

YAPI DEFORMASYONLARININ SOREKLI İZLENMESİ İÇİN YÜNTEMLER

Doç.Dr. Olcay ÖZTAN

1. DEFORMASYONLARIN SOREKLI OLARAK ULÇOLMESİNİN AMACI

Dış kuvvetlerin etkisi altında bulunan yapılarda, zamanla ortaya çıkan şekil değişimi, gittikçe artan bir ilgi ile karşılanmaktadır. Bu nedenle yapılardaki deformasyonların ölçülmesi gün geçtikçe büyuen bir önem kazanmaktadır. Bir yapıda zamanla ortaya çıkan deformasyonların çeşitli nedenleri arasında özellikle şunlar söylenebilir.

- Yapının ağırlığı ve zemindeki kütle çökmeleri.
- Yükleme (ya bir deneme yüklemesi veya kullanma yükündeki artım biçiminde olur).
- Doğa güçlerinin etkisi (örneğin ; güneş ışını, rüzgar, kıyı yapılarında gel-git olayı v.b.).

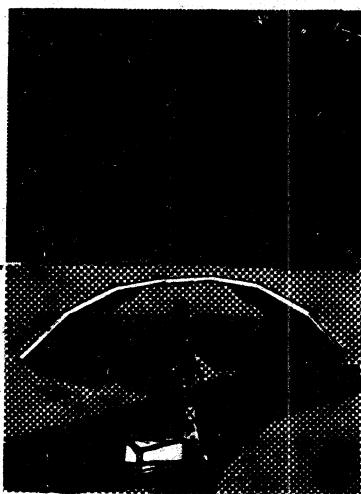
Şekil değişimi sonucu yapının dayanıklılığına olan güven ortadan kalkabilir. Bu gibi olayları tam zamanında farkedebilmek ve gerektiğinde karşı önlemler alabilmek için, tehlikeli binalar sürekli kontrol edilmelidir.

Bu amaç için uygulanan jeodezik kontrol ölçmeleri bilindiği gibi belirli zaman aralıklarında (süreksiz) yapılır. Jeodezik kontrol ölçmeleri ile, yavaş ve üniform seyreden şekil değişimi olayları iyi anlaşılabılır, fakat ani olarak ortaya çıkan deformasyonlar çoğu kez belirlenmemiş olarak uzun süre kalırlar. Bu durumda ortaya çıkacak tehlike göze alınamaz. Bu nedenle daha kısa zaman aralıklarında jeodezik ölçmeler yapılmalı veya yapı sürekli olarak kontrol edilmelidir.

Bundan başka yeni yapı konstrüksyonlarının geliştirilmesi sırasında, bu konstrüksyonlara ait yapı deformasyonlarının incelenmesi önemlidir. Böylece belirli yükler altında hesapsal olarak bulunan etkiler, deneysel olarak kontrol edilmiş olur. Bunun için; değişen yüklerde, kısa zaman aralıklarında (veya daha iyisi sürekli olarak) deformasyonları saptamak burada da gereklidir.

Bu amaç için bilinen jeodezik yöntemler güç uygulanabilir veya yapılan işe oranla çok sayıda elemana gerek gösterir. Bu, iki tipik örnek ile gösterilebilir /1/.

Üretime gecebilmek için, geliştirilmiş olan bir köprü konstrüksiyonun özellikleri araştırılıyor. Burada relatif olarak ince et kalınlıkla prefabrik bir kemer köprü sözkonusu edilmektedir (Şekil 1). Yük durumu ve büyülüğu farklı, yaklaşık 200 çeşitli yükleme altında, kemerin şekil değiştirmesi inceleniyor. Bu amaçla kemerin birçok kesitinde gözleme noktaları oluşturuluyor ve bu noktalarda yer değiştirmeler ölçülmeye (Şekil 9). Bu nedeni ile 0.2 mm lik yüksek bir doğruluk gerekmektedir. Yük durumunun çokluğu nedeni ile ; klasik trigonometrik yöntemin, eleman ve zaman gereklimi açısından ekonomik olmadığı görülüyor. Fotogrametrik yöntem ile de gerekli doğruluğa varılamadığından, bu yöntem de uygulanmıyor.



ŞEKİL:1 Prefabrik kemer köprüde yükleme deneyi



ŞEKİL:2 Asansör kulesi

Jeodezik yöntemlerin uygulanmasındaki güçlük, 134 metre yüksekliğindedeki bir asansör kulesinin güneş ışını ve rüzgar etkisi ile eğilmesinin saptanmasında da ortaya çıkmıştır. İlk ölçmelere göre kule tepesinin bir gün boyunca birkaç santimetre hareket ettiği belirlenmiştir. Bu hareketlerin % 10

luk relatif bir doğrulukla saptanması gereklili ise, kule ekseninin sapması birkaç milimetre doğruluk ile bulunmalıdır. Bu trigonometrik ölçmeler ve optik çeküller için çok yüksek bir doğruluk istegidir. Bu yöntemler ile kule hareketinin seyri ancak daha sık zaman aralıklarında tekrarlanan ölçmeler ile doğru olarak anlaşılabilir. Bu da yüksek bir eleman israfını gerektirir.

