

Tavan Cıvataları Teorisi ve Pratiği

Ömer Ünver^{1*}

ÖZET :

Yanımızdaki ana gaye, henüz ülke-mizde uygulanmayan bu tahkimat metodunu ana hatları ile tanıtmak ve diğer ülkelerde emniyet ve ekonomik avantajlarla kuşanılan bu metodun kendi şartlarımıza adaptasyonu konusunda meslektaşlarımızı düşünmeye sevk etmektir.

ABSTRACT':

The main purpose of this paper, is to present this supporting method which is not practiced in our country, with the main outlines, wheres in other countries applied with safety and with economic advantages, and to canalize the thoughts of our colleagues for the adaptation of this method to our own conditions.

1 — Giriş :

Madenciliğin ilk tatbik edildiği günden zamanımıza kadar gelen süre zarfında madencinin ve mühendisin karşısına çıkan en komplike problemlerden biri tavan tahkimatı olmuştur. Madenciye çevreliyen kayanın hareketini durdurmak 'veya bu 'hareketi 'geciktirmek 'için «yap-boz» metodları ile elde edilen pratik bilgilerle problemler çözümlenmek istenmiştir. Günümüzün endüstrisi çoğumuzun takip dahi edemediğimiz bir hızla gelişmekte, her gün yeni metcedlar, buluşlar ve teçhizat tatbikatta; uygulanmaktadır. Şu anda dünya madenciliği eskisine nazaran çok daha gliçleşen şartlar altında ve çeşitli rekabet unsurlarını karşısına alarak daha fazla istihsal, daha fazla emniyet ve maliyetini minimum seviyeye indirme gibi problemlerle karşı karşıyadır. Durum bu şekilde olunca, geleneksel «yap-boz» metodları ile elde edilen pratik bilgiler ileri seviyedeki bir endüstrinin teknik ihtiyaçlarına yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliğin ilerisindeki boşluklar ise araştırma ile doldurulmakta ve araştırmalardan elde edilen sonuçlar tereddütsüzce pratikte uygulama bulmaktadır.

Tavan tahkimatı üzerine yapılan araştırmaların en enteresani ve en vadedici olanı şüphesiz tavan cıvataları; olmuştur.

Tavan 'cıvatalama tekniği Alman Kömür Madenciliğinde 1910 yılına kadar gider. Ancak bu tekniğin önem kazanması ve geniş tatbikat sahası bulması ilci Dünya Harbinden sonradır. Tavan cıvatalama tekniğinin geniş bir tatbikat sahası bulmasının ana nedenleri sistematik bir teknik oluşunda ve tahkimat maliyetlerini önemli bir derecede indirmiş olmasındandır. Bu metodun sağladığı başka ana avantajlardan en önemlileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

a) Cıvatalama basit bir prosestir ve kolaylıkla mekanizasyona gidilebilir.

b) Ana ve tâli yollarda daha geniş kullanma sahası ve makinaların manevraları bakımından kolaylıklar sağlar.

c) Konvansiyonel tahkimatta olduğu gibi vagonların raydan çıkması ve şiddetli patlamalar sonucu tahkimatın çökmesi vs. hususları ortadan kalkmıştır.

d) Havalandırmada konvansiyonel tahkimatın hava direncine yapmış olduğu olumsuz etki bu teknikle bertaraf edilmiştir.

e) Tahkimat yanıcı değildir.

f) Tahkimat malzemesi nakliyatı hemen hemen yok gibidir.

g) Tavan ve tabanın durumu tahkimatın stabilitesine tesir etmez.

h) Sürekli maden makinalarınınjn (continuous miners) ilerleyişine kolaylıkla ayak uydurabilir.

En randımanlı tavan cıvata düzeni dizaynı o madenin tavanında yapılacak deneylerle tesbit edilir. Ancak araştırmaların sonucu olan cıvata düzen dizaynı ana prensiplerini bilmek ve uygulamak zamanın, paranın ve emeğin telef olmaması bakımından çok önemlidir.

İleri endüstri ülkeleri tavan cıvataları, ve genel olarak tavan tahkimatı konusunda araştırmalarını hızla yürütmektedirler ve bu cümleden olarak günümüz, tavan tahkimatı yönünden devrim yaratacak büyük buluş ve uygulamalara gebe dir.

* Maden Yüksek Mühendisi, TKİ, Etüd-Proje, Ankara.

1 — Tavan Cıvatalama Tekniği Genel Tatbikatı :

2.1 — Tavan Cıvataları :

Tavan cıvataları genel olarak aşağıdaki şekilde tasnif edilirler fakat imalâtçılar prensip yönünden aynı kalmakla birlikte sık sık yeni imalâtlarda bulunmaktadır.

A) Yuva ve Kama Tipi (Slot and Wedge Type),

B) Şişici Kabuk (Expanding Shell),

C) Harçlanmış Çubuk Tavan Cıvataları (Grouted Bar Rock Bolts),

D) Tel Halat (Wire Rope).

Şimdi bu sınıflandırmada belirtilen tavan cıvatalarının çalışma prensiplerini izah edelim.

A) Yuva ve Kama, Tipi :

Bu tip tavan cıvatasının muvaffakiyetle kullanılması için gerekli şartların başında, cıvatanın ankaraj (anchorage) edildiği formasyonun kuvvetli olması hususu gelir. Cıvata, kama yuvaya tamamiyle oturmamış bir durumda cıvata deliğine sokulur, özel bir darbeli tabanca ile cıvatanın dışarıda kalan ucuna darbe tatbik edilir. Bu darbenin neticesinde kama yuvaya oturur ve cıvatanın baş kısmındaki kanatlar genişleyerek cıvata deliği cidarına yük tatbik ederler. Bu yük neticesinde cıvata deliğe ankaraj edilmiş olur. Ankarajdan sonra askıya

alınacak tavan formasyonunu sıkmak ve cıvataya yük vermek icap eder. Tavana tatbik edilen yükün formasyonu kesmemesi ve yırtmaması için tavan durumuna göre çeşitli tipler içinde seçilen plakalar kullanılır. Plaka cıvatanın dışta kalan ucuna geçirilir, onun arkasından genellikle altıgen somun ile cıvata sıkılır. Şekil 1a. tipik bir yuva ve kama tipi tavan cıvatasını göstermektedir. Somun sıkılırken genellikle maksimum bir tork tatbik edilir. Fakat çok aşırı torklar cıvata dişlerini sıyrabilir veya ankaraj pozisyonunu değiştirebilir. Tablo I de çeşitli tip tavan cıvatalarına tatbik edilen torklar verilmiştir.

