



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YERLİ İMKANLARLA ÜRETİLEN KALKAN**  
**TİPİ YÜRÜYEN TAHKİMATIN ÜRETİMİ VE**  
**UYGULAMASI**

**Umut ÇETİNKAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

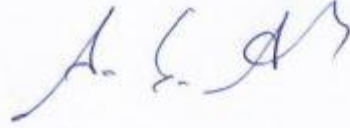
Umut ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan “Yerli İmkânlarla Üretilen Kalkan Tipi Yürüten Tahkimatın Üretimi ve Uygulaması” adlı tez çalışması 21/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem ARITAN

### İmza



#### Danışman

Prof. Dr. Niyazi BİLİM



#### Üye

Doç. Dr. Bilgehan KEKEÇ



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

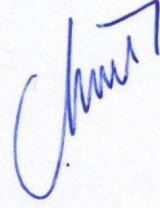
Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Umut ÇETİNKAYA

Tarih: 09.09.2019



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

#### YERLİ İMKANLARLA ÜRETİLEN KALKAN TİPİ YÜRÜYEN TAHKİMATIN ÜRETİMİ VE UYGULAMASI

Umut ÇETİNKAYA

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Niyazi BİLİM

2019, 88 Sayfa

Jüri  
Prof. Dr. Niyazi BİLİM  
Doç. Dr. Bilgehan KEKEÇ  
Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem ARITAN

Yeraltı ocaklarında mekanizasyon sistemleri 1900'lü yılların başlarında geliştirilmeye başlamış fakat ülkemizde bu konuyla ilgili yapılan Ar-Ge çalışmalarının azlığı ülkemizde bu sistemlerin gelişimini engellemiştir. Son yıllarda maden ocaklarında yaşanan büyük kazalar ve ölümler bu konunun önemini ortaya çıkarmıştır. Yaşanan kazalar mekanizasyon sisteminin gerekliliği, ocak planlama aşamasından üretim aşamasına birlikte yürütülmesi gereken önemli bir konudur. Günümüzde, emek yoğun üretim yöntemlerinin yerini mekanize kazı sistemleri almaya başlamıştır. Hem ekonomik üretim koşulları hem de emniyetli bir çalışma ortamı sağlamak için mekanizasyon sistemlerine ilgi gerek özel sektör gerek devlet sektörü açısından çalışmaların başlatılmasını hızlandırmıştır.

Bu çalışmada yeraltı mekanizasyon sistemlerinin dünyada gelişimi ve ülkemizde gerçekleştirilen bu konudaki nadir çalışmalardan biri konu edilmiş, mekanizasyon tasarım aşamalarından üretilmesi ve yerinde uygulanması anlatılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, tam mekanize kazı sisteminin ana elemanlarından birisi olan yürüyen tahkimatın ülkemizdeki üretim süreci anlatılmıştır. Üretilen bu yürüyen tahkimat sistemlerinin yeraltındaki testleri ve elde edilen sonuçlar bu çalışmada sunulmuştur. Sonuç, olarak ithal edilerek madenlerimizde kullandığımız yürüyen tahkimat sistemlerinin yerli imkanlarla üretilmesi, yeraltı testlerinin gerçekleştirilmesi ve tatminkar sonuçlar elde edilmesi sebebiyle, yeni benzer çalışmaların yapılması ve desteklenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yürüyen tahkimat, tahkimat, tam mekanize kazı sistemi, mekanizasyon

## **ABSTRACT**

**MS**

### **PRODUCTION AND APPLICATION OF THE ROOF SUPPORT PRODUCED BY LOCAL FACILITIES**

**Umut ÇETİNKAYA**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mining Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Niyazi BİLİM**

**2019, 88 Pages**

**Jury**

**Advisor Prof. Dr. Niyazi BİLİM  
Assoc. Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ  
Asst. Prof. Dr. Ali Ekrem ARITAN**

Mechanization systems in underground quarries started to be developed in the early 1900s, but the scarcity of R & D studies on this subject in our country prevented the development of these systems in our country. Major accidents and deaths in mines in recent years have revealed the importance of this issue. The necessity of the mechanization system is an important issue that should be carried out together from the quarry planning stage to the production stage. Today, mechanized excavation systems have begun to replace labor intensive production methods. In order to provide both economic production conditions and a safe working environment, the interest in mechanization systems has accelerated the initiation of the works both for the private sector and the government sector.