Bu örnekler (örneklerin sayısı artırılabilir), bu çeşit amaçlar için özel ölçme yöntemleri geliştirme çabasını haklı gösterir. Kenar ve açı ölçmelerini gerektiren jeodezik yöntemler, otomasyon için yeteri kadar uygun değildir. Bunun için elektriksel ölçme yöntemlerine başvurulur. Bu ölçme araçları ile jeodezik alet ve yöntemlerinin relatif olarak yüksek doğruluğuna ve ölçme alanındaki yaygın kullanımına yaklaşık olarak dahi varılamaz. Ancak, özel ölçme düzenlerinin geliştirilmesi ile bilinen jeodezik doğruluğu varmak ve bu doğruluğu aşmak mümkündür.

2. SEÇME ÖLÇME DOZENLERİ

2.1. Uzunluk Değişiminin Ölçülmesi

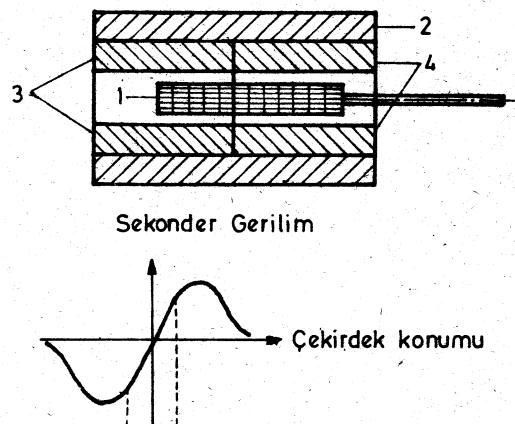
Bir yapının şekil değişimi, yapı üzerinde seçilmiş noktalar arasındaki uzunluk değişiminin ölçülmesi ile basit olarak anlaşılabılır. Böyle uzunluk değişiminin sürekli ölçülmesi için özellikle çok yaygın elektriksel Weggeber^{*}ler uygundur. Burada bir uzunluk değişimi elektriksel bir büyülükle, örneğin bir gerilime dönüşür. Bu weggeberler çeşitli prensiplerden hareketle elde edilebilirler. Bu prensiplerden bazıları şunlardır.

- Ferromagnetik bir çekirdeğin ötenlenmesi ile makaradaki induktifliğin değişmesi,
- Gerilmiş çelik bir telin özel frekansını değiştirme ile bir uzunluk değişiminin ölçülmesi.

Sekil 3 transformatör prensibine göre çalışan bir vericiyi (Geber) gösteriyor. Burada sekonder makaralar Güney ve Kuzey kutuplardır. Farklı çekirdek konumlarında ortaya çıkan sekonder gerilim bir dik koordinat sisteminde gösterilebilir. Böylece elde edilen fonksiyona karakteristik fonksiyon denir. Karakteristik fonksiyonun orta bölgesinde, fonksiyon hemen hemen

*Weggeber: deformasyona mani olmayan, iç bünyesinden geçen deformasyonu tamamen serbest bırakın, fakat serbest bıraktığı deformasyon miktarını saptayan bir araçtır.

lineerdir. Bu bölgede lineerlikten sapma kabaca % 1 in altında bulunur. Özel bir geber'in karakteristik fonksiyonu bir kalibrasyon ölçmesi ile



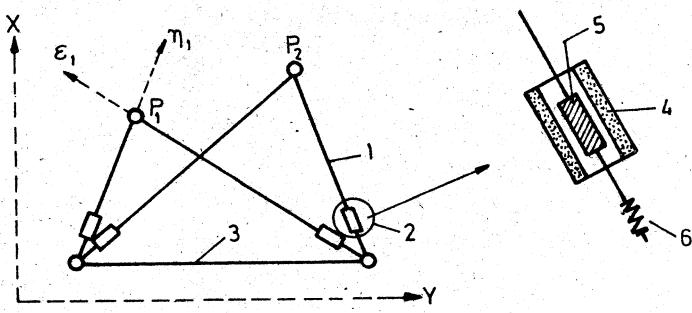
1- Çekirdek 2- Primer Makara 3- Sekonder Makara 1 4- Sekonder Makara 2