Genellikle tatbikatta kullanılan cıvata 25.4 mm (1") dir. Daha düşük çaplı cıvatalar şüphesiz mukavemet yönünden zayıf olacaklar ve galeri veya oda genişliğinde daha sık aralıklarla yerleştirilmeleri icap edecektir. Aynı şekilde daha büyük çaplar ise ekonomik yönden daha aralıklı yerleştirilmeyi icap ettirecektir, fakat tavanın durumu genellikle bu tatbikata müsaade etmeyecektir. Cıvata uzunluğu şüphesiz cıvatanın tesbit edileceği formasyonun tavandan olan mesafesine göre değişecektir. Cıvata, delik uzunluğundan 5-10 cm uzun olmalıdır.

Cıvataların tavana ankarajda ve tork tatbikinde genellikle mekanizasyona gidilmiştir. Bu cümleden olarak, imalâtçılar tavana delik delen, cıvata tesbit eden ve ona tork tatbikinde bulunan çeşitli üniteleri ve bu üniteleri tek bir makinenin fonksiyonlarında toplayan imalâtlarını her geçen gün daha randımanlı performans-

| Tablo : I. Çeşitli tip tavan cıvatalarına tatbik edilen tork | | |
|--|--------------------|----------------------|
| Çap | Cıvata | Tark |
| 25.4 mm (1") | .Yuva ve kama tipi | 28 - 35 m-kg minimum |
| 19 mm (3/4") | Şişici kabuk | 21 - 23 m-kg minimum |
| 15.9 mm (5/8") | Şişici kabuk | 19 - 23 m-kg minimum |

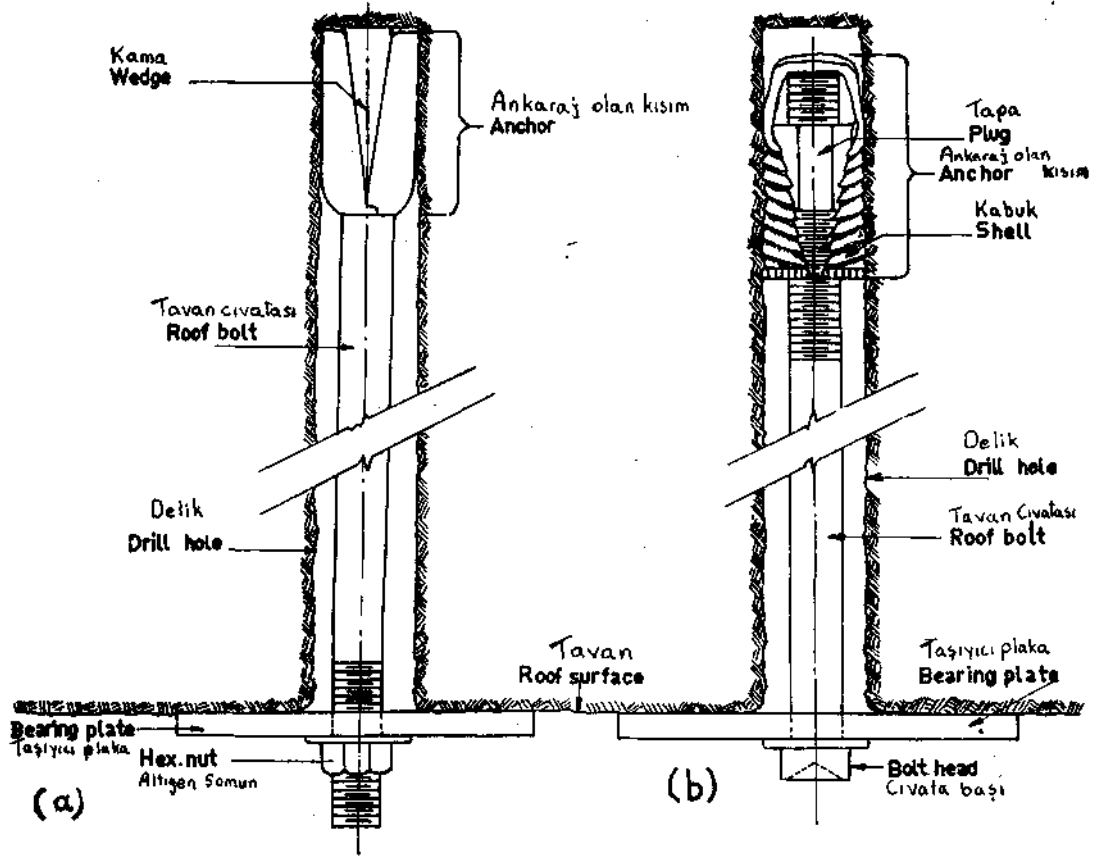
Tablo : II. Tavan cıvatası imalinde kullanılan çeliklerin mukavemet karakteristikleri

| Çelik tipi | Kopma mukavemeti kg/cm ² | Akma sınıırı kg/cm ² | Young Modülü Ex 10-* kg/cm ² |
|-------------------------|--|------------------------------------|---|
| Yumuşak çelik | 4218 | 2320 | 2.1 |
| Sert çelik | 7030 | 3866 | 2.1 |
| Yüksek mukavemet çeliği | 16872 | 9842 | 2.1 |

Bu çeliklerde kesme mukavemeti ile çekmemukavemeti arasında aşağıdaki bağlantı vardır [1] *.

$$[\text{Akma Sınıırı (kesme)}] = 0.57 [\text{Akma Sınıırı (çekme)}] \dots \dots \dots (1)$$

* Köşeli parantez içindeki rakkamlar yazının sonunda verilen referansları göstermektedir.