In this study, the development of underground mechanization systems in the world and one of the rare studies on this subject carried out in our country, the production and implementation of mechanization design stages are explained. For this purpose, the production process of the walking support which is one of the main elements of the fully mechanized excavation system is explained by Muda Engineering. The underground tests and the obtained results of these manufactured support systems are presented in this study. As a result, it is necessary to carry out and support new similar studies because of the production of walking support systems that we use in our mines by importing them with domestic facilities, performing underground tests and obtaining satisfactory results.

**Keywords:** Roof support, support, fully mechanization system, mechanization

## ÖNSÖZ

Dünyada hammaddeye artan talep nedeniyle dünyada tam mekanize kazı sistemine geçiş hızlanmıştır. Tam mekanize kazı sisteminin vazgeçilmez öğelerinden birisi de yürüyen tahkimat sistemleridir. Yürüyen tahkimat sistemi tam mekanize kazı sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olduğu gibi aynı zamanda mekanize ve yarı mekanize sistemlerde de tercih edilmektedir. Özellikle uzun ayak madenciliğinde tercih edilen bu tahkimat tipinin seri üretimi ülkemizde yapılmamaktadır. Bu nedenle yurtdışından ithal edilen bu ekipman nedeniyle büyük bir döviz kaybına uğranmaktadır. Bu çalışmada, yürüyen tahkimat sistemler hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, KOSGEP projesi kapsamında geliştirilen yürüyen tahkimat ünitesi tanıtılmıştır. Tahkimat sistemi hakkında bilgiler verilerek, deneme kömür ocağı olarak seçilen Yozgat-Sorgun'daki çalışmalardan bahsedilmiştir. Ayrıca yürüyün tahkimat sistemlerinin tipleri ve kullanım şartları hakkında da bilgiler sunulmuştur.

Bu çalışmamın hazırlanmasında hiçbir emeğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Niyazi Bilim hocama, çalışma boyunca bu imkanları Sağlayan Savana Madenciliğe ve Muda Mühendislik'e katkılarından dolayı Mustafa Arslan'a ve Sevgili Aileme teşekkür ederim.

Umut ÇETİNKAYA  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı .....	3
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Kömür Kazısında Mekanizasyon .....	4
2.2. Tamburlu Kesiciler .....	6
2.3. Kömür Sabanları.....	7
2.3.1. Löbbe Pulluk (Hızlı Saban).....	8
2.3.2. Anbauhobel Pulluk (Eklenmiş Saban) .....	9
2.3.3. Reissshakenhobel Pulluk (Koparıcı Saban).....	9
2.3.4. Gleithobel Pulluk (Kayıcı Saban) .....	10
2.3.5. Taban Plakalı Gleithobel Pulluk (Taban Plakalı Kayıcı Saban) .....	11
2.4. Aktif Pulluk Sistemleri .....	13
2.5. Günümüzde Kömür Sabanlarının Durumu.....	14
2.5.1. Kömür Sabanı Damar Yapısı İlişkisi .....	17
2.5.2. Saban Bıçakları .....	17
2.6. Ayak Tahkimatlarının Gelişim Aşamaları.....	18
2.7. Yürüyen Tahkimat Tipleri.....	22
2.7.1. Çerçeve Tipi Yürüyen Tahkimat (frame type hydrolic support) .....	22
2.7.2. Domuzdamı Tipi Yürüyen Tahkimat (chock supports) .....	23
2.7.3. Kalkan Tipi Yürüyen Tahkimat (shield supports) .....	23
2.7.3.1. Göçük Sarmasını Destekleyen Yürüyen Tahkimatlar .....	25
2.7.3.2. Tavan Sarmasını Destekleyen Yürüyen Tahkimatlar .....	27
2.7.3.3. Her İki Sarmayı Destekleyen Yürüyen Tahkimatlar .....	31
2.8. Yürüyen Tahkimatların Tanıtımı.....	31
2.8.1. Taban Şasesi: .....	33
2.8.2. Kufe: .....	33
2.8.3. Ön ve Arka Lemniskate Kol: .....	33
2.8.4. Göçük Sarması: .....	33
2.8.5. Tavan Sarması: .....	34
2.8.6. Ön Kape ve Kape Sürgü: .....	34
2.8.7. Tavan İtme Mekanizması: .....	34
2.9. Dayanım deneyleri.....	34
2.10. Direk Kuvvetlerinin Tahkimat Direncine Dönüştürülmesi .....	35
2.11. Tahkimatlarda Düşey Yükseklik Ayarı .....	36
2.12. Yürüyen Tahkimatlarda Basınç Oluşum ve Tipleri.....	38
2.12.1. YTÜ'lerde Tavan Yükünün Saptanması .....	42
2.12.2. YTÜ'lerde Yük Periyodu .....	48