ŞEKİL:3 Diferensiyal transformatör ile karakteristik fonksiyonu

bulunursa, çekirdek yer değiştirmesi ölçme sınırının % 01'i bir doğruluk ile saptanabilir. Piyasada yaygın olarak bulunan ve yaklaşık 1,5 m uzunluğunda olan geber'in ölçme sınırı milimetrenin kesirleri içinde olduğundan alıştırlagelmiş jeodezik doğruluk isteği (gerekli görülen) bu araçlar ile daha da iyi olarak yerine getirilebilir. Bu araçlar ile ölçmelerin ancak küçük bölgelerde yapılabilmesi nedeni ile, en azından ilk bakışta zorluk ortaya çıkmaktadır. Sabit uzunlukta çubuk ve tellerin kullanılması ile ölçme bölgesi (ölçme düzeni) genişletilebilir (deformasyon sırasında çubuk ve tellerde uzama ve kısalmanın olmadığına, deformasyon olayının sadece weggeber'in içinde ortaya çıktığına dikkat etmelidir). Şekil 4'deki örnekte P_1 ve P_2 noktalarının hareketi sabit bir baza göre bu yöntemle saptanabilir.

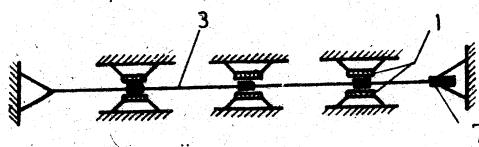
Herbir weggeberdeki çekirdeğin yer değiştirmesi ölçülerек P_1 noktasının konumundaki yer değiştirme bir ξ , η koordinat sisteminde saptanır. Daha sonra ξ , η sisteminin x,y dik koordinat sistemine transformasyonu yapıılır.

Bir diğer weggeber elektromekanik Alinyiman (Alignment)dır (Şekil 5).

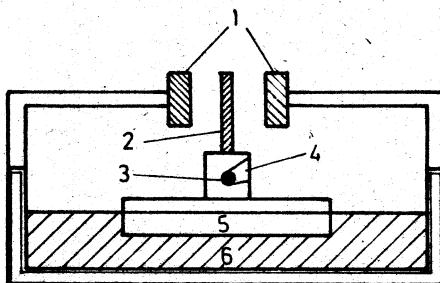


1- Germe feli 2- Weegeber 3- Baz 4- Makara 5- Çekirdek 6- Germeyayı

ŞEKİL:4 Nokta Yerdeğiştirmelerinin Ölçülmesi



a) Ölçme düzeni



b) Ölçme yeri

1- İndiktif Weggeber

5- Şamandıra

2- Ferromagnetik plakçık

6- Şamandıra havuzu

3- Gerilmiş tel

7- Hareketli makara

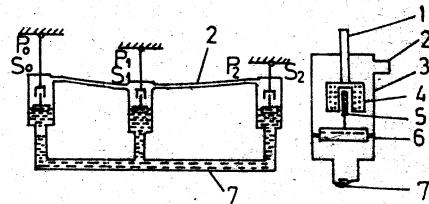
4- Gergi teli

ŞEKİL:5 Elektromekanik Alıgman

Elektro mekanik Alinyimanda gerilmiş bir tel yardımcı ile bir doğru elde edilir. Tel ara noktaları, şamandıra kabı içinde bulunan şamandıraya mesnetlenir. Her şamandıra küçük ferromagnetik bir plakçık taşıır. Bu ferromagnetik plakçığın, tele dik doğrultuda deformasyona bağlı olarak hareket eden şamandıra kabına göre konumu değişikçe induktif weggeber'in induktifliği değişir. Induktifliğin ölçülmesi ile gerili tele göre ara noktaların yer değiştirmesi bulunabilir. Burada hareketli makara deformasyonlarının serbeste yapılabilmesini sağlar. Jakop tarafından 1969 da Dresden de geliştirilen bu yöntem Hannover'de bir araştırmada uygulanmıştır. 2 cm.lik bir ölçmeye varılması durumunda enine yer değiştirme için 0.1 mm.lik bir doğruluğa erişilebilmiştir. Tel uzunlukları biliştiği gibi yalnız yapıya ait durum ile belirlidir. Sovyetler Birliğinde Bombcinskij barajında deformasyonların kontrolü için yüzlerce metre uzunlığında teller gerilmiştir (1958).

