

## TÜRKİYE 6. KÖMÜR KONGRESİ The Sixth coal Congress of TURKEY

YERALTI OCAKLARINDAKİ ÖLÇÜMLERDE KULLANILABİLECEK  
İKİ KONVERJANS ÖLÇER TASARIMI VE  
BİR YÜK İZLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

DESIGN OF TWO CONVERGENCE RECORDERS AND  
DEVELOPMENT OF A LOAD MONITORING SYSTEM  
TO BE USED IN UNDERGROUND MINES

Erdal ÜNAL\*

### ÖZET

Yük ve konverjans yeraltı tahkimat sistemlerinin tasarımında ve yeraltında yaratılan boşlukların duraylılığının kontrolünde dikkate alınan önemli parametrelerden iki tanesidir. Dünyada, yeraltı ölçüm sistemleri ve ölçüm tekniklerinin kullanımı çok büyük bir hızla artmaktadır. Buna karşılık, Türkiye'de tasarım ve duraylılık kontrolü amacıyla kullanılan ve sürekli veri toplayıp bunları değerlendirebilecek sistemler henüz yeraltı ocaklarına girmemiştir.

Bu tebliğde, yeraltı ocaklarındaki ölçümlerde kullanılacak iki konverjans ölçer tasarımı ve bir yük izleme sisteminin geliştirilmesi konusunda O.D.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü'nde yapılan çalışmalar anlatılmaktadır.

### ABSTRACT

Load and Convergence are two of the important parameters widely considered in design of underground support systems and in controlling overall stability of underground openings. Although, there has been a major increase in use of underground instrumentation and measurement techniques in the world, systems for continuous monitoring of underground data and for data acquisition have not been utilized in Turkey yet.

In this paper, studies associated with the design of two convergence recorders and development of a load monitoring system are presented. These studies have been carried out in the Mining Engineering Department at the Middle East Technical University (M.E.T.U.).

(\*) Doç.Dr., Maden Yük.Müh., ODTÜ Maden Müh.Böl., ANKARA

## 1. GİRİŞ

Genel olarak, yeraltında yapılan ölçümlerin amaçları şunlardır; yapılan tasarımın uygunluğunu kanıtlamak için kaya mekaniği parametrelerinin elde edilmesi; bu tasarım aşamasında varılan sonuçların ve verilen kararların ne derece geçerli ve başarılı olduğunun kontrolü; ihtiyaç duyulduğunda ek emniyet önlemleri alarak tasarımda gerekli iyileştirmelerin yapılması; hazırlık ve üretim faaliyetleri sırasında ve sonrasında yeraltı yapılarının (kaya kütlesi, açıklık ve tahkimat) genel davranışlarının kontrolü ve bu yapıların emniyet sınırları içerisinde duraylı davranıp davranmadığının günlük olarak izlenmesi.

Özellikle, konverjans ve yük Ölçümlerinin amaçları ise şunlardır:

- (i) Kuyu, ocak girişi, ana nakliyat galerisi, tavan ve taban yolları, topuk ve ayaklarda kaya kütlesi ve tahkimat davranışlarının izlenmesi, özellikle:
  - (a) tavan inmesi, taban kabarması ve yanıl kapanma gibi tabaka hareketlerinin miktar ve artış hızlarının belirlenmesi; bu hareketleri ve varsa ağırlı deformasyonları oluşturan nedenlerin araştırılması. Bu aşamada toplanan veriler adı geçen yeraltı boşlukları ve topukların boyutlandırılması konumlarının belirlenmesi, kazı yönteminin seçilmesi ve tahkimat türünün saptanması gibi analizlerde kullanılmaktadır;
  - (b) tahkimatlar üzerine gelen yük ve yük yoğunluklarının belirlenmesi. Bu veriler diğere gerekli verilerle birlikte tahkimat türü, özellikleri ve düzeninin belirlenmesinde kullanılmaktadır.
- (ii) Yeraltı yapılarının duraylılık koşulları ve tehlike sınırlarının belirlenmesi. Gerektiğinde bu verileri kullanarak erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi.