<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>53</b>
3.1. Savana Madencilik Linyit İşletmesinin Tanıtımı .....	53
3.1.1. Coğrafi konum .....	54
3.1.2. Mevkii ve Ulaşım Şartları .....	54
3.1.3. Morfoloji, Hidrografi ve İklim .....	54
3.1.4. Sahanın Hukuki Durumu.....	55
3.1.5. Genel Jeoloji.....	55
3.1.5.1. Filiş Fasiyesi .....	55
3.1.5.2. Lagüner Fasiyesi.....	55
3.1.6. Tektonik .....	56
3.1.6.1. Kıvrımlar .....	56
3.1.6.2. Faylar .....	56
3.1.7. Havza gelişimi.....	56
3.1.8. Rezerv .....	56
3.2. Yürüyen Tahkimat Geliştirme Aşamaları .....	57
3.3. Tahkimatın Tasarımı .....	61
3.4. Tahkimatın Tasarım Testleri .....	63
3.5. Tahkimatın İmalatı .....	66
3.6. Tahkimatın Tanıtımı .....	69
3.7. Savana Madencilikte Mevcut Klasik Sistemle Yapılan Üretim .....	70
3.8. Deneme Yapılacak Ayağın Tavan Yüğü Hesaplamaları .....	73
3.8.1. Yürüyen Tahkimatlar İçin Arazi Yüğü Hesapları.....	74
3.8.1.1. Alman Sistemi .....	74
3.8.1.2. Polonya Sistemi .....	74
3.8.1.3. İngiliz Sistemi.....	75
3.8.1.4. Fransız Sistemi .....	75
3.8.1.5. Yehia Formülü.....	76
3.8.1.6. Amerikan Sistemi .....	76
3.8.1.7. Avusturya Sistemi .....	77
3.9. Yürüyen Tahkimatların Ayağa Götürülmesi ve Yerleştirilmesi .....	77
3.10. Yürüyen Tahkimat Ünitelerinin Çalıştırılması.....	79
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>83</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>84</b>
5.1. Sonuçlar .....	84
5.2. Öneriler .....	85
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>86</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>88</b>



## ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 2.1. İlk sabanın görüntüsü saban1941(Cat.com.,2019) .....	8
Şekil 2.2. Löbbe Saban tasarımı 1950 (Cat.com.,2019) .....	9
Şekil 2.3. Reissshakenhobel® S 4N (Cat.com.,2019).....	10
Şekil 2.5. Makinenin her iki tarafındaki hidrolik kazıçılı uçlar vasıtasıyla aktarılan ve pulluk zinciri tarafından çekilen sistem (Cat.com.,2019).....	14
Şekil 2.6. Cat RHH800 saban sistemi.....	14
Şekil 2.7. Cat GH800 saban sistemi .....	15
Şekil 2.8. Cat GH1600 saban sistemi .....	16
Şekil 2.9. Arından Tahrikli Tip (Gleithobal Plow System)(Ostroj.cz.,2019).....	16
Şekil 2.10. Arından Tahrikli Tip <i>Taban Plakalı Tip (Sliding Plow System)(Ostroj.cz.,2019)</i> .....	17
Şekil 2.11. Üçgen Saban kesikleri ve kullanılışı (Eskikaya.,1983).....	18
Şekil 2.12. Ağaç Tahkimatın Uygulanması (Ahıska & Esen, 1987).....	19
Şekil 2.13. Ağaç Tahkimatın Geri dönümlü Uzun Ayak Sisteminde Uygulanması. ....	19
Şekil 2.14. Hidrolik Direk. (Ahıska & Esen, 1987) .....	20
Şekil 2.15. Hidrolik Direğin Şematik Görünümü ve Ayak İçerisinde Uygulanması. ....	20
Şekil 2.16. Çin Tipi Yarı Mekanize Adıyla Anılan Yürüyen Tahkimat Sistemleri. ....	21
Şekil 2.17. Çerçeve Tipi Yürüyen Tahkimat. ....	22
Şekil 2.18. Domuz Damı Tipi Yürüyen Tahkimat. ....	23
Şekil 2.19. Yürüyen tahkimatların tipleri (Ahıska ve Esen, 1987).....	24
Şekil 2.20. Kalkan Tipi (Shild) Yürüyen Tahkimat. ....	24
Şekil 2.21. Direklerin Göçük Sarması Altında Yerleştirildiği Kalkan Türü Tahkimat. .	25
Şekil 2.22. Göçük Sarması Üzerinden Açılan Pencere ile Tavandan Kömür Akıtmaya Uygun Kalkan Türü Tahkimat (Hemscheidt 320/20-30 Modeli). ....	27
Şekil 2.23. Direkleri Dik Konumda Yerleştirilmiş Lemniscate Bağlantılı Kalkan Türü Tahkimat. ....	27
Şekil 2.24. Dike Yakın Yerleştirilmiş İki Direkten Oluşan Kalkan Türü Tahkimat. ....	28
Şekil 2.25. Direkleri “V” Biçiminde Yerleştirilmiş Dört Direkli Kalkan Türü Tahkimat. ....	28
Şekil 2.26. Direkleri “X” Biçiminde Yerleştirilmiş Dört Direkli Kalkan Türü Tahkimat. ....	29
Şekil 2.27. Tavan Sarması Üzerinden Açılan Pencere ile Tavandan Kömür Akıtmaya Uygun Kalkan Türü Tahkimat (Nikex – VHP 730 Modeli).....	30
Şekil 2.28. Tavan Sarması Üzerinden Açılan Pencere ile Kömür Akıtmaya Uygun Kalkan Türü Tahkimat (Nikex – VHP 733 Modeli).....	30
Şekil 2.29. BS 2-1 VH Modeli Kalkan Türü Tahkimat.....	31
Şekil 2.30. (Thomas ve ark, 1987).....	32
Şekil 2.31. Şiltin Tanıtımı.....	32
Şekil 2.32. Tahkimatların Test Edilmesi .....	35
Şekil 2.33. İki Direkli ve Dört Direkli Tahkimat Sistemleri.(Peng.,2006).....	38
Şekil 2.34. YTÜ'lerde Direnç Eğrisi (Peng ve Chiang,1984).....	41
Şekil 2.35. YTÜ'lerde Oluşan Üç Tip Basınç Değişimi (Peng, 1998). ....	42
Şekil 2.36. Ayak İçi YTÜ'ye Gelen Yükün Hesabı (Birön ve Arıoğlu,1980).....	43
Şekil 2.37. YTÜ Üzerindeki Tavan Bloğu ve Yükler (Wilson, 1975). ....	43
Şekil 2.38. Eğimli Damarlarda Tavan Yükü (Jakobi, 1981). ....	44
Şekil 2.39. YTÜ'lerde Genelleştirilmiş Tavan Yükü Modeli (Peng, 2006). ....	45
Şekil 2.40. Göçertmeli Uzunayaklarda YTÜ Üzerine Gelen Yükler (Tianbe, K. ve Zhongming, J. 1999).....	47