2.2. Yükseklik Değişiminin Ölçülmesi

Yükseklik değişiminin sürekli ölçülmek için özellikle hidrostatik nivelman önerilmiştir (Şekil 6).



a) Ölçme düzeni

b) Ölçme yeri

- | | |
|----------------------|--------------|
| 1- Invar çubuğu | 5- Çekirdek |
| 2- Hava borusu | 6- Şamandıra |
| 3- Ölçme silindiri | 7- Su borusu |
| 4- Induktif Weggeber | |

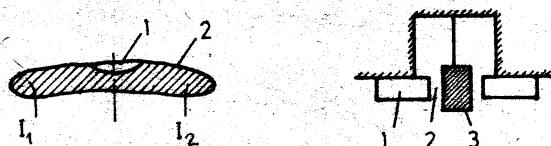
ŞEKİL:6 Otomatik hidrostatik nivelman

Bu hidrostatik nivelmanın temel ilkesi yukarıda anlatılan elektromekanik alinyimana benzer. Alinyimanda noktaların hareketi karşılaştırma doğrusuna dik olarak belirlenirken, hidrostatik nivelmanda noktaların yükseklik değişimi yatay bir karşılaştırma düzlemine göre ölçülür. Burada yatay karşılaştırma düzlemi bir akışkan yüzeyi ile gerçekleştiriliyor, Yükseklik değişimi

ölçülecek noktalar P_o , P_1 ve P_2 dir. Genel olarak bu noktalar aynı yükseklikte bulunmaz. P_o , P_1 ve P_2 noktaları öncelikle uzunluğu değişmeyen S_o , S_1 , S_2 invar çubukları ile yatay karşılaştırma yüzeyine bağlanmalıdır. Yükseklik değişiminin otomatik olarak ölçülebilmesi için çeşitli çözüm yolları denenmiş ve önerilmiştir. Örneğin Şekil 6 b'de P_o , P_1 ve P_2 noktalarının yer değiştirmesi, bir invar çubuğa bağlanmış induktif bir weggeber'in bir şamandıraya göre düşey hareketi ölçülerek saptanmıştır. Elektriksel veya elektrooptik ilkelere bağlı olan otomatik okuma düzenlerinde, yapılan okuma, deformasyonun saptanmasında elde edilen 0.01 mm.lik yüksek doğruluğa henüz erişmemiştir. Çeşitli hata kaynakları nedeni ile elde edilen doğruluk yaklaşık olarak 0.1 mm.nin altında bulunur. Şüphesiz bu doğruluk kullanım alanlarının büyük bir kısmında yeterli olabilir.

2.3. Eğim Değişimlerinin Ölçülmesi

Bir noktada gerekli doğruluğu sağlayan düşey bir doğrultu sabit varyalarak, elektronik düzeler yardım ile bu düşey doğrultuya göre açılar ve açılardaki değişimler saptanabilir. Bu açı değişimleri yapı deformasyonlarının bulunmasında gereklidir. Bu ise elektronik düzelerin deformasyon ölçmelerinde kullanılabilceğini gösterir. Deformasyon ölçmelerinde önemli bir yer tutan bu elektronik düzeler, elektrolitik ve sarkaç düzenli eğim ölçer olmak üzere iki çeşittir (Şekil 7). Bu düzeler elektriksel bir okuma düzeni ile donatılmıştır.



a) Elektrolitik düzec

1- Kabarcık

2- Elektrolit

b) Sarkaç düzenli eğim ölçer

1- Makara

2- Hava kolonu

3- Ferromagnetik sarkaç

ŞEKİL:7 Elektronik Düzeler

Elektrolitik düzecin cam tüpü içine üç elektrod ergitilmiştir. Bunlar- dan ortadaki bir voltaj kaynağının pozitif ve her iki yandaki negatif kutup- larına bağlanmıştır. Cam tüpün içi elektrolit ile doludur. Elektrolit için- den dış bağlantılar etkisi ile akan I_1 ve I_2 akımının şiddeti, düzec kabarcı- ğının değişen konumuna bağlıdır. Bu akımın ölçülmesi ile eğim değişimi bulu- nabilir.