Şekil : 1 — Genellikle kullanılan iki tip tavan cıvatası: a) Yuva ve kama tipi, b) Şişici kabuk.

larla maden endüstrisi piyasasına sürmektedirler.

Aşağıdaki tabloda tavan cıvataları için genellikle kullanılan çeliklerin karakteristikleri verilmiştir [i].

B) Şişici Kabuk Tipi Expanding Shell Type):

Şekil 1b.de Şişici Kabuk tipi tavan cıvatasının tipik bir görünüşü verilmiştir. Şişici Kabuk tipi tavan cıvataları genellikle 15.9 mm (5/8") veya 9.5 mm (3/8") çapında, bir ucuna dış açılmış diğer ucu ise tavlanarak şekillendirilmiş durumdadır. Bu tip cıvatalarda Fransız metal madenlerinde genellikle 18 mm Ruhr havzasında ise 24 mm lik çaplar kullanılmaktadır. Cıvatanın ankaraj edileceği deliğin uzunluğu ve ka buğun delik tavanına dokunması bu tip cıvatalarda gerekli bir şart değildir. Ancak, Şişici Kabuk tipi cıvatalarda delik çapı ile cıvata (ankaraj kısmı) çapı bir birine yakın ölçüler dahilinde olmalıdır.

.Şişici Kabuk tipi cıvataları tesiste aşağıdaki işlemler takip edilir :

1 — 35 mm (1 1/2") çapında tavana bir de-^{Uk} delinir : Delik uzunluğu mühim değildir.

2 — Çubuğa taşıyıcı plaka takılır,

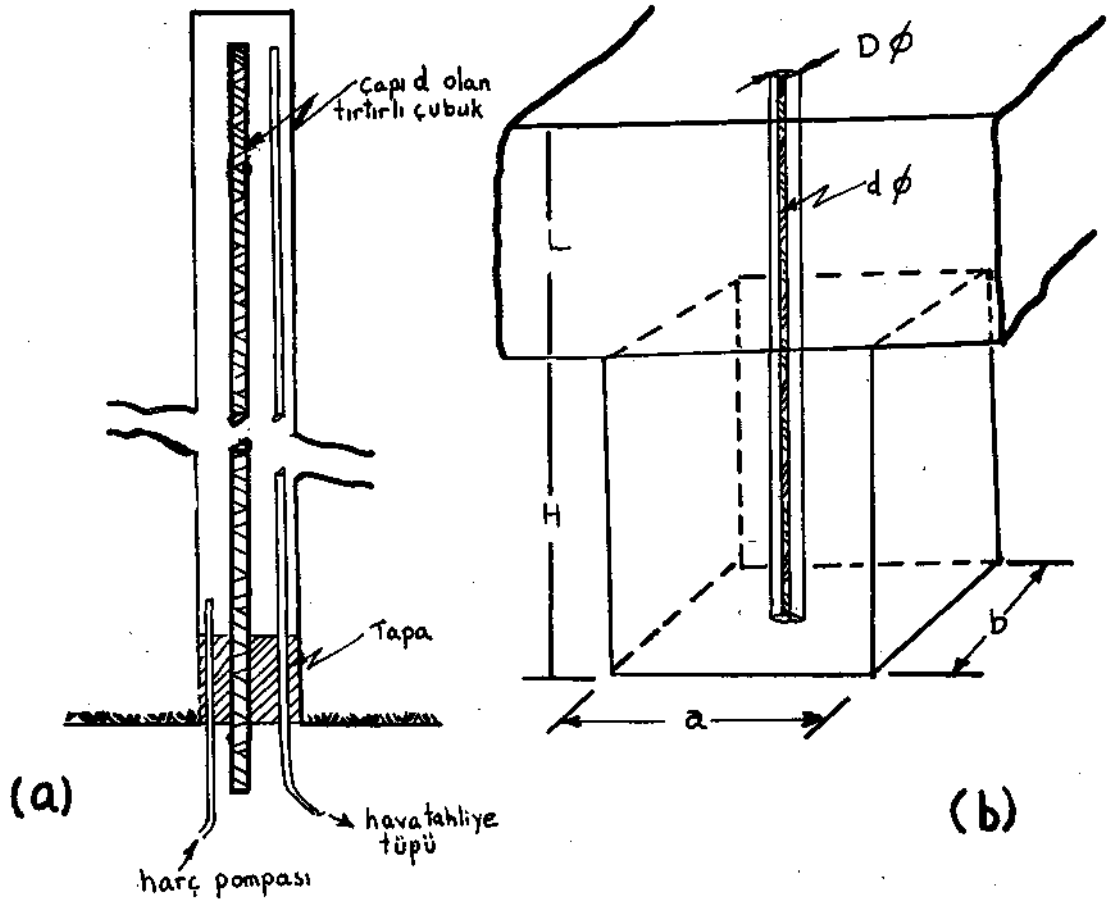
3 — Kabuk çubuğa dişli uç kısmından geçirilir.

4 — Cıvata deliğe sokulur ve taşıyıcı plaka tavana iyice sıkıştırılıncaya kadar anahtar ile çevirilir.

Fiyat yönünden Şişici Kabuk ile Yuva ve Kama tipi cıvatalar arasında mühim bir fark yoktur. Ankarajın her iki tipte de tatminkâr olduğu durumlarda genellikle Şişici Kabuk tipi cıvata tercih edilir. Buna eebep Şişici Kabuk tipi cıvataların yerinden sökülüp tekrar kullanılabilme özelliği ve kısa zamanda ankaraj edilebilmesidir. Yuva ve Kama tipi cıvataların diğerine nazaran avantajı ise, bunların bir maden işletmesi atelyesinde dahi imâl edilebilme basitliğidir.

C) Harçlanmış Çubuk Tavan Cıvataları (Grouted-bar Bock Bolts):

Harçlanmaş, Çubuk tavan cıvatasının tipik bir örneği Şekil 2. de verilmiştir.



Şekil : 2 — Harçlanmış Çubuk Tavan Cıvatası a) Tesis metodu. b) Genel görünüşü

Bu tip cıvatalar çubuk cidarı tırtıllanmış yumuşak çelikten imal edilirler. Cıvata deliğe sokulduktan sonra alt kısmına bir tapa yerleştirilir. Tapada mevcut delikten cıvata deliği içine çimento kum karışımı harç basılır. Kum çimento oranı 3/1 olmalı ve harçta minimum su bulunmalıdır. Şekil -2.de bu durum daha açık görülebilir.

Cıvata, boyutları $a \times b \times H$ olan kaya kitlesini taşımak üzere dizayn edilmiştir. Burada, a ve b cıvata düzeninde merkezden merkeze olan mesafeyi, H taşınacak yatağın kalınlığını göstermektedir.

İlk dizayn prensibi aşağıdaki gibidir :

$$a \cdot b \cdot H \cdot \gamma = \sigma_w \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$a \cdot b = \frac{\sigma_w \pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma \cdot H} \dots \dots \dots (2)$$

Burada, σ_w = Çekmede, çelik çubuğun çalışma mukavemeti

d = Çubuğun çapı
 γ = Kayanın özgül ağırlığı

Şüphesiz, cıvatalar arasındaki mesafeyi tesbit ederken, elde bulunan malzeme, ekonomi, ve pratikte elde edilen neticeler göz önünde bulundurmamak gereklidir.

İkinci dizayn prensibini tayin eden düşünce ise tavanın ağırlığını kaldıracak olan cıvatanın ankarajda her hangi bir şekilde sıyırma yapmaması için delik çapı ve cıvata uzunluğu tesbittir.

Bu aşağıdaki şekilde ifade edilir :

$$D \cdot L \cdot S = W$$

$$\text{veya } D \cdot L = \frac{W}{\pi \cdot S} \dots \dots \dots (3)$$

Burada, D = Delik çapı

L = Üst tabakada ankaraj uzunluğu

W = Cıvata tarafından taşınacak tavan kütlesi ağırlığı

$S = \text{Harç/Kaya geçiş yüzeyinin kesme çalışma mukavemeti}$

Eğer tesis mükemmel bir şekilde yapılırsa S in değeri 7.03 kg/cm^2 yi geçer fakat, bu değer yerinde (in situ) yapılacak deneylerle bulunur. Tesiste mümkün arıza şekli ise çelik çubuk/harç yüzeylerinin birbirini sıyırmasıdır ki* eğer çubuk yağ ve yapıcı maddelerden azade olursa, bu arıza ihtimal dahilinde değildir.

Harçlanmış tavan cıvatalarının değişik bir tatbikatı ise, son bir kaç senedir, harç yerine reçine kullanılmasıdır. Reçine özel plastik tüp içinde akışkan fakat [hava ile temasta aniden sertleşen bir kimyasal bileşiktir. Böylece, cıvatanın ankaraj olan kısmında ankaraj stabilitesi yönünden, çok tatminkar neticeler alınır.

Reçineli cıvataların kullanılma şekli aşağıdaki gibidir.

Cıvatalanacak tavanda, cıvata çapma tekbül eden ve uzunluğu test edilmiş bir delik açılır. Deliğin içine, içinde reçine bulunan plastik tüp ve arkasından yukarıdaki sınıflandırmada bahsi geçen cıvatalardan her hangi biri sokulur. Cıvataya tatbik edilecek ani bir darbeye plastik tüp patlar ve içindeki reçine cıvatanın ankaraj yapacağı yüzeyi kaplar. Arkasından cıvata gereği kadar sıkılarak, ankaraj kanatlarının delik yüzeyine baskı yapması sağlanır. Reçinenin tam olarak donması ve mukavemetini kazanması için duruma göre 1 ve 8 saat beklemek gerekir. Bu sürenin sonunda, maksimum tork tatbik edilerek, cıvataya yük verilir.

Bu tip cıvatalama sistemi ile çok tatminkar neticeler alınmasına rağmen reçineli cıvatalar diğerlerine nazaran pahalıdır [2].

D) Tel Halat :

Hurdaya ayrılmış asansör ve nakliye halatları tavan cıvatalama tatbikatında sık sık kullanılır, Kullanılmış halatlar yenilerine nazaran daha çok tercih edilirler, çünkü, bu tip halatlar yük altında elastik olmayan uzamalara daha az müsaittirler ve pek tabii daha ucuzdurlar. Halatlar her türlü yağdan ve pislikten azade olmalıdırlar. Harçlı tavan cıvatalarında olduğu gibi, halat, deliğe harelmalıdır. Harç mukavemetini kazandıktan sonra halata gerilmeler verilebilir.

Tahkimatta tel halatların diğer bir kullanma yeri de topuklarda yük taşıma kapasitesini arttırmaktır. Topuklarda yatay yük tatbikinin ana nedeni topuğun kırılmasını ve çatlamasını (veya daha ileri seviyedeki çatlakların gelişmesini) önlemektir. Bu işleme ait mekanizma Mohr diyagramında (Şekil 3.b) daha bariz bir şekilde anlaşılır. Şekil 3, ufak çaplı bir topuğun yan yükler ile daha mukavim bir hale getirilmesini gösterir. Mohr diyagramındaki birinci eğride (1) topuk herhangi bir yan baskıya maruz bırakılmamıştır! ve bura σ_3 sifıra eşittir. İkinci eğride (2) ise topuğa yan baskı tatbik edilmiş ve $\sigma_3 > 0$ tür. Bu durumda topukta meydana gelen yük taşıma kapasitesindeki artış aşikardır.