Şekil 2.41. Tahkimat yükü – esneme sonrası denge hali (trueman ve diğ.,2005). .....	50
Şekil 2.42. Tahkimat yükü – sürekli esneme periyodunda (Trueman ve diğ.,2005).....	50
Şekil 2.43. YTÜ ön yükü ile YTÜ yük artışı arasındaki ilişki (Peng ve diğ., 1986).....	51
Şekil 3. 1. Yozgat ili, Sorgun ilçesinde bulunan işletme sahası, Yozgat Sivas karayolu üzerinde bulunmaktadır. 54	
Şekil 3. 2. Yürüyen Tahkimata Uygulanan Bileşke Yükler .....	57
Şekil 3. 3. Yürüyen Tahkimat Ana Unsurları .....	58
Şekil 3. 4. Yatay yükleme Altında Tahkimat Elamanlarının Davranışı .....	58
Şekil 3. 5. Tavan Sarması Üzerindeki Vektörel Kuvvetler .....	59
Şekil 3. 6. Kutup Noktası.....	60
Şekil 3. 7. Tahkimata Etki Eden Vektörel Kuvvetler .....	62
Şekil 3. 8. Tahkimatın Tasarım Çalışmaları .....	63
Şekil 3. 9 Üst Yüzeyden Düzgün Dağılmış Yayılı Yük Altında Durum.....	64
Şekil 3. 10. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Analizler: Yayılı Yük Altında.....	65
Şekil 3. 11. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Analizler: Köşe Noktasından Yükleme.....	65
Şekil 3. 12. Üst Tabla Köşe Bölgesinden Uygulanan Yayılı Kuvvete Karşılık Oluşan Maksimum Eşdeğer Gerilmeler .....	66
Şekil 3. 13. Tahkimatların 250 Tonluk Pres Altında Test edilmesi .....	66
Şekil 3. 14. İlk Tahkimatın İmalatı .....	67
Şekil 3. 15. İlk Tahkimatın İmalatı .....	67
Şekil 3. 16. İlk Üretilen Tahkimat .....	67
Şekil 3. 17. İlk Üretilen Tahkimatın Maden 2016 Fuarında Tanıtımı .....	69
Şekil 3. 18. Aynaya deliklerin delinmesi.....	70
Şekil 3. 19. Deliklerin patlatılması ve ayak içi konveyöre aktarılması .....	71
Şekil 3. 20. Aynada açılan boşluğun süren kamalarla tahkim edilmesi .....	71
Şekil 3. 21. Kömürün konveyörle taşınması.....	72
Şekil 3. 22. Aynaya sarmaların ve direklerin yapılması.....	72
Şekil 3. 23. Domuz damının sökölüp ayak arkasına yeniden kurulumu .....	73
Şekil 3. 24. Savana Madencilik karo sahasına makineler son testlerde .....	78
Şekil 3. 25. Yürüyen Tahkimatların Ocak İçerisine Taşınması.....	78
Şekil 3. 26. Yürüyen Tahkimatların İş Akış Planlaması .....	79
Şekil 3. 27. Aynaya İki Metrelik Deliklerin Delinmesi.....	79
Şekil 3. 28. Patlatma sonrası Ön sürgünün sürülmesi ve patlatılan kömürün konveyöre yüklenmesi .....	80
Şekil 3. 29. Tahkimatın 1 metre ötelenmesi .....	80
Şekil 3. 30. Konveyörün 1 metre ilerletilmesi.....	81
Şekil 3. 31. Tahkimatın aynı vardiyada ikinci kez ilerletilmesi .....	81
Şekil 3. 32. Tahkimatların Yeraltında Çalıştırılmaları .....	82

## 1. GİRİŞ

Kömür şu an dünyamızda elektrik üretiminde en önemli rolü oynamaktadır. Kömür şu anda dünyanın elektriğinin %40'ına yakıt vermektedir ve bu oran uzun yıllar sürecektir.