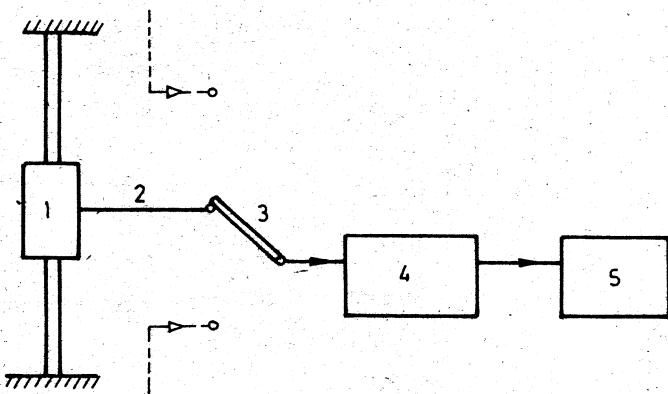
Sarkaç düzenli eğim ölçer iki indüksiyon makarasından oluşur. Bunlar arası bir ferromagnetik kütle asılmıştır. Makaranın indüktiflenmesi, sarkaç kütlesinin konumuna bağlıdır. Sarkaç kütlesinin konumu, sarkaç düzenli eğim ölçerin konulduğu düzlemin eğimi ile değişir. Böylece düzlemlerin eğim değişiminin saptanması için bir sistem elde edilir. Piyasaya yaygın olarak sevk edilen sarkaç düzenli eğim ölçerler, kullanıcı tarafından bir düğme ile değiştirilebilen çeşitli ölçme aralıklarına sahiptir. Sarkaç düzenli eğim ölçerin en yaygın tipi Talyvel düzecidir. Talyvel düzeci örneğin üç ölç- me aralığına sahiptir ($\pm 8'$, $\pm 100''$, $\pm 25''$). Bu geberlerin doğruluğu ölçme bölgесinin $\pm 1'$ ile $\pm 0.1'$ arasındadır.

3. ÖLÇME DEĞERLERİNİN KAYDEDİLMESİ,

ELEKTRİKSEL ÖLÇME DONANIMLARININ TİPİK HATA KAYNAKLARI

" Ölçme değeri vericisi ", mekanik bir büyülüğu (uzunluk, yükseklik veya eğim değişimi) elektriksel bir büyülüge çevirir. Böylece bir kablo ile elektriksel olarak nakletmek ve merkezi bir ölçme yerinde göstergeye getirmek veya kaydetmek avantajı ortaya çıkar. Uygun bir kayıt donatımı ana hatları ile Şekil 8 de gösterilmiştir.

Çeşitli ölçme yerlerinden gelen kablolar bir şaltere gelir. Şalter her sefer ölçme değerini birbiri ardına bir gösterge aletine sevkeder. Burada elektriksel ölçme büyülüğu (voltaj, akım, frekans) görülür. Bu büyülüklük ya okunur veya otomatik olarak kaydedilir. Karşılık gelen mekanik büyülükle, özel olarak saptanması gereklili bir dengeleyen fonksiyon'un (karakteristik fonksiyon) kullanılması ile, hesapsal veya grafik olarak geri transformasyon yapılır. Bir gösterge aletindeki okumadan olurken kaçınımlı ve bunun yeri- ne ölçme değerlerinin otomatik bir kaydı tercih edilmelidir. Bunun için özel- likle dijital kayıt sözkonusu olur. Özel durumlarda, özellikle hızlı olarak seyreden yapı hareketlerini izlemek için, çizgi veya noktalı benzer bir kayıt da önerilir. Gösterge araçları, kayıt araçları ve ölçme değeri vericileri



1- Ölçme değeri vericisi

2- Kablo

3- Şalter

4- Göstergé aracı

5- Kayıt aracı

ŞEKİL:8 Ölçme değerlerinin sürekli kaydedilmesi

genel olarak ölçme tekniğinde çok yaygındır. Bunlar genellikle bozulmaya karşı dayanıklı ve özel bilgi gerektirmeden kullanılabilir. Lakin araç özellikle laboratuvar koşulları altında çalıştığından, jeodezik kullanımda özel problemler ortaya çıkarabilir. Ölçme sonuçlarını bozucu önemli faktörler olarak şunlar söylenebilir.

- Temperatur Hataları

Bir ölçme değeri vericisindeki yapı elemanlarının (makara, magnetik kütle v.b.) elektriksel özellikleri temperatüre çok bağlıdır. Bazı ölçme sistemlerinde temperatür nedeni ile ortaya çıkan ölçme hataları compensation şalteri ile belirli bir sınır içinde tutulur. Buna rağmen elektriksel bir geber'in kullanımından önce değişen çevre temperatürünün, özellikle geber'in üniform olmayan bir ısınmasının etkisi iyice araştırılmalıdır. Böylece daha büyük hatalardan kaçınılabilir (gerektiğinde karşılık gelen düzeltmenin yapılmasıyla).

- Nakıldaki İşaret Bozulmaları

Ölçme değeri vericisinde ölçülmeli mekanik büyülüklük elektriksel bir işarete dönüştürülür. Bu sinyal (işaret) (özellikle bir akım veya volaj sözkonusu ise) kuramsal olarak geber aletinden kayıt aletine kadar yolda

az veya çok bozulur. Buna neden olarak öncelikle ölçme dağıtım kablolarındaki voltaj düşmesi, şalter elemanındaki bir geçiş direnci söylenebilir. Elektriksel geber'in karakteristik fonksiyonu, yerleştirilmiş durumuna göre devamlı belirlenmeli veya en azından kontrol edilmelidir. Bundan başka ölçme dağıtım kablosunun güven altına alınması önerilir. Bu ölçme kablosunun olurunca kısa tutulması gereklidir. Aşınmaya karşı şalter ve priz bağlantısı da korunmalıdır. Uygun olmayan dış bağlantılar altında ölçme sinyali digital formda (örneğin frekans olarak) amaca uygun biçimde taşınır ve böylece hata kaynağı saf dışı edilebilir.