Yukarıda kısaca Özetlenen hedeflere varabilmek için, yeraltı ocaklarında yapılacak Ölçümlerde kullanılmak üzere iki ayrı tür konverjans ölçer ve bir yük izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu tebliğde, bu ünitelerle ilgili bilgiler sunulacaktır.

Tasarımı yapılan konverjans ölçerlerin her ikisi de mekanik türden olup, bunlardan biri "teleskopik konverjans ölçer" diğeri ise "tamburlu konverjans ölçer" adıyla anılacaktır. Teleskopik konverjans Ölçer iç içe geçebilen üç ayrı teleskopik tüpten oluşmaktadır. Sabit nokta arasında oluşan konverjans alet üzerindeki göstergelerden (kompratörden) direkt olarak okunmaktadır. Konverjan ölçerin duyarlılığı 0.03 mm olup 0-120 cm arasındaki hareketleri ölçebilmektedir. Tamburlu konverjan ölçer ise kremayer ve dişli çarklardan oluşan bir ünite olup döner bir silindir üzerine sürekli konverjans kayıt edebilme özelliğine sahiptir. Hassasiyeti 0.03 mm, büyütme oranı 10 olan bu ölçer 0-2.5 cm arasındaki hareketleri ölçebilmekte, daha büyük konverjanslar içine ölçme üst sınırına varıldığında aletin yeniden ayarlanması gerekmektedir.

Geliştirilen yük izleme sistemi üç adet yük hücresi, üçer giriş ve çıkış terminali olan bir bağlantı kutusu, üç adet sinyal düzenleyici

ünite ve iki adet çift kanallı döner kaydediciden (strip-chart recorder) oluşmaktadır. Sistemle 70 tona kadar olan yük okumaları 250-500 kg'lık hassasiyetle yapılabilir.

ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği Laboratuvarında geliştirilen bu ünitelerden "tamburlu konverjans ölçer" ve "yük izleme sistemi" bir araştırma programı çerçevesinde, Etibank'a ait bir yeraltı ocağında başarı ile kullanılmıştır. Tamburlu konverjans Ölçerinin yeraltında kullanılması için üzerinde bazı değişikliklerin yapılması gerekmektedir.

## 2. KONVERJANS ÖLÇERLER

Konverjans, tavan ve taban arasında göreceli olarak oluşan düşey kapanma veya iki paralel topuk (veya galeri duvarı) arasında oluşan yatay kapanma olarak tanımlanmaktadır. Konverjans ölçümleri maden mühendisliğinde değişik tasarım aşamalarında ve duraylılığın izlenmesinde önemli bir araştırma aracı olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak, konverjans ölçerleri kullanılan alıcı (transducer) türüne göre mekanik, elektronik veya ultrasonik olarak üç gruba ayırmak mümkündür. Konverjans Ölçerlerinin seçiminde rol oynayan önemli faktörler şunlardır:

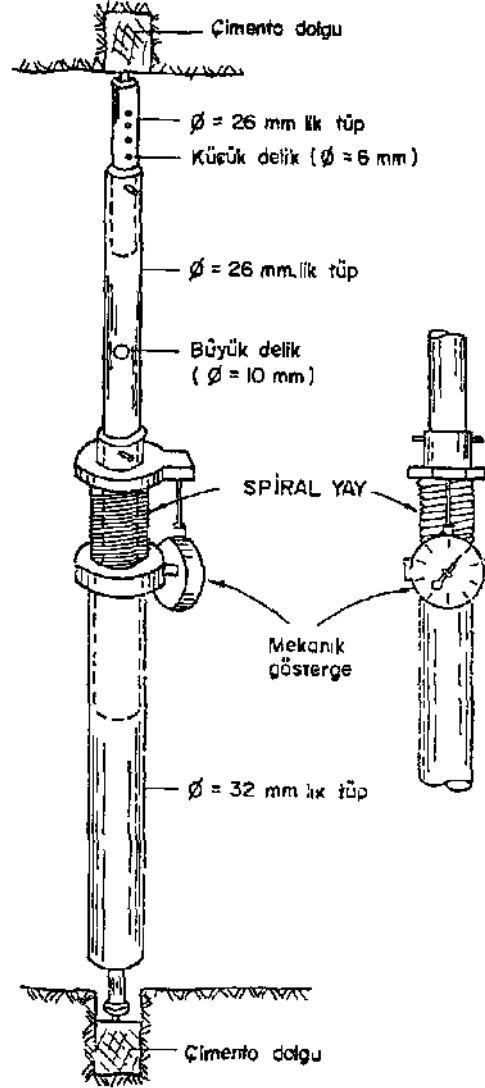
- (i) yeraltında kullanılabilirlik özelliği
- (ii) ölçme sınırları ve kapasitesi
- (iii) duyarlılığı
- (iv) devamlı kayıt yapabilirlik Özelliği
- (v) fiyatı
- (vi) piyasadaki teminindeki kolaylık

ODTÜ'de geliştirilen konverjans ölçerlerinin her ikisi de mekanik ölçer olmasına karşılık farklı özellikler göstermektedirler.

### 2.1. Teleskopik Konverjans Ölçerler

Teleskopik konverjans ölçerinin orijinal tasarımı ABD Maden Bürosu (USBM) tarafından yapılmıştır (1). ODTÜ'de tasarımı yapılan konverjans ölçer, Etibank Simav yeraltı ocağı galeri ve ayak yükseklikleri gözönünde alınarak ve orijinal şeklinden bazı değişiklikler yapılarak imâl edilmiştir. Bu konverjans ölçer Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir.

Konverjans ölçer, iç içe geçebilen paslanmaz çelikten yapılmış üç ayrı çapta teleskopik tüpten meydana gelmektedir. Alet üzerinde bulunan spiral yay, ölçerinin tavan ve tabana yerleştirilmiş iki sabit nokta arasında gerdirilmesini sağlamaktadır. Tavan ve taban hareketi sonucunda oluşan konverjanslar galeri yüksekliğine göre Önceden ayarlanmış olan alt ve üstteki teleskopik tüpleri hareket ettirmekte ve bu hareket sonucu tüpler arasındaki spiral yay sıkışmaktadır. Altındaki tüp üzerine sabit olarak tespit edilen göstergeler üst tüp üzerindeki plakaya değen ve düşey olarak hareket eden kolu vasıtasıyla meydana gelen konverjansları direkt olarak göstermektedir. 0-20 mm arasındaki hareketler adı geçen deformasyon göstergesinden okunmakta, 20 mm'den büyük hareketler, en üstte bulunan tüp üzerine 20 mm aralıkla yerleştirilmiş olan



Şekil 1. Teleskopik Konverjans Ölçerin Şematik Görünümü

küçük deliklerin hareket payı bittiğinde, orta tüp üzerinde 400 mm arayla yerleştirilen büyük deliklerden ayarlama yapılmaktadır. Konverjans ölçer ile yüksekliği 1.90-3.10 metre arasında olan yeraltı boşluklarında ölçüm yapılabilmektedir. Gerekli değişiklikler yapılarak diğer yükseklikteki açıklıklarda kullanılabilen bir konverjan ölçer tasarımı yapmak mümkündür.

İmal edilen konverjans ölçerin duyarlılığı yaklaşık 0.03 mm olup 0-120 cm arasındaki konverjansları ölçebilmektedir. Bu alet hem galeriler hem de ayaklarda kullanılabilen niteliktedir.

## 2.2. Tamburlu Konverjans Ölçer

Konverjans ölçer yapımına geçilmeden önce aşağıda belirtilen nitelikleri içeren bir ünitenin tasarımı planlanmıştır:

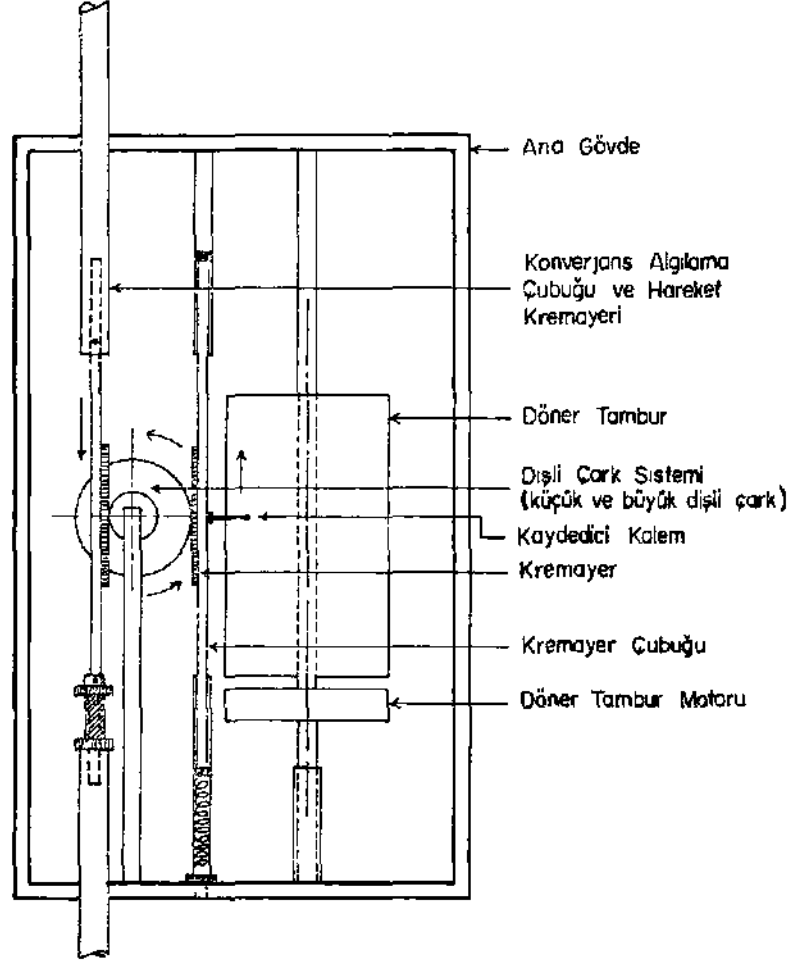
- (i) yeraltı şartlarında kullanılabilir, mekanik bir ölçer olması;
- (ii) devamlı kaydetme yapabilir nitelikte olması;
- (iii) Ölçme hassasiyetinin 0.01 mm civarında olması
- (iv) mümkün olduğu kadar ucuz ve ODTÜ atelyelerinde imal edilebilir olması.

Yapılan ön araştırmalar sonucunda kremayer ve dişli çarklardan oluşan ve büyütme oranı 10 olan bir konverjans ölçerin yapılabileceği ortaya çıkmıştır. Bu aşamada ortaya çıkan en büyük sorun sistemde kullanılan "modül" oranı olmuştur. Ön tasarımda modülün 0.9 olması istendiği halde atelyede imal edilebilir en küçük modülün 2.0 olabileceği belirtilmiştir. Bu durumda, kullanılan dişlilerin çapları planlanandan daha büyük olmuştur.

Yukarıda özetlenen çalışmalar sonucunda, Şekil 2'de şematik olarak gösterilen konverjans ölçer imal edilmiştir (2). Bu üniteyi oluşturan ana parçalar şekil üzerinde belirtilmiştir, ünitenin dişli sistemi, çap oranları 1/10 olan bir küçük ve bir büyük dişli çark ile hareketi küçük dişliye ileten ve büyük dişliden alan iki kremayerden oluşmaktadır. Tavan ve tabanın düşey hareketi (konverjans) hareket çubuğu tarafından algılanmakta ve bu çubuk üzerine yerleştirilmiş olan birinci kremayer tarafından küçük dişliye (pinion) aktarılmaktadır. Küçük dişlinin dönmesiyle yatay yönde oluşan hareket bu dişliyle aynı shaft üzerinde hareket eden büyük dişliye iletilmekte ve bu sırada ilk hareket 10 kat büyütülerek ikinci kremayera geçirilmektedir. Düşey yönde hareket etmekte olan bu ikinci kremayer üzerine tesbit edilinen yazıcı bir kalem, hareketi 10 kat büyütülmüş olarak döner tambur üzerindeki miliratrik kağıda devamlı olarak kaydetmektedir. Tamburun dönme hızı, üzerindeki ayar düğmesi ile "1 tur/gün" veya "1 tur/hafta" olarak ayarlanabilmektedir.

Tamburlu konverjans ölçerin kalibrasyonu "TML-Tipi" ve duyarlılığı<sup>1</sup> %0.1 olan bir elektronik potansiyometre ile yapılmıştır. Kalibrasyon için, aşağıda belirtilen işlemler sırasıyla gerçekleştirilmiştir.

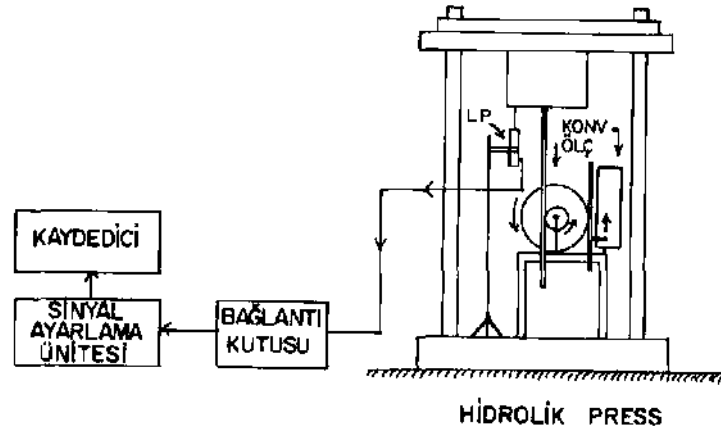
- (i) konverjans ölçer ve potansiyometrenin hidrolik presin platenleri arasına yerleştirilmesi,
- (ii) potansiyometre ve elektronik ünitelerinin bağlanması ve kontrolü,



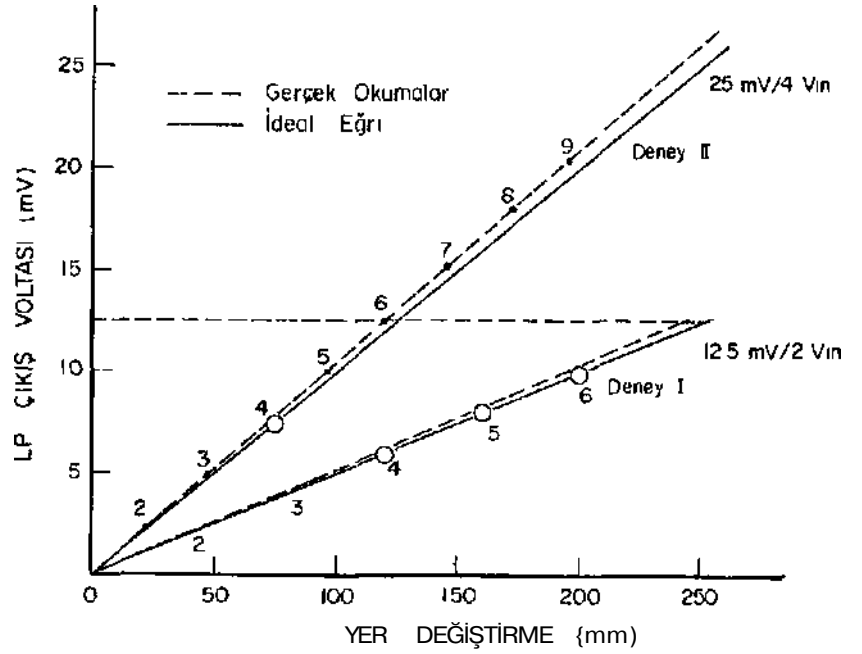
Şekil 2. Tamburlu Konverjans Ölçerin Şematik Görünümü

- (iii) hidrolik presin çalıştırılması ve platenlerinin oldukça yavaş bir hızla kontrollü olarak hareket ettirilerek potansiyometre ve konverjans ölçerde temasının sağlanması
- (iv) bu ünitelerle platenin teması sağlanır sağlanmaz ünitelerin sıfır ayarlarının yapılması
- (v) hidrolik press platenleri basmaya devam ederken oluşan düşey hareketlerin potansiyometre ve konverjans ölçer üniteleri tarafından kaydedilmesi. (Not: Lineer potansiyometre tarafından algılanan mekanik hareketler bu alıcı (transdücer) tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülmekte ve daha sonra çıkış voltajları sinyal ayarlama ünitesinde yükseltilerek döner tamburlu elektronik kaydediciye (strip-chart recorder) gönderilerek burada analog olarak kaydedilmektedir. Konverjans ölçer tarafından da algılanan aynı hareketler dişli sistemi tarafından 10 kat büyütülerek, mekanik olarak bu ölçerin tamburu üzerine kaydedilmektedir).

Kalibrasyon için kullanılan sistemin şematik diagramı Şekil 3, kalibrasyon sonucu elde edilen eğriler ise Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 3. Tamburlu Konverjans Ölçerinin Kalibrasyonu İçin Kullanılan Düzenin Blok Diagramı



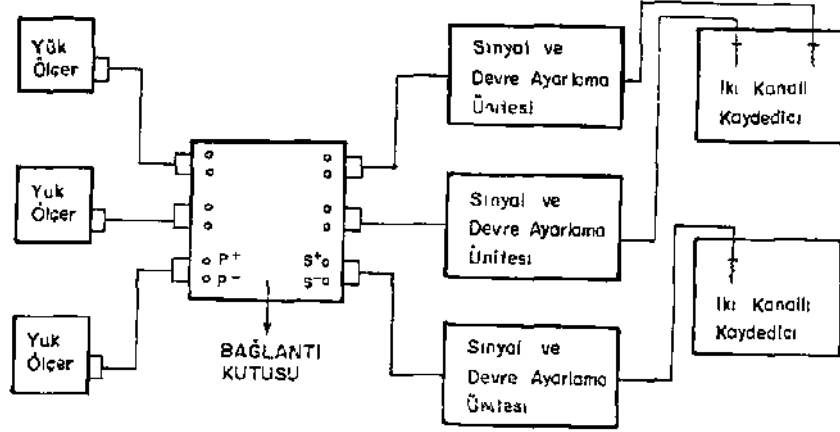
Şekil h. Tamburlu Konverjans Ölçerinin, Lineer Potansiyometriye Karşı Kalibrasyondan Elde Edilen Eğriler

### 3. YÜK İZLEME SİSTEMİ

Ayaklarda kullanılan tahkimat elemanları üzerine gelen yüklerin ölçülmesi için analog bir yük izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin blok diagram Şekil 5'de gösterilmektedir. İzleme sistemi üç adet yük ölçer, üç giriş ve üç çıkış terminali olan bir bağlantı kutusu, üç adet sinyal ve devre ayarlama ünitesi, iki adet çift kanallı kaydediciden oluşmaktadır.

Yük ölçerler BLH firması yapımı olup, kapasiteleri 70 tondur. Yük ölçme hücreleri silindirik şekilde, yüksek kapasiteli paslanmaz çelik üzerine düşey ve yatay olarak yapıştırılmış birim deformasyon dirençlerinden oluşmaktadır. Bu dirençler birbirine "Wheatstone köprüsü" devresi şeklinde bağlanmaktadır. Devreye sabit bir doğru akım verilmekte, devreden hücre üzerinde oluşan yük ile lineer olarak değişen mV seviyesinde sinyaller alınmaktadır.





Şekil 5. Yük İzleme Sisteminin Blok Diagramı

Bağlantı kutusu, yük ölçerlerle sinyal ve devre ayarlama üniteleri arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Kutu üzerinde Üç giriş ve üç çıkış terminali bulunmaktadır. Sinyal ve devre ayarlama ünitesinden gelip, yük-ölçer elektrik devresini besleyen giriş Voltajı ( $P^+$  ve  $P^-$ ) ile yük ölçer devresinin çıkış voltajı ( $S^+$  ve  $S^-$ ), bir multi-metre vasıtasıyla bu terminallerden kontrol edilebilmektedir.

Sinyal ve devre ayarlama ünitesinin üç fonksiyonu vardır. Bunlardan birincisi, bu ünite kullanılarak yük hücresi devresine istenilen miktarda giriş voltajı sağlanmaktadır. İkincisi, ünite ile Wheatstone-Köprüsü devresinin balans (sıfır yükte, sıfır çıkış voltajı) ayarı yapılabilmektedir. Üçüncüsü ise ünite sinyal güçlendirici (anfi) olarak kullanılmaktadır. Normalde çıkış voltajları küçük olduğundan (mv seviyesinde) bunlar güçlendirildiği takdirde (volt seviyesinde) hem okumalar daha hassas olmakta hem de kaydediciler büyük voltajlarda daha iyi kayıt yapabilmektedir.

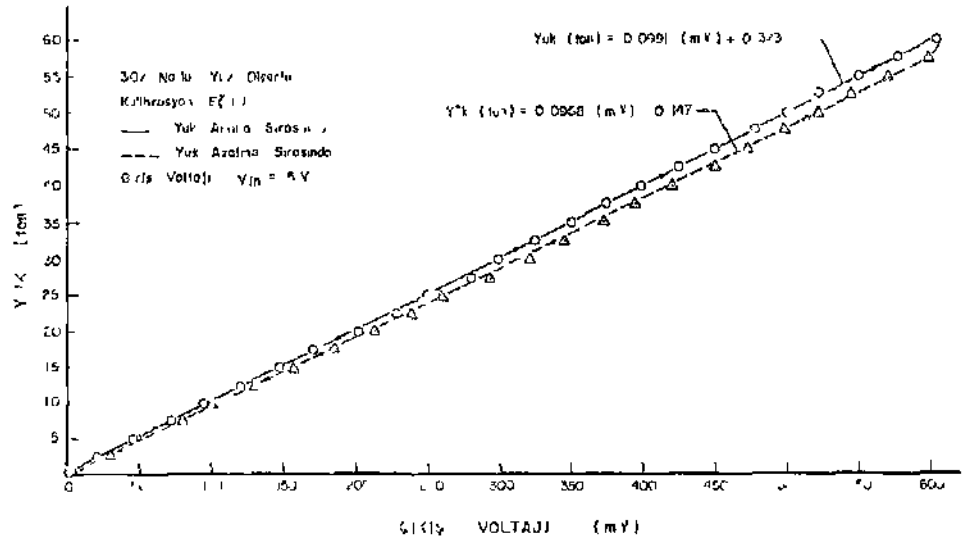
Kaydediciler iki kalemli ve döner tamburlu olup sistemdeki çıkış voltajlarını devamlı olarak kaydedebilmektedirler. Kalibrasyon eğrilerinden bu voltajlara karşı gelen yük bilindiğinden, tahkimatlar üzerine gelen yükleri devamlı olarak izlemek mümkün olmaktadır.

Elektronik yük izleme sistemi geliştirildikten sonra, yük hücrelerinin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon işleminin detayları literatürde verilmektedir (2,3). Örnek bir kalibrasyon eğrisi Şekil 6'da sunulmaktadır.

Elektronik yük izleme sistemi Etibank'a ait Simav yeraltı ocağında bagarı ile kullanılmıştır (3,4). Bu Türkiye'de bir yeraltı ocağında kullanılan ilk elektronik (analog) yük izleme sistemidir.

#### KAYNAKLAR•

1. BAUER, E.R., Ground Control Instrumentation. A Manual for the Mining Industry. USBM Information Circular No.9053, 1985 pp.1-20.
2. VURAL, D., Design of a Convergence Recorder and Improvement of a Load Monitoring System for Measurements in Underground Mines, A Master Thesis in Mining Engineering, METU-Ankara, 1988, 95 p.
3. ÖZEL, R., Load and Convergence Measurements in Longwall Faces at Bigadiç-Simav Mine and Recommendations for Hydraulic Face Props, A Master Thesis in Mining Engineering, METU-Ankara, 1988, 160 p.
4. PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., ÜNAL, E. ve TUTLUOĞLU, L., Etibank Bigadiç İşletmeleri Müessese Müdürlüğü, Simav Yeraltı Ocağı Kaya Mekaniği Etüdüleri, Son Rapor, Proje Kod No:86-03-05-01-06, Mayıs 1988.



Şekil 6. 307 No'lu Yük Ölçerinin Kalibrasyon Eğrisi