Dünya çapında hemen hemen her ülkede kömür rezervleri mevcuttur. Mevcut üretim seviyelerinde, kanıtlanmış kömür rezervlerinin 147 yıl dayanacağı tahmin edilmektedir. Diğer kaynaklar mevcut üretim seviyelerinde sırasıyla yaklaşık 200 yıl veya daha fazla yıl konuşmaktadır. Birçok kaynağa göre, uranyumun "kanıtlanmış rezervleri" yalnızca mevcut tüketim seviyelerinde yaklaşık 50 yıl sürecek kadardır. Buna ek olarak, nükleer enerji ekonomisi ve nükleer atıkların tedavisi ile ilgili ciddi endişeleri ile sınırlıdır. Hayati olmasına rağmen yenilenebilir enerji üretiminin uygulanması (bugün % 4 civarında) uzun zaman alacaktır. Böylece, Uluslararası Enerji Ajansı'na göre 2050'de kömür talebi o günden bugün daha da artacaktır.

Yeraltı kömür işletmeciliğinde üretim ve randıman artışı büyük ölçüde ayak ilerleme hızlarının arttırılması ile sağlanmaktadır. Şartlar uygun oldukça ilkel yöntemler terk edilerek emek yoğun işler, makinalar tarafından yapılmaktadır. Kazı makinaları, mekanizasyonu ve mekaniğindeki gelişmeler ayak tahkimatının da gelişmesini zorunlu kılmaktadır.

Yeraltı uzun ayak yöntemiyle çalışan ocaklarda ilerleme hızının arttırılması ve daha emniyetli, verimli çalışma yapabilmek için ilk olarak 1950'li yıllarda yürüyen tahkimat dizaynları geliştirilemeye başlanmış, günümüze kadar bu konuda oldukça büyük aşamalar sağlanmıştır.

Ülkemiz yeraltı kömür ocaklarında mekanizasyonla ilgili ilk çalışmalar 1983 yılında GLİ Tunçbilek Bölgesinde 30 m'lik bir mekanize ayak sistemi ile denenmeye başlanmıştır. Günümüz de birçok özel sektör firması tam mekanize sistem satın alarak son derece başarılı bir şekilde çalışmaya devam etmektedir.

Son yıllarda yarı mekanize hidrolik tahkimat sistemleri olarak adlandırılan TTK Zonguldak havzasında ve Soma havzasında yaygınlaşmaya başlayan yeni bir sistemi de yürüyen tahkimat kategorisinde sınıflandırmak mümkündür. Bu tahkimat sistemi dört direk üzerinde duran ve birbirlerine zincir ya da kiriş sistemiyle bağlı olarak çalışan, ilerleme kısmı hidrolik ilerleme pistonuyla yapılırken, farklı olarak taban plakası

olmadığından direklerin ilerletimi ve sıkılanması manuel olarak yapılmaktadır. Tahkimatların birbirlerine bağlı olmasının birlikte hareket etmelerini sağladığından emniyet açısından son derece olumlu yönleri vardır. Vardiyada ilerletimleri yürüyen tahkimatlar kadar hızlı olmasa da ağırlıklarının 1-2 ton civarında olması ve ebatlarının çok küçük olmasından dolayı, taşınması ve kurulup sökülmesi çok kısa zamanda yapılabilmektedir. Arkadan göçertmeli geri dönümlü uzun ayaklar için başarıyla ülkemizde uygulanmış bir sistemdir (Kocaman ve Kocaman, 2015).

Tam mekanize uzunayak tasarımlarında Yürüyen Tahkimat Ünitelerinin (YTÜ) tip ve yük taşıma kapasitelerinin doğru seçimi yüksek maliyetlerinin düşürülmesi ve üretimin güvenli bir şekilde yapılmasının temini açısından çok önemli bir aşamayı oluşturmaktadır.