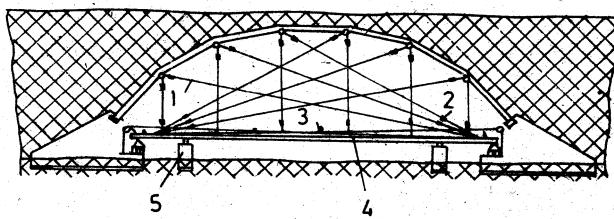
- Sıfır Noktasının Ötelenmesi

Yapıda kontrol ölçmeleri sık sık ve uzun süre yapıldığından, ölçme donatısının eskimesi ve karakteristik fonksiyonun bununla ilgili olarak değişimi önemli bir hata kaynağı oluşturur. Özellikle aracın sıfır noktasının yavaş ötelenmesinden korkulmalıdır (sıfır noktasının bu ötelenmesine drift denir). Sıfır noktası hatası iki konumdaki ölçme ile saptanır.

4. TATBİKAT ÖRNEĞİ

4.1. Bir Köprünün Yükleme Deneyi

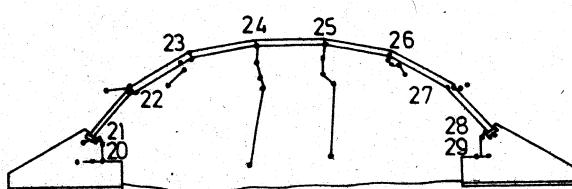
Şekil 1 de gösterilen kemer köprünün şekil değişimi çeşitli yüklemeler altında incelenmiştir. Bunun için 5 kesit alınmış ve her bir kesitte, 6 si kemer üzerinde, 2 si I taşıyıcısı üzerinde olmak üzere toplam 8 ölçme noktası oluşturulmuştur.



1- İnvar teli	4- I taşıyıcı
2- İndüktif Weggeber	5- Beton kolon
3- Gözleme işareteti	

ŞEKİL:9 Kemerdeki deformasyonun ölçülmesi için düzen

Ölçme noktalarının hareketi kendi kesit düzleminde ölçülebilmiştir. Ölçmeler iki aşamada yapılmıştır. Birinci adımda kemer noktalarının rölatif hareketleri kemerden bağımsız hareket edebilen çelik bir taşıyıcıya göre bulunmuştur. Bunun için herbir nokta yayla gerilmiş iki invar teli ile taşıyıcıya bağlanmıştır. Kesit üzerindeki nokta ile taşıyıcı üzerindeki nokta arasındaki uzaklığın değişimi, invar tellerinde boy değişimi söz konusu olmadığı için, doğrudan doğruya indüktif weggeber'e etki eder (Şekil 4). Geber olarak ± 14 mm.lik ölçme sınırı olan diferansiyel transformatörler kullanılmıştır. Bunlarla 0.1 mm lik bir ölçme doğruluğuna varılabilmiştir. 5 kesite ait 40 noktadaki deformasyonun bulunması için toplam olarak 80 Weggeber, bu noktalara yerleştirilmiştir. Otomatik bir şalter ile, ölçme değerleri, merkezi bir ölçme yerine iletilmiştir. Bu ölçme değerleri burada bulunan dijital bir voltmetreden birkaç dakika içinde okunabilmistiştir. İkinci adımda çelik taşıyıcının muhtemel hareketleri gözlenmiştir. Bunun için, her taşıyıcı üzerine, trigonometrik ölçme amacı ile üç hedef işaretini yerleştirmiştir. Taşıyıcı üzerinde alınan hedef noktalarındaki yer değiştirmelerin, kemer üzerindeki noktalara göre çok küçük olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle trigonometrik gözlemler daha büyük zaman aralığında yapılmıştır (yaklaşık bir haftalık aralıklarla). Ölçme donatısı, kısmen çok kötü hava

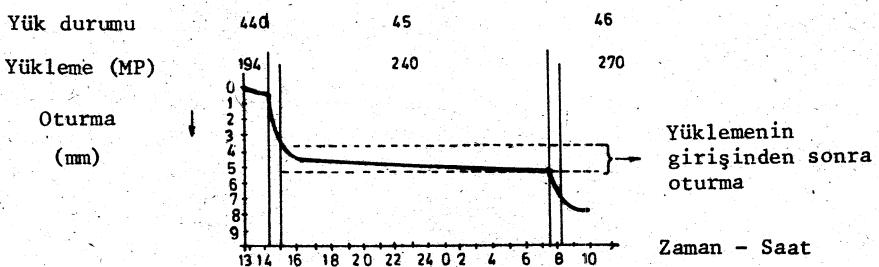


Başlangıç durumu	7	27 Ekim 1973	4.5 m üst örtüsü
Yerdeğiştirme durumları	8	27 Ekim 1973	30 MP
	9	28 Ekim 1973	45 MP
	10	28 Ekim 1973	60 MP
	11	29 Ekim 1973	120 MP
Enine kesit ölçüği			— 1 m
Yerdeğiştirme ölçüği			— 1 mm

ŞEKİL:10 Ölçülen kemerde şekil değişimi

koşulları altında, büyük arıza vermeden birkaç ay çalışmıştır. Zaman zaman nem ölçme kablosunun fiş bağlantısına etki etmiş, bu nedenle ortaya çıkan kaba hatalı ölçmeler daha sonra ayıklanabilmiştir. Şekil 10 da kemerin şekil değişim diyagramı hareketler çok büyütülmüş olarak verilmiştir.

Seçilen ölçme yöntemi ile sürekli yükleme altındaki kemerde şekil değişimini zamanla gidişi de saptanmıştır. Şekil 11 merkezi bir yükleme altında kemerin tepesindeki (Şekil 10 da 25 numaralı nokta) noktanın zamanla çökme seyrini gösteriyor. Yükün artımında kemer öncelikle relativ olarak hızlı çöküyor. Bu yüklemeden sonra çökme şiddetle yavaşlamasına rağmen asla sona ermiyor. Oturma ya deformasyonun zamanla seyri olarak sürekli veya yeni bir yük durumuna uyuncaya kadar beklenerek kesikli kaydedilir.



ŞEKİL:11 Yük altında kemer şekil değişmesinin zamansal gidişi

4.2. Bir Kulenin Eğilme Çizgisinin Saptanması

Rüzgar ve Güneşin etkisi altında yüksek binaların hareketi, özellikle eğilmesi son senelerde jeodezik ölçmelerin sık sık konusu olmuştur. Şekil 2 de verilen asansör kulesinin hareketi aşağıdaki kesin ve basit yöntem ile saptanabilir. Bunun için kulenin farklı yüksekliklerine birbirine dik olarak iki sarkaç düzenli eğim ölçer yerleştirilir. Ölçme ilkesi Şekil 12 den görülmektedir. P_0 dan P_5 'e kadar olan noktalara sarkaç düzenli eğim ölçer konulmuştur. Kule tepesinin sapması (Şekil 12), /2/, /3/ ;

$$y = \Delta y_{01} + \Delta y_{12} + \dots + \Delta y_{4,5}$$

ile hesaplanır. Her bir Δy_{ij} terimi,

$$\Delta y_{ij} = s_{ij} \cdot \sin \beta_{ij} \approx s_{ij} \frac{\beta_{ij}}{\rho}$$

dir. P_i ve P_j noktaları arasındaki kule ekseninin eğriliği daire yayı olarak varsayılsa,

$$\beta_{ij} = \frac{1}{2} (\phi_j - \phi_i) + \phi_i = \frac{1}{2} (\phi_i + \phi_j)$$

biçiminde bulunur. Buradan,

$$\Delta y_{ij} = s_{ij} \cdot \frac{1}{2\rho} (\phi_i + \phi_j)$$

elde edilir. Kule tepesinin düşeyden sapması,

$$y = \frac{1}{2\rho} \left[s_{01}\phi_0 + (s_{01} + s_{12})\phi_1 + \dots + (s_{34} + s_{45})\phi_4 + s_{45}\phi_5 \right]$$

ifadesinden bulunur.

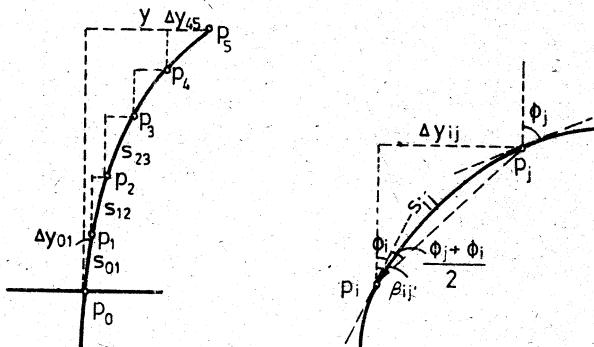
Burada ϕ_i ve ϕ_j kule ekseninin düşeyle oluşturduğu açıdır. Gerçi bu ϕ değerleri sarkaç düzenli eğim ölçer ile doğrudan doğruya ölçülemez /4/, ancak bir başlangıç durumuna göre değişimi yeterli doğruluk ile kaydedilebilir. Veya bu ϕ açısının değişimi kaydedilmek suretiyle kulenin relativ hareketi hesaplanabilir /2/, /3/.