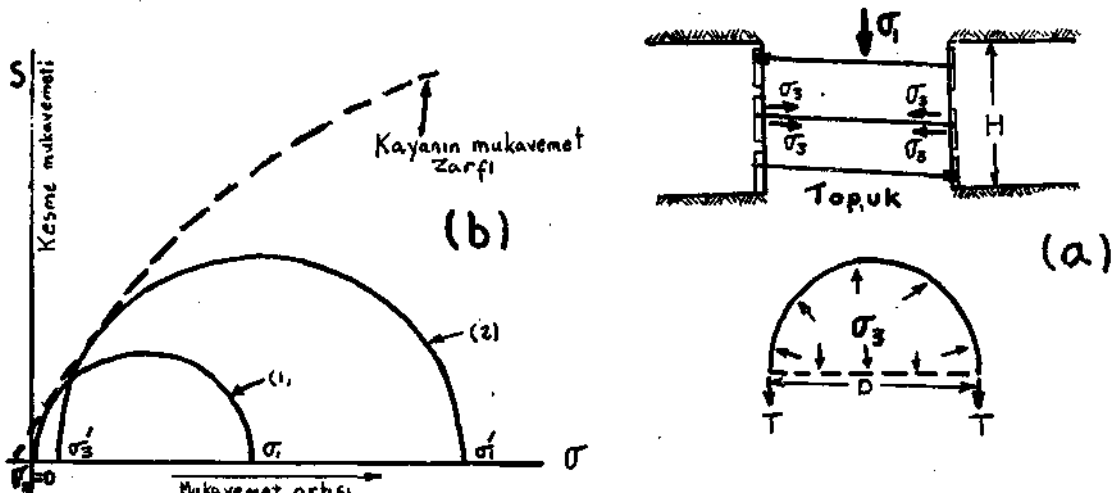
Tel halat topuğa sarıldıktan sonra herhangi bir gerdirici veya vinç ile gerdirilir Topuğa tatbik edilen yan basınç, σ_3 , aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$T = \text{Halata tatbik edilen yük}$

$N = \text{Topuğu sarmak için yeterli daire sayısı}$

$D = \text{Topuk çapı}$

$H = \text{Topuk yüksekliği}$



Şekil : 3 – a – Tel halat ile takviye edilen ufak bir topuk b – Mohr diyogramı (1) topuğa takviye tatbik edilmemiştir (2) topuk $\sigma_3 > 0$ gibi bir değerle yan basınç ile takviye edilmiştir

$$\begin{aligned} \sigma_3 \cdot D \cdot H &= 2 \cdot T \cdot N \\ &2 T N \\ &D H \end{aligned}$$

8 — Tavan Cıvataları Teorisi :

3. 1. — JGenel :

Tavan cıvatalarının çalışmasını izah eden iki ayrı hipotez mevcuttur:

Birinci hipoteze göre stratifiye formasyonlarda, tavan cıvataları, çeşitli kalınlıktaki tabakaları sıkarak bu tabakaları yeckpare bir hale getirir. Yeckpare bir hale gelmiş tabakaların mukavemeti, tabakaların ayrı ayrı mukavemetinden çok fazladır.

İkinci hipotez ise kaya içine açılan her delikte gelişme beklenen tabii kavisi sağlamlaştırması ve yerinde durmasını sağlaması ile ilgilidir. Kaya içine açılan her delikteki cidar kayası zamanla kırılacak ve bloklar halinde düşecektir. Bu bloklar gelişmeğe başladığı ilk zamanlarda birbirine sıkıca temas halindedir. Eğer bu sıkı temas durumu tavan cıvataları ile devam ettirilirse kaya içinde mukavim bir kavisi meydana getirilecektir.

Tavan cıvatalarının dizaynını yapabilmek için yukarıda kısa izahı verilen çalışma şekillerini iyi bir şekilde anlamak ve şartlara hangisinin uyabileceğini hesaplamak gerekir. Şüphesiz bu da lokal tavan şartlarının çok iyi bir şekilde etüd edilmesi ile olur.

Şimdi bu iki hipotezin izah tarzlarını görelim

8. 2 — Hipotez I : Tavan cıvataları çeşitli kalınlıktaki formasyonları sıkarak bunları yeckpare bir kiriş haline sokar ve tavanı mukavimleştirir.

A — Kiriş Teorisi :

İyi bir şekilde tabakalaşmış bir kaya veya kaya serisi düşününüz. Her iki tabaka arasındaki yüzeyde kohezyon (sürtünme kuvvetleri) genellikle çok zayıf olacak ve ufak bir yükte bu yüzeyler birbirinden ayrılacaktır. Bu sürtünme katsayısının (μ) tipik değerleri aşağıdaki gibi olabilir [1].

| | |
|--|-----|
| Talkımsı ayrışımı, (talcose parting) | 0,1 |
| Şeyi | 0,4 |
| Kumtaşı | 0,7 |
| Kuartzımsı ayrışım (quartzite parting) | 0,9 |

Eğer bu stratifiye tabakalar her hangi bir galeri, tünel, vs. tavan taşı durumunda iseler, her biri galerinin yan taraflarına ankastre olmuş ve ayrı ayrı çalışan kirişler durumundadırlar

Burada, problemi iki boyut dahilinde inceleme mevzuyu kolaylaştıracak ve yeterli hassasiyeti sağlayacaktır. Üç boyutlu bir analiz, çok daha detaylı ve zor olan ankastre plakalar teorisine girmemizi gerektirecek, bu da problemi detaylaştırtıp zorlaştıracaktır.

Bir çok tabakadan meydana gelen ve tabakalar arasında sürtünme bulunmayan bir kiriş arasındaki gerilmeler ve deplasmanlar (displacement) mukayese edildiğinde, tavan cıvatalarının fonksiyonu açıklığa kovuşur

Şekil 4.a daki kiriş düzgün (uniform) bir şekilde yüklenmiş ve bu kirişin her kesiminde σ_x gibi X eksenine dik bir eğilme gerilmesi ve τ_{xy} gibi sc eksenine dik y doğrultusuna paralel bir İmliği boyunca Şekil 4.b de görüldüğü gibi bir kayma gerilmesi! mevcuttur. σ_x ve τ_{xy} kirişine kadeğiştö gösterir. Kirişin her hangi bir noktasında dik düzlemde görülen τ_{xy} kayma gerilmesine ilaveten yatay düzlemde, τ_{xy} kayma gerilmesine eşit, y eksenine dik x eksenine paralel bir σ_y kayma gerilmesi mevcuttur. Kirişin genişliği itibariyle σ_y normal ve τ_{xy} kayma gerilmesinin dağılım şekli şekil 4.c. de görülür. Buradaki değerler σ_x için dış yüzey, σ_y için orta yüzey değerleridir.