Bakir kömür damarlarındaki uygulamalarda, YTÜ yük taşıma kapasiteleri birçok araştırmacı ve tahkimat üreticisi firmalar tarafından geliştirilen yaklaşımlar ile hesaplanmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan yaklaşımlar ayrılmış tavan bloğu teorisine dayanmaktadır. Bu yaklaşımlarda YTÜ üzerindeki yalancı tavanın yüksekliği ve buna bağlı olarak tavan yükü hesaplanarak YTÜ'nün taşınması gereken minimum yük miktarı saptanmakta ve sonrasında tecrübeye dayalı uygulamalar ile YTÜ esneme (yield) yükü tayin edilmektedir. (Öğretmen, 2015)

Çerçeve tipi tahkimatlar bu alanda ilk yapılan tahkimat sistemleri olup arkadan kömür göçertme (sub-level caving) yöntemine göre dizayn edilmiştir. Günümüzde tercih edilmeyen tahkimatlardan oluşan bu mekanize ayağın dünyadaki uygulamaları da çok kısıtlı olmuştur, sistemin dizayn özelliği nedeniyle diğer bazı ülkelerde (Yugoslavya ve Fransa) olduğu gibi Tunçbilek'te de başarılı olmamıştır.

Haziran 1986'dan beri Çayırhan'da tam mekanize üretim yapılmaktadır. Uzunayaklarda kalkan (shield) tipi yürüyen tahkimatlar kullanılmaktadır. 1990 yılında ELİ Eynez'de yarı mekanize iki sistem (tek tamburlu kesici-yükleyici + çelik sarma, hidrolik direk) (koparıcı saban + çelik sarma, hidrolik direk) denenmiş ve başarısından sonra tam mekanize üretim sistemine geçiş yapılmıştır. GLİ işletmesinde de tam mekanize kömür üretimi yapılmaktadır. Anlaşıldığı gibi mekanize üretim gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

## 1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışma konusu bu tezde Türkiye’de yapılan ilk yerli üretim tahkimat sistemlerinin yapılması ve ilk denenmesi anlatılmıştır. İki direkli lemniskat tip tahkimatın statik ve kinematik hesaplama aşamaları araştırılmış ve bu hesaplamalar doğrultusunda şilt tasarlanıp imalatının yapılması aşamaları anlatılmıştır. Bu aşamalarda kullanılan devlet desteklerinden bahsedilmiş ve ilk kez üretilen yürüyen tahkimat sisteminin yeraltı linyit işletmesine yerleştirilmesi ve çalıştırılması incelenmiştir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada yeraltı kömür ocaklarında kullanılan mekanizasyon sistemleri tanıtılmış, Avrupa ve Amerika’da bu sistemlerin gelişim tarihi ve gelişim metotlarına yer verilmiştir. Mekanizasyon sistemlerinin sınıflandırılması ve günümüzdeki kullanımından bahsedilmiştir. Proje konusu yürüyen tahkimatlar ve kömür pulluklarına geniş yer verilmiştir.