Kule tepesinin sapması bir t' zamanı için y' , t'' zamanı için y'' hesaplanırsa, relativ sapma ;

$$\Delta y = y'' - y' = \frac{1}{2\rho} \left[s_{01}(\phi''_0 - \phi'_0) + (s_{01} + s_{12})(\phi''_1 - \phi'_1) + \dots + (s_{34} + s_{45})(\phi''_4 - \phi'_4) + s_{45}(\phi''_5 - \phi'_5) \right]$$

olur. $(\phi''_i - \phi'_i)$ eğim değişimini göstermektedir. Birinciye dik bulunan ikinci

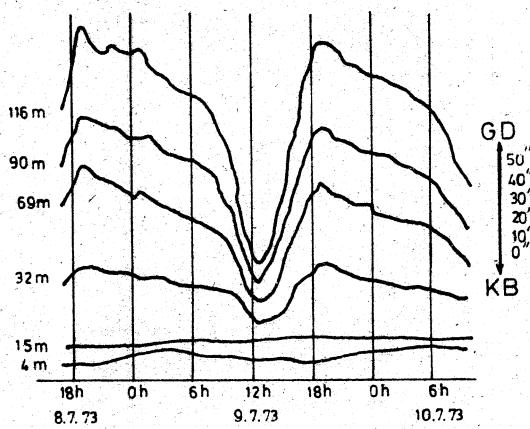
düzeç doğrultusundaki Δx sapması benzer biçimde bulunabilir. Böylece kule-nin toplam hareketi bulunabilir.



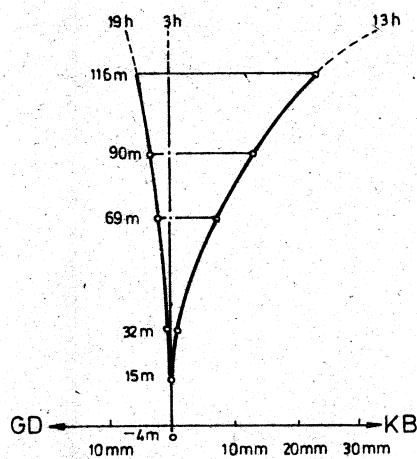
ŞEKİL:12 Düzeç okumalarından kule salınımının çıkarılması

Bu yöntem ile yapılan bir uygulamada sarkaç düzenli eğim ölçer 6 farklı yüksekliğe yerleştirilmiştir. Her bir sarkaç konumuna karşılık gelen bir doğru voltaj, kulenin zeminindeki merkezi bir ölçme yerine gönderilmiş ve orada kaydedilmiştir. Şekil 13'de söz konusu edilen kayıtlardan örnek olarak bir özet, Şekil 14'de de Şekil 13'den elde edilmiş kule ekseni defor-masyonu verilmiştir. Şekil 14'den kule ekseni saat 3 de düşey konumda, saat 19 da Güney Doğuya doğru, saat 13 de de Kuzey Batıya doğru eğildiği görülmektedir. Saat 13 ve 19 ekstrem durumlardır.

Düzeç okumasının doğruluğu $\pm 2''$ kadardır. Kulenin eğim çizgisinin sap-tanmasındaki doğruluk kule yüksekliği arttıkça azalır. Örnekteki kulenin hareketleri maksimum 1-2 mm lik bir karesel ortalama hata ile bulunabilmiş-tir (küle tepesi için).



ŞEKİL:13 Eğim değişiminin kaydedilmesi



ŞEKİL:14 Kuzey Batı - Güney Doğu doğrultusunda kulenin eğim çizgisi

K A Y N A K Ç A

- /1/ Pelzer,H. : Methoden zur kontinuierlichen Erfassung von Bauwerksdeformationen. Geodätische Woche Köln 1975, s. 74-84.
- /2/ Fey,W., Helfer,G., Kremer,W., Ley,M. : Methoden zur Bestimmung von Bauwerks-schwingungen. Geodätisches Seminar WS 1979/80, s. 134-150.
- /3/ Kempen,M., Wüller,H. : Möglichkeiten zur Erfassung von Bewegungen turmartiger Gebäude. s. 129-136.
- /4/ Öztan,O. : Elektronik Düzeçler. Harita Dergisi. Harita Genel Komutanlığı, Sayı 93, Temmuz 1984 s.49-64.