eğilme momenti aşağıdaki şekilde ifade edilir¹ :

$$M = \frac{q}{12} (6L^2x - U^2 - 6X^2) \dots \dots \dots (5)$$

L = Kirişin genişliği

Burada, M = Eğilme momenti

q = Düzgün yük (uniform load) kg/cm

sc = Kirişin genişliği üzerinde değışen nokta

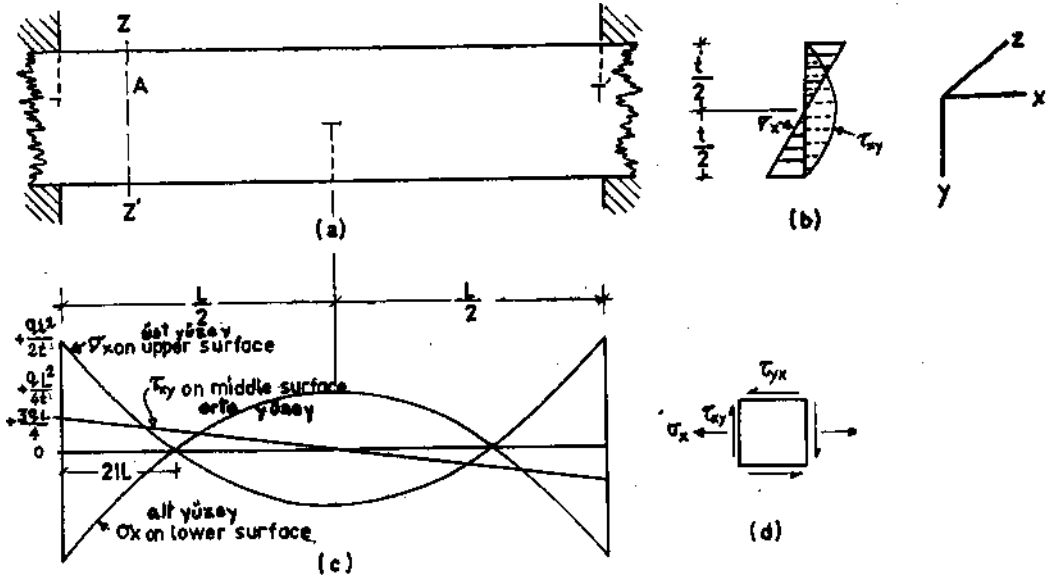
Eğilme momenti kirişin uç kısmında (galeri veya tünel tavanının yan duvarla kesiştiği noktada) maksimum değere ulaşır, eksi işareti baskını gösterir [5].

$$(M)_{max} = \frac{qL^2}{12} \dots \dots \dots (6)$$

Aynı zamanda bu noktalarda eğilme ve kayma gerilmeleri maksimum değerlerindedir.

$$\begin{aligned} & \frac{qW}{2t} \\ & \frac{3qL}{4} \end{aligned} \quad (T \ll y) m \ll \dots \dots \dots (8)$$

Şekil 4c. de görüleceği üzere kirilin uçlarından 0.21 L mesafesine kadar eğilme momenti eksi, bu noktalar arasında artı değerler alır.



Şekil : 4 — a) Düzgün yük altındaki bir kiriş. Senimden dolayı meydana gelen çatlaklar TT\
 b) Kesit ZZ' üzerindeki normal ve kayma gerilmeleri.
 c) Dış yüzey (outher - fiber) σ_x eğilme gerilmesi ve orta yüzey kayma gerilmesi τ_{xy}
 d) A elemanı üzerine etki eden gerilmeler. *

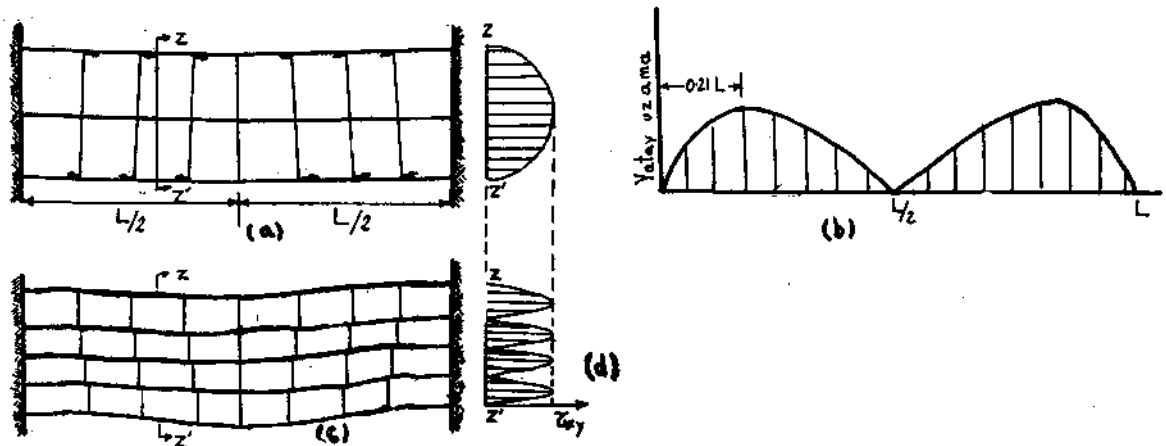
Bu, basitçe, kirişin uçlarından $0.21 L$ noktasına kadar olan mesafede kiriş baskıya, bu noktalar arasında ise çekmeğe çalıştığını gösterir. Daha ileriki yazılarımızda yayınlamağı düşündüğümüz «Tavan Cıvatalarının En randımanlı Düzeni Üzerine Model Çalışmaları» başlıklı etüdümüzde, $0.21 h$ noktasının cıvatalama yönünden önemine değineceğiz [4].

Kirişin İçindeki her hangi bir noktanın deplasmanının (displacement) veya uzamasının bir düşey (y) ve birde yatay (x) komponenti vardır.

Düşey komponenti - veya senim - kiriş uzunluğunun en orta noktasında maksimum değere ulaşır ve bu değer aşağıdaki gibidir. :

$$\delta = \frac{q L^4}{32 E t^2} \dots \dots \dots (9)$$

Burada E kayanın Young Modülüdür. Kiriş dış yüzeyi eğilme gerilimi gözönüne alındığında (Şekil 4.b) uzamanın yatay komponenti (x) Şekli 5b. deki gibidir. Kiriş düzgün yük al-



Şekil : 5 — a) Düzgün yük altındaki bir kirişin eğilmesi ve düzlemlerin yatay uzaması.
 b) Kirişin alt ve üst noktalarının yatay uzamaları.
 c) Tabaka yüzeyleri arasındaki kaymaları gösteren bir serinin eğilmesi.
 d) ZZ' kesidine göre kayma gerilmelerinin mukayesesi.

tında yüklendiğinde kirişin alt yüzeyinde ankastre noktalarında yatay uzama sıfırdır. Yatay uzama 0.21 L noktasında maksimum değere ulaşır. Tabakaların birbirine göre deplasmanları, taba arasında ayrışımı gerektirir ve bu olayda tabakaların tek tek çalışmalarına ve dolayısıyla mukavemette bir düşmeye sebep olur.

Tek üniteden meydana gelmiş bir kiriş, dört üniteli bir kirişle mukayese edildiğinde (toplam kiriş kalınlığı her iki kirişte de aynıdır) deklem (7) de görüleceği üzere, ince tabakaların birindeki maksimum eğilme gerilmesi kalın kirişe nazaran dört misli daha fazladır. Bunun manası, kalın kirişin, ince kalınlıktaki kirişlerin her birinden dört misli daha mukavim oluşudur. Her birinin kalınlığı t olan dört üniteli bir kirişin elemanları tavan cıvataları kullanılarak sıkılırsa, bu kirişler 4t kalınlığındaki yekpare bir kiriş gibi mukavimleştirirler [3].

Denklem (9) da görüleceği üzere, dört ünite den meydana gelmiş bir kirişin yük altında senimi, aynı yük altındaki yekpare kirişin seniminden 16 defa daha fazladır. Pek tabii, bir maden direğinin tamam tahkiminde olduğu gibi sehimler direk vasıtasıyla önlenmeğe çalışılacaktır. Tavandaki kalın tabakalardan ince kalınlıktaki tabakaları askıya alarak, bu işlem, tavan cıvataları tarafından da yerine getirilebilir.

Dört üniteli bir tavan kirişinin kalınlığı boyunca kayma gerilimi dağılımı yekpare bir kirişteki dağılımdan farklıdır (Şekil 5). Burada dikkat edilecek husus, ince kirişlerin temas yüzeylerinde kayma gerilmesi sıfırdır. Kayma gerilmesinin düşey ve yatay iki komponenti olduğuna göre ve ince kirişlerin temas yüzeylerinde kayma gerilmesi sıfır olduğundan, bu yüzeyler yatay istikamette bir birine göre relativ deplasmanlarda bulunurlar. Üniteler arasında bu deplasmanlar veya tabakaların bir birine göre kaymaları; önlenirse, yekpare bir kirişin mukavemetine erişilmiş olur. Tavan cıvataları, üniteleri sıkarak tabakaların birbirine göre kaymasını önler ve bu surette tabakalar arasındaki sürtünme kuvvetlerini artırır ve böylece tavanı mukavimleştirir.

3.3 — Hipotez II : Tavan cıvataları tavanda meydana gelen tabii kavis (natural arch) mukavimleştirir ve yerinde tutar.

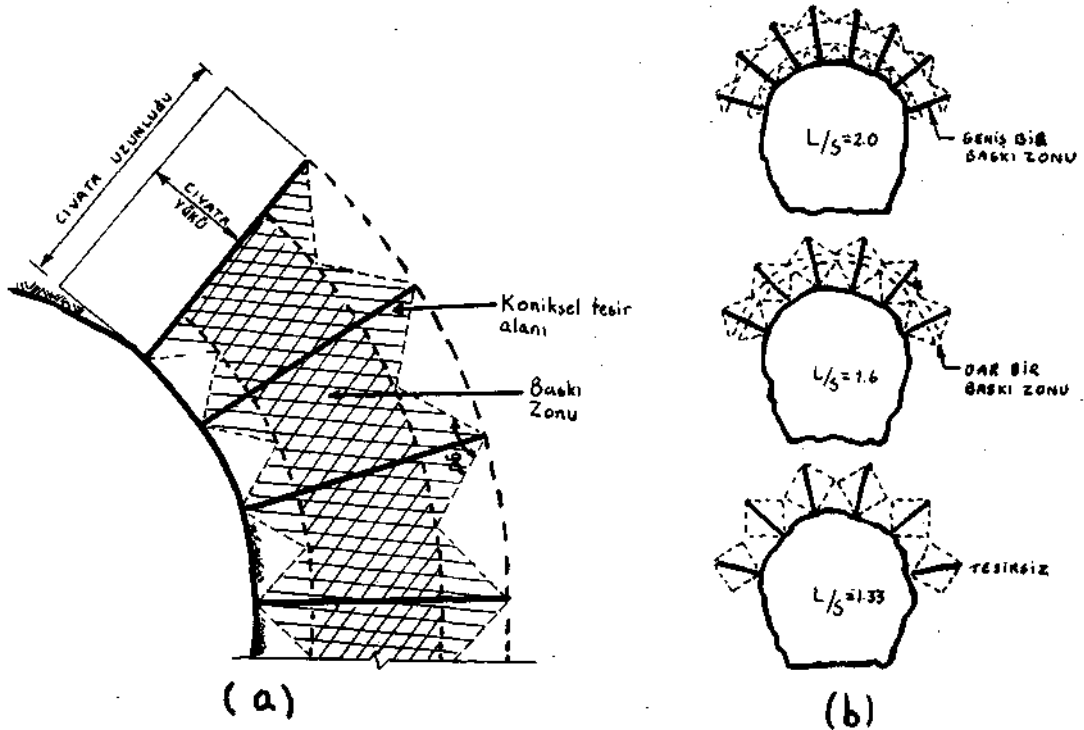
Yer altında herhangi bir imalatı çevreleyen kaya, tavanda ilk evvela rijit bir şekildedir. Zamanla kaya kütlelerinin ağırlığı ve/veya tavan üzerinde meydana gelen basınç artımlarından dolayı, kaya iç içe sıkıba geçmiş ve birbirini tutan bloklar haline dönüşür. Bu bloklar, zamanla, aralarındaki tutucu bağı iyice kaybederek göçükler meydana getirirler. Şüphesiz bu bloklaşmanın ve bloklar arasındaki bağınzayıflamasının ana nedeni, tavan elemanlarının kendi ağırlıkları alt

tında ve basınç artışları dolayısıyla çekmeğe (tension) çalışmasıdır. O halde, tabii kavis içinde bir baskı zonu yaratılabiliirse, tavan kendi ağırlığını emniyetle taşıdığı gibi dış basınçlara karşıda mühim bir derecede mukavim olacaktır. Şekil 6a. a tavan cıvataları ile tavanda meydana getirilen baskı zonunu ve bu zonun şeklini görmekteyiz. Burada her cıvata ankaraj olduğu nokta ile tavanı sıkıştırdığı nokta arasında tabanları birbirine değen (üç boyut düşünüldüğünde) koni şeklinde bir baskı zonu meydana getirirler. Cıvatalar arasındaki mesafe ne kadar yakın olursa bu konik baskı alanları, birbiri üzerine atlamalarından meydana gelen baskı zonu şeridi o derece geniş olur ve tavan daha mukavimleşir. Bu baskı zonu genişliği, cıvatalar arası mesafenin olduğu kadar cıvata uzunluğunun da bir fonksiyonudur. Bu konuda yapılan fotoelastik araştırmalar neticesinde Şekil 6b. deki neticeler elde edilmiştir.

Fotoelastik araştırmalar yanında diğer araştırmacılar tarafından yürütülen model çalışmaları sonucunda, Şekil 6B. deki değerleri onaylayan neticeler elde edilmiştir. L/S oranı, (burada L cıvata uzunluğu, S ise cıvatalar arasındaki mesafedir) 2 üzerinde olduğunda koninin tepe açısı 90° dir ve bu durumda geniş bir baskı zonu yaratılır. L/S oranı 3 değerine arttırıldığında baskı zonunun genişliği cıvata uzunluğunun 2/3 üne eşit olduğunu görülmüştür. Şüphesiz, bu baskı zonunun kalınlığı cıvata uzunluğu ve cıvatalar arasındaki mesafeye bağlı kalmasına rağmen, cıvataya tatbik edilen yük ve ankaraj durumu bu zonun kalınlığına tesirde bulunan parametrelerdir. Pratikte tavan cıvatalarına çeliğin akma sınırının % 50 si kadar bir yük verilebilmektedir. Tavan cıvatalarına daha yüksek seviyede çekme gerilmesi verilebildiğinde bu tatbikatın muaffakiyet derecesi artacaktır. Ayrıca, ankaraj yapılan noktanın formasyon kalınlığına göre gerilme yönünden baskı kısmında bulunması tercih edilen bir noktadır. Çekme gerimelerinin buunduğu bir formasyonun ankaraj yönünden ne gibi mahsurlar doğuracağı aşikârdır (t kalınlığındaki bir tavan kirişinin üst kısmını teşkil eden t/2 kalınlığı baskıya, alt kısmını teşkil eden t/2 kalınlığı ise çekmeğe çalışır). Ankaraj kapasitesini arttırmak için kısım 2. 1 - A da izah edilen reçineler bu konuda mühim kolaylıklar sağlar [6].

4 — Sonuç :

Yukarıda cıvata çalışma şekillerinden izahatta bulunulan iki hipotezden hangisinin daha tutarlı olduğu münakaşa konusudur. Kiriş teorisini hedef alan irdelemeler, genellikle tavan taşının çatlaklara sahip olduğu ve bu çatlaklardan dolayı tavanın ideal bir kiriş şekline haiz olmayacağı merkezindedir.



Şekil : 6 — a. Bir galeri tavanının çevresinde tavan civataları ile meydana getirilen baskı zonu. b. L/S oranının baskı zonuna tesirleri.

Tavan civataları konusunda yapılan araştırmalar henüz bitmemiştir. Bu mevzuda bilinmesi gereken noktalar üzerinde yapılan araştırma sonuçları şüphesiz tatbikatta kısa bir süre sonra uygulama bulacaktır.

Bu tahkimat metodunun ülkemizde kullanılmaması için hiç bir sebep yoktur. Bütün mesele tavan şartlarımızı çok iyi bilmekte ve işçiyi bu metodun tatbikatını öğretmektir.

Tavan civatalarının imalatı oldukça basittir. Bu imalat derli toplu bir maden işletmesi atelyesinde dahi yürütülebilir. Bu imalat için lazım olacak teçhizat : Şişici kabuğu şekillendirecek (takriben 100 ton kapasiteli) bir sıcak iş pres, tavan ve civata arasına yerleştirilen plakaları imale ve şekillendirmeye yarayacak düşük kapasiteli (takriben 50 ton) bir pres, şişici kabuk tipi civatalarda olduğu gibi civatanın dış ucunu şişirecek, hava ile çalışan darbeli bir tezgah (jaktitleri şekillendirmede kullanılan tezgahlar gibi) ve civataları çeşitli boyutlarda kesecek, dış açacak ve somun imal edecek düşük kapasiteli iki adet torna tezgahı.

Görüleceği üzere, tavan civataları imali için yapılacak yatırım miktarı oldukça düşük fakat

elde edilecek müsbet sonuçların değeri ise bu yatırımla ölçülemeyecek seviyede olacaktır.

Bibliyografik Tanıtım

- [1] ROCK MECHANICS and STRATA CONTROL : Royal School of Mines, London.
- [2] McLEAN, D. C, McKAY. S. A.: Use of resins in Mine Roof Support. AIME, Vo 1.229, 1964.
- [3] PANEK LOUIS. A. : Principles of Reinforcing Bedded Mine Roof <with Bolts. USBM. RE 5156. 1956.
- [4] ÜNVER ÖMER : Model Studies for Determining an Efficient Roof Bolting Pattern, ODTÜ. MSc Thesis, 1967.
- [5] TIMOSHENKO. S. : Cisimlerin Mukavemeti (çeviri), 1961.
- [6] COATES. D. F. : Rock Mechanics Principles. Department of Energy, mines and resources, Monograph 874, Ottawa Canada, 1967.