### 2.1. Kömür Kazısında Mekanizasyon

Kömür madenlerindeki ilk mekanizasyon kazma-kürek kullanımıdır. İnce damarlarda (1m’den küçük) kazma kullanmak zorluğu potkapaç makinelerinin gelişmesine sebep olmuştur. İlk geliştirildiğinde potkapaç makinesi ile damar tabanında bir yarık açılmakta, böylece serbest yüzey oluşturulduğu için kömür kolaylıkla koparılmaktadır. 1935’de İngiltere’de ilk klasik mekanize uzun ayak sistemi kullanılmıştır. Bu sistem, 1,8 m derinliğe kadar damarın herhangi bir yerinde kesme yapan potkapaç makinesi, bir bant konveyör ve tahkimat ünitesinden meydana gelmiştir. Tavan tahkimatında rijit ağaç veya demir direkler, ayak gerisinde ise ağaç domuzdamları kullanılmıştır. 1940’larda kömürü elle yükleme yerine mekanize olarak kazıp yükleyecek makinelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu konuda yapılan ilk çalışma ise Meco-Moore Kesici Yükleyicisidir. Klasik sabit tahkimatla kullanılan bu makinanın başarısı kısıtlı olmuştur. Geniş bir alanı kaplayan makinanın geçişi esnasında tahkimatın sökülüp yeniden yapılması gerekiyordu bu işlem ise hem zor, hem de işçilik ve zaman kaybına sebep olmaktadır. Bu problemin giderilmesi için yapılan çalışmalar, İngiltere’de hidrolik direklerin, Almanya’da ise sürtünmeli çelik direklerin gelişmesine sebep olmuştur. İlk kesici-yükleyiciler periyodik çalışma gerektirdikleri için başarılı olmamış, kesme-yükleme ve tahkimatın paralel olarak yapılabileceği bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Almanya’da geliştirilen zırlı-zincirli oluklar böyle bir sisteme imkan tanımışlardır. 1950’lerin sonlarına doğru, Almanya’da Kömür Pulluğu (saban), İngiltere’de ise Tamburlu Kesici-Yükleyiciler geliştirilmiş olup, hidrolik direklerin yerini, çerçeve ve kalkan tipi hidrolik yürüyen tahkimatlar almıştır. Avrupa’da bu çalışmalar sürerken, Amerika’da da benzer çalışmalar yapılmış ve 1948 yılında Sürekli Kazı (continues miner) makineleri üretilmiştir. Ancak günümüzde normal galeri açma makineleri de üretim amaçlı kullanıldıkları zaman “Sürekli Kazı Makinesi” olarak

adlandırılmaktadır. Bu nedenle kömür ve benzeri madenlerin üretiminde kullanılan sürekli kazı makineleri “Tambur Tipli Kollu Kazı Makineleri” olarak da adlandırılmaktadırlar (Hekimoğlu1988).

Günümüzde kömür ve benzeri madenlerin üretiminde mekanizasyonu meydana getiren ekipmanlar; uygulanan üretim yöntemine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Kömür üretiminde mekanizasyona uygun üç yöntem vardır. Bunlar;

- Oda-Topuk üretim yöntemi
- Uzun-Ayak üretim yöntemi
- Kısa-Ayak üretim yöntemi

Bu yöntemler yaygın olarak az meyilli, ince ve orta kalınlıktaki damarlarda uygulanmaktadır. Daha kalın ve/veya fazla meyilli damarlarda özel metotlar uygulanmaktadır. Bu yöntemler için geliştirilen ekipmanlar Çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Yeraltı cevher üretiminde kullanılan kazı yöntemleri ve ekipmanlar

. YÖNTEM	Kazı İşlemi	Gerekli Ekipmanlar
Oda-Topuk	Delma-Patlatma	Potkapaç, Jumbo delici, Kollu Yükleyici, Kömür Arabası, Tavan Civatalayıcısı, Zincirli Nakliye sistemi
	Mekanik Kazı(Sürekli Kazıcı)	Sürekli Kazı Makinesi, Kömür Arabası, Tavan Civatalayıcı
Uzun Ayak	Mekanik Kazı (saban)	Zincirlik Oluk, Saban, Yürüyen Tahkimat
	Mekanik Kazı (Tamburlu Kesici Yükleyici)	Zincirlik Oluk, Tamburlu Kesici-Yükleyici, Yürüyen Tahkimat
Kısa Ayak	Mekanik Kazı (Sürekli Kazıcı)	Sürekli Kazı Makinesi, Kömür Arabası veya Çelik plakalı taşıyıcı, Yürüyen Tahkimat

Bu çalışmada, Uzun Ayak üretim yöntemlerinde kullanılan mekanize kazıcı yöntemler anlatılmıştır.

## 2.2. Tamburlu Kesiciler

Tamburlu kesici-yükleyici veya pulluk kