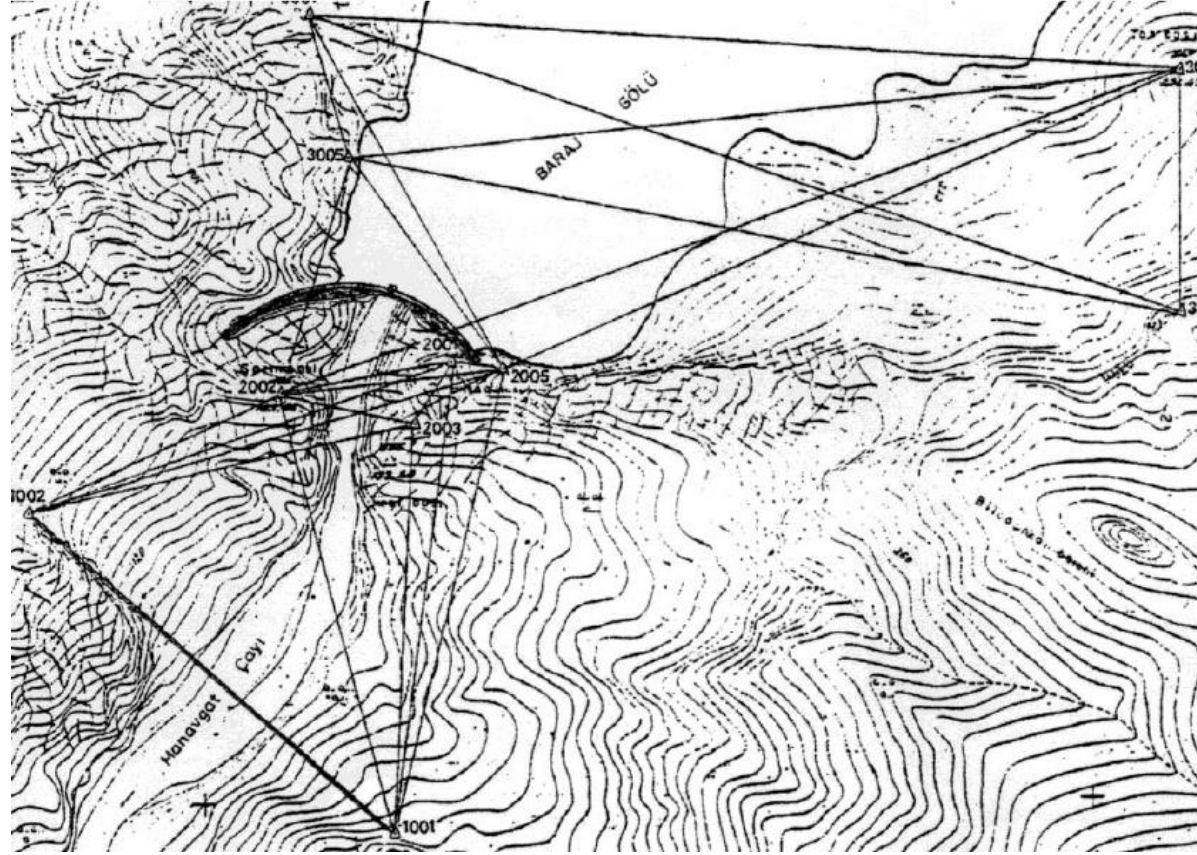
- Objenin geometrik tanımlanmasındaki temel amaç, objede meydana gelebilecek deformasyonların ortaya çıkartılmasıdır.
- Mühendislik jeodezisinde modelleme işleminde ölçülecek olan obje ve davranışı belirli sayıdaki obje noktaları ve ölçü periyotları ile tanımlanmaktadır.
- Obje noktalarının sayısı, konumları ve yerleştirilmesi ve ölçü periyotlarının seçimi ölçülecek olan objeye bağlı olmaktadır.
- Bu nedenle obje noktaları objede meydana gelecek hareketleri temsil edecek şekilde belirlenmelidir.





Baraj gövdesinin obje noktaları ile tanımlanması

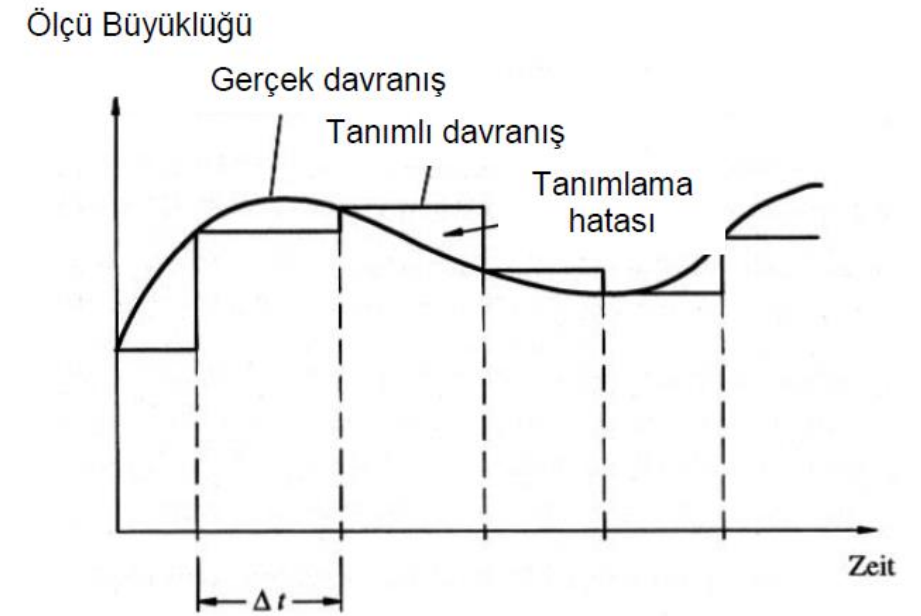
Obje Tanımlaması / Geometrik Tanımlama



Referans bölgesinin tanımlanması

Obje Tanımlaması / Zamansal Tanımlama

- Zamansal tanımlamadan ölçülerin ne zaman başlayacağı ve ne zaman sona ereceği ve hangi aralıklar ile tekrarlanacağı anlaşılmaktadır.
- Ölçülerin hangi aralıklar ile gerçekleştirilmesi gerektiği büyük ölçüde objenin davranışıyla ilişkilidir.
- Zamansal tanımlamada objeye etkiyen etkiler ve objenin bu etkilere karşı olan tepkimelerinin hangi zaman aralıklarında, periyodik veya sürekli elde edilmesi gerektiği araştırılmaktadır.
- Eğer objeye etkiyen kuvvetlerin ve objenin tepkimesi yavaş gerçekleşiyorsa periyodik jeodezik ölçüler gerçekleştirilmektedir.
- Kontrol edilemeyen etkimeler, düzensiz ve zor tahmin edilen deformasyonlarda sürekli ölçme yöntemleri tercih edilmektedir.

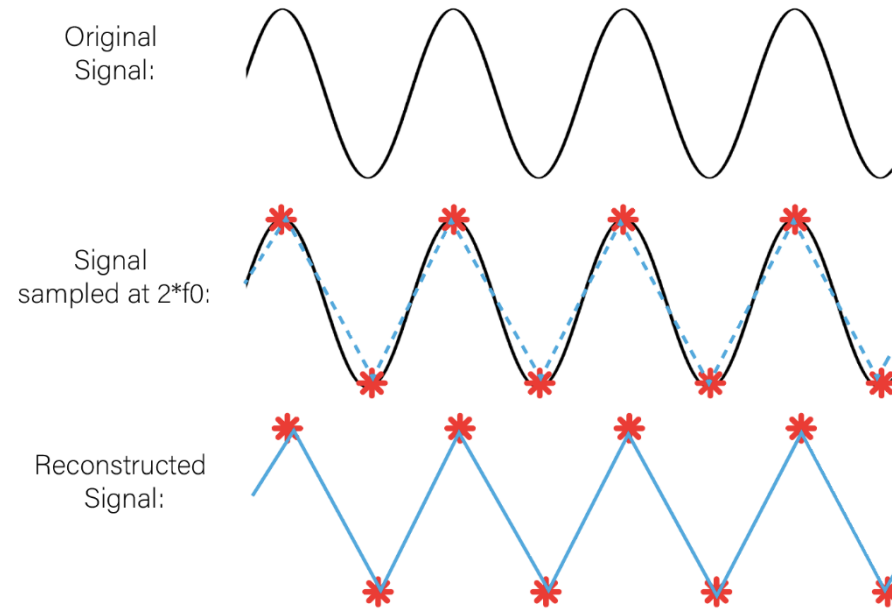


Ölçü büyüklüğünün tanımlama hatası

Obje Tanımlaması / Zamansal Tanımlama

NYQUIST TEOREMİ

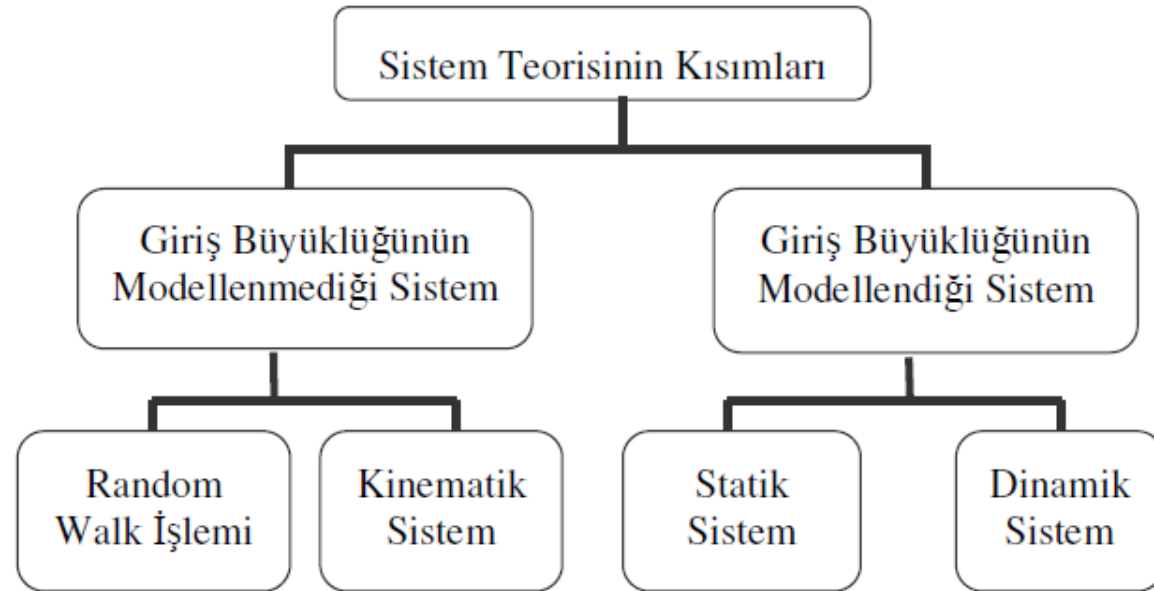
Örnekleme frekansının analog sinyalin maksimum frekansının iki katına eşit ya da büyük olması şartı Nyquist kriteri olarak adlandırılmaktadır.



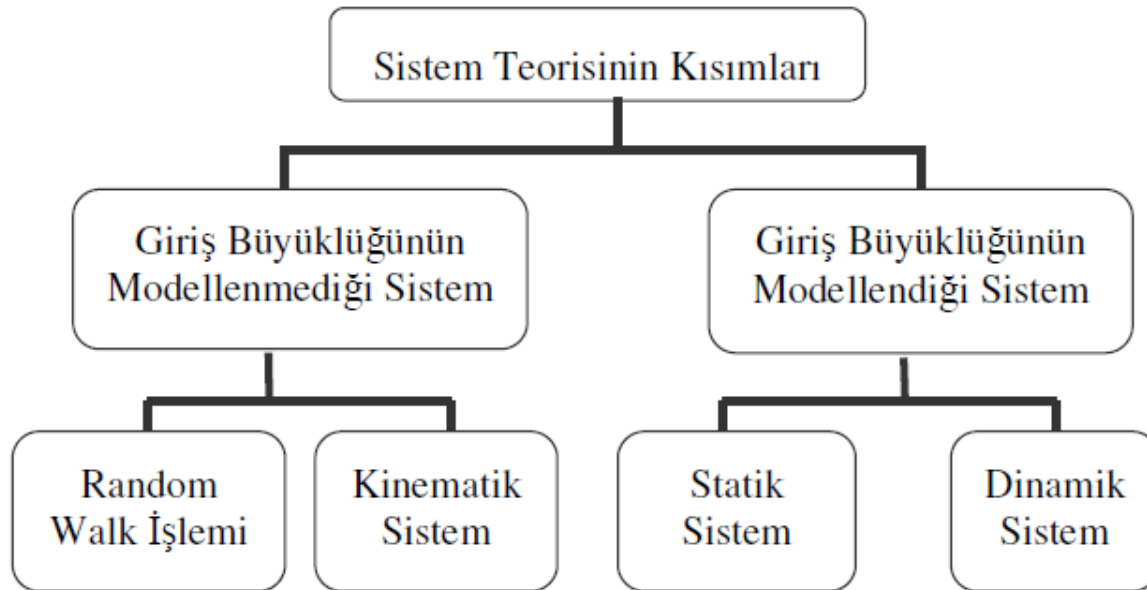
Deformasyon / Değerlendirme Modelleri

SİSTEM TEORİSİ

Sistem teorisinin amacı gerçekte mevcut olan sistemlerin davranışları hakkında nicelikli bilgiler vererek ve modeller oluşturarak sistemi tanımlamak ve analiz etmektir.



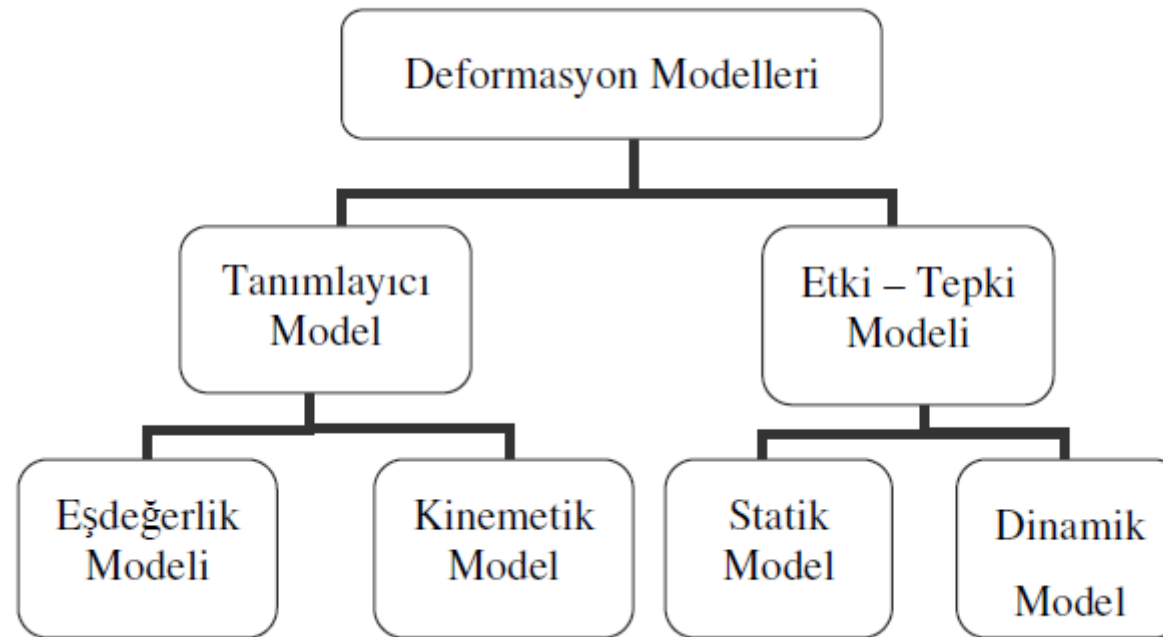
Deformasyon / Değerlendirme Modelleri



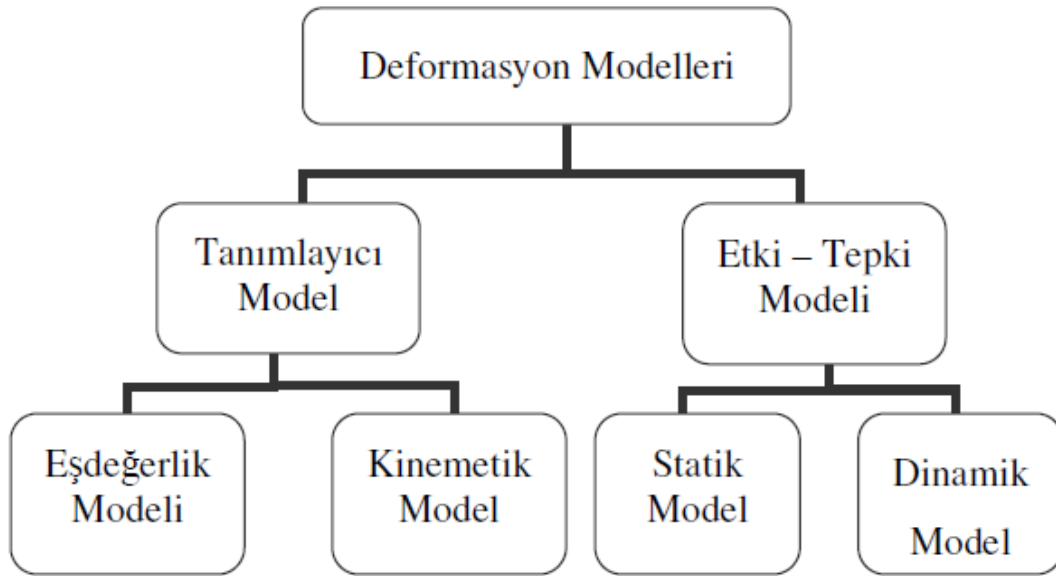
- Statik, kuvvetlerin etkisi altında olan cismin hareketsiz olduğunu varsayan denge koşullarını araştırır.
- Dinamik ise cisme etkiyen kuvvetler altında hareketin oluşumunu inceler.
- Kinematik hareketin oluşumunun göz önünde bulundurmada hareketin tanımlanmasıdır.
- Büyüklükleri bir hareket yasası oluşturmayan sistemler ise Random Walk olarak tanımlanmaktadır.

Deformasyon / Değerlendirme Modelleri

Sistem teorisine göre yapılan yukarıdaki sınıflamaya uygun olarak deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde öngörülen değerlendirme modelleri



Deformasyon / Değerlendirme Modelleri



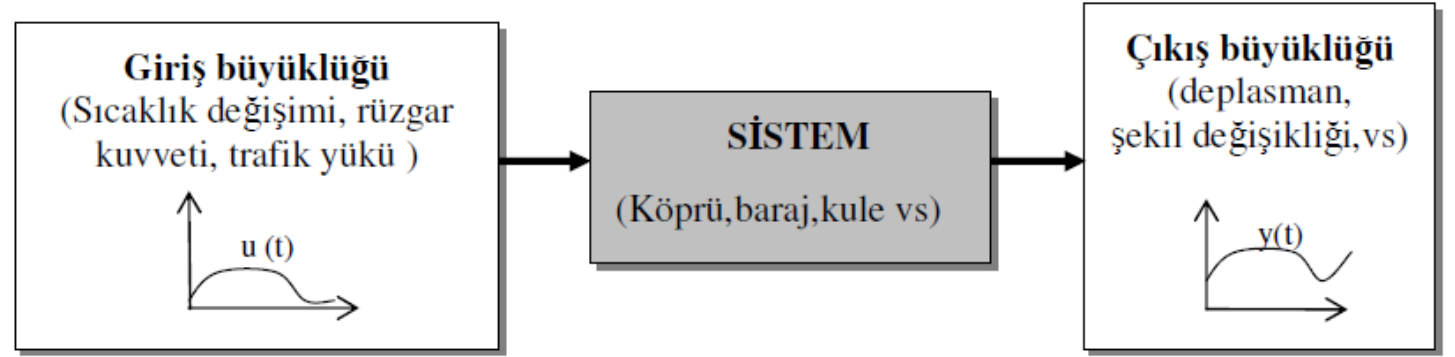
- Eşdeğerlik modelinde iki farklı zaman döneminde mevcut olan obje durumları arasındaki geometrik değişimler incelenmektedir.
- Kinematik modelde obje hareketi objeye etkiyen kuvvetler göz önüne alınmadan objenin hareketi zamanın fonksiyonu olarak hareketin zamansal akışı, hızı ve ivmesi belirlenmektedir.
- Statik modelde objenin yük ile jeodezik olarak belirlenen tepkimesi arasındaki fonksiyonel ilişki tanımlanmaktadır.
- Dinamik modelde ise objenin hareketleri zamana bağımlı olarak objeye etkiyen kuvvetler ile tanımlanmaktadır.

Deformasyon / Değerlendirme Modelleri

Deformasyon Modeli	Eşdeğerlik Modeli	Kinematik Model	Statik Model	Dinamik Model
Zaman	Modellenemez	Zamanın fonksiyona göre hareketi	Modellenemez	Kuvvet ve zamanın fonksiyonu olarak şekil değişikliği
Kuvvet	Modellenemez	Modellenemez	Kuvvetin fonksiyonu olarak şekil değişikliği	
Objenin Durumu	Dengede	Hareket sürekli	Kuvvet altında dengede	Hareket sürekli

Sistem Analizi

- Sistem ve fiziksel bir büyüklük olan, matematiksel olarak tanımlanabilen ve ölçü teknikleri ile belirlenebilen sinyal terimi, sistem teorisinin temellerini oluşturmaktadırlar.
- Sistemin matematiksel modelinin belirlenmesi ve ölçülen sinyaller yardımı ile zamansal davranışının ifade edilmesi **sistem analizi** olarak tanımlanır.



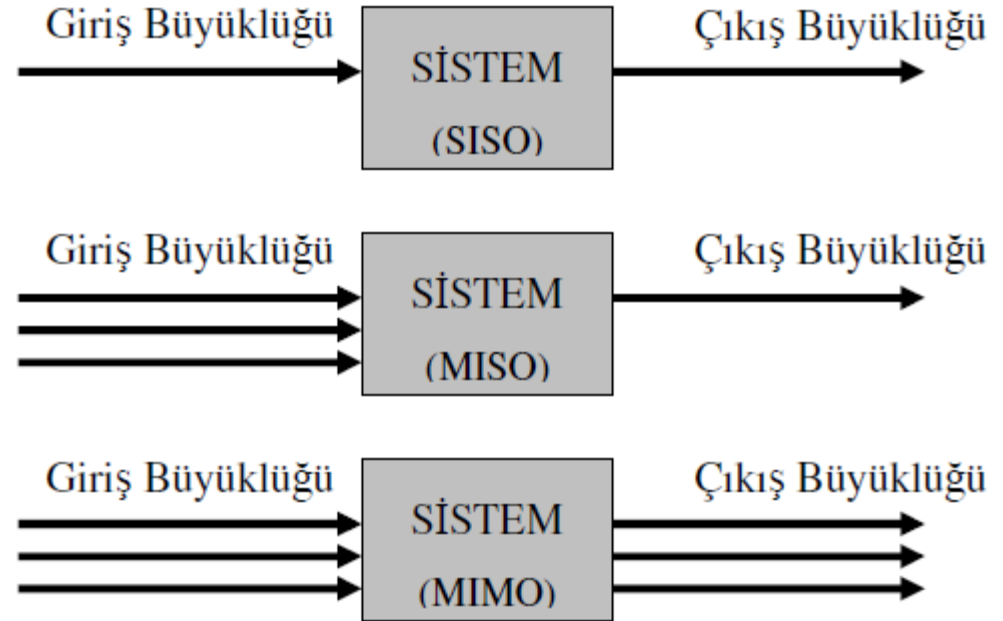
- Bir sistemin elemanları probleme bağımlı olarak giriş büyüklüğü $u(t)$ ve çıkış büyüklüğü $y(t)$ şeklinde iki gruba ayrılmaktadır.
- Sistemi tanımlayan matematiksel model, sistem analizi ile sistemin giriş ve çıkış büyüklükleri arasında oluşturulan bir fonksiyon (transfer fonksiyonu) ile elde edilmektedir.

Sistem Analizi

Sisteme etkiyen giriş ve sistemin tepkisi olan çıkış büyüklüğünün sayısına bağlı olarak sistemler;

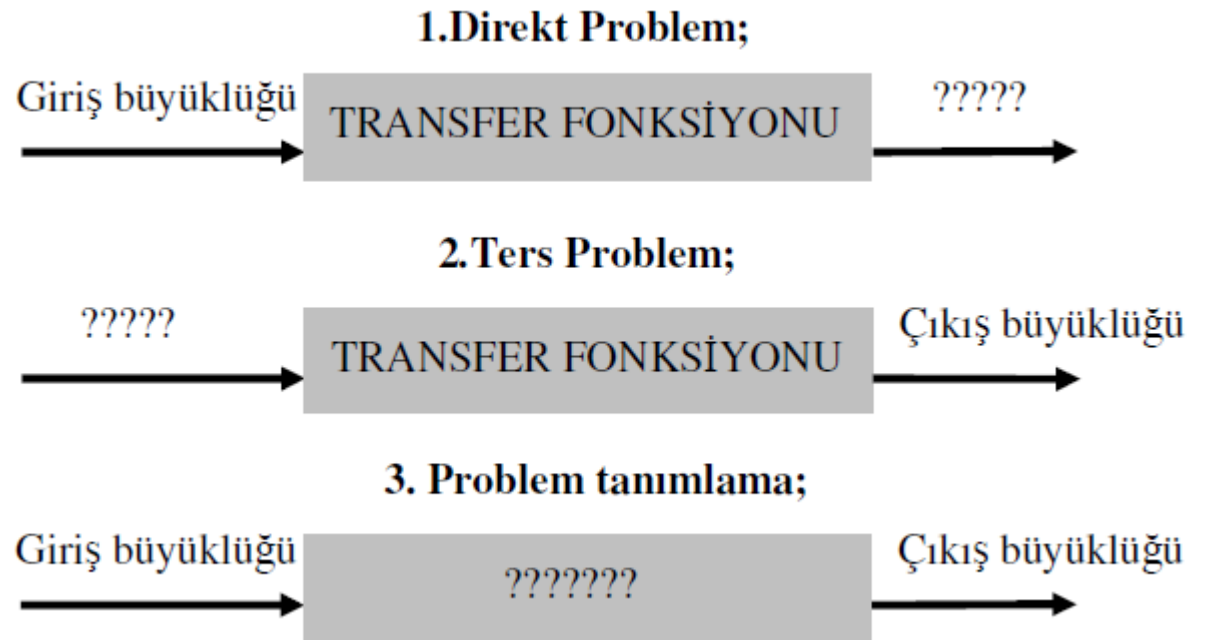
- bir giriş büyüklüğü-bir çıkış büyüklüğüne sahip sistemler (single input - single output; SISO),
- çoklu giriş büyüklüğü-bir çıkış büyüklüğüne sahip sistemler (multi input - single output; MISO) ve
- çoklu giriş büyüklüğü - çoklu çıkış büyüklüğüne sahip (multi input - multi output; MIMO) sistemler olarak

tanımlanmaktadır.



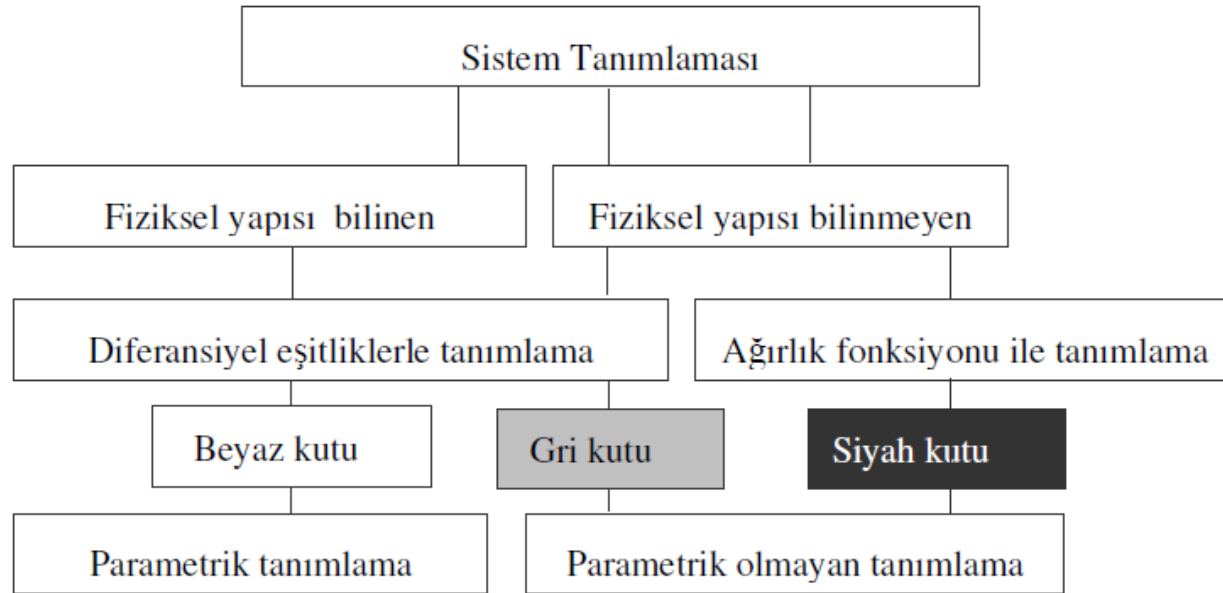
Sistem Analizi

- Dinamik sistemlerin matematiksel modellerinin kurulmasında **teorik ve deneysel sistem analizinden** faydalanılmaktadır.
- Teorik sistem analizinde modelde yapılan kabullerle hesaplama yapılmaktadır.
- Deneysel sistem analizinde ise sistemin zamansal davranışı için matematiksel model, ölçülen giriş ve çıkış büyüklüklerinden elde edilmektedir.
- Deneysel sistem analizi “**tanımlama**” olarak da adlandırılmaktadır.



Sistem Analizi

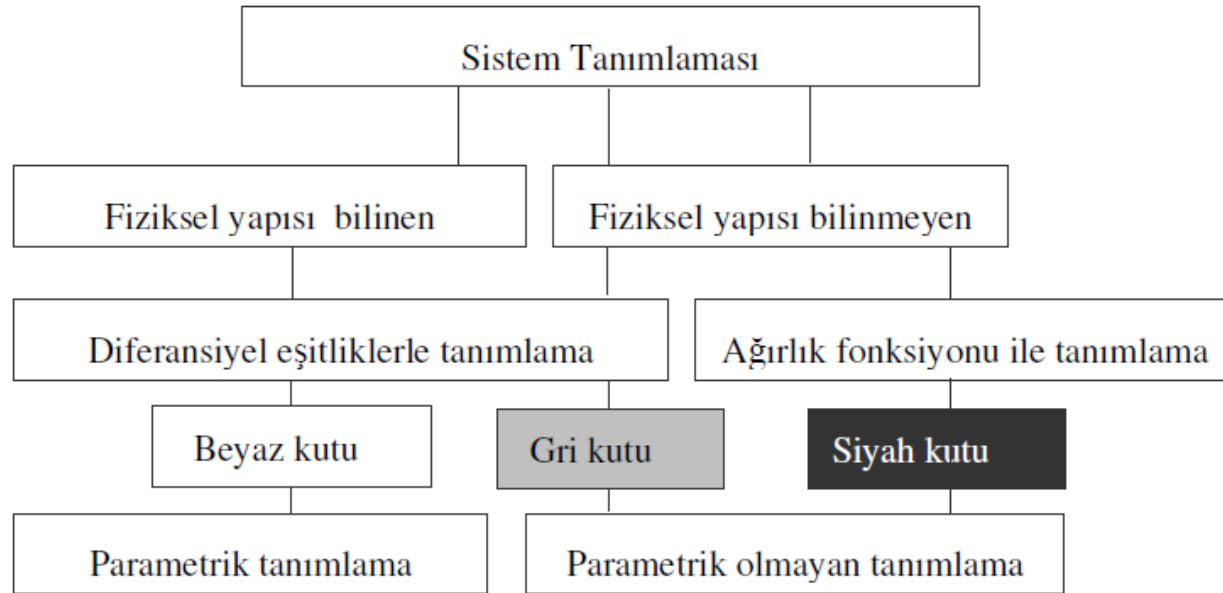
Sistem teorisinde, sistem tanımlaması, dinamik bir sistemin transfer fonksiyonunun matematiksel-fiziksel gösteriminin oluşturulması şeklinde tanımlanmaktadır. Transfer fonksiyonunun oluşturulması için nasıl bir modelin yapılabileceği, parametrik ve parametrik olmayan tanımlamaların seçimine bağlı olmaktadır.



- Giriş büyüklüğünü çıkış büyüklüğüne dönüştüren dönüşümün fiziksel yapısı biliniyorsa, en azından yaklaşık olarak belirlenebiliyorsa sistem diferansiyel eşitliklerle tanımlanır ve parametrik tanımlama söz konusu olur.
- Parametrik tanımlama ile belirlenen parametrik model aynı zamanda bir **beyaz kutu (white-box)** model adını da almaktadır.
- Bu diferansiyel denklemin çözümünde konuya yönelik yöntemler seçilir.
- Örneğin **Sonlu Elemanlar Yöntemi FEM** sayısal bir hesaplama yöntemidir.

Sistem Analizi

Sistem teorisinde, sistem tanımlaması, dinamik bir sistemin transfer fonksiyonunun matematiksel-fiziksel gösteriminin oluşturulması şeklinde tanımlanmaktadır. Transfer fonksiyonunun oluşturulması için nasıl bir modelin yapılabileceği, parametrik ve parametrik olmayan tanımlamaların seçimine bağlı olmaktadır.



- Parametrik olmayan tanımlamada sistem birkaç fiziksel yasa ile çok karmaşık tanımlanabilmekte ya da yeterince öncül bilgi elde edilememektedir. Yani sistemin yapısı bilinmemektedir.
- Bu durumda genel bir model yapısı kullanılmakta ve sistemin tanımlanması ölçülen giriş ve çıkış büyüklüklerine bağlı olarak yapılmaktadır.
- Bu tür modeller aynı zamanda **siyah-kutu (Black-box)** model olarak da adlandırılmaktadırlar

Kalman Filtreleme Tekniđi

- 1960'lı yılların başlarında Kalman ve Bucy tarafından geliştirilen Kalman Filtreleme Tekniđi, sistemlerin tanımlanmasında kullanılan oldukça popüler ve evrensel bir kestirim aracı olup bütün model türlerine uygulanabilmektedir.
- Bir tarafta sistem eşitliği olarak adlandırılan, diferansiyel eşitliklerle ifade edilen objenin model teorisi yer almaktadır.
- Diğer tarafta ise objenin gerçek davranışlarının izlendiği ölçümler bulunmaktadır ve gözlem eşitlikleri olarak ifade edilmektedirler.
- Kalman filtrelemesi En Küçük Kareler Yöntemini kullanarak her iki eşitliği birleştiren bir tekniktir.
- Yenilik ise; objenin ölçülen ve predikte edilen reaksiyonu arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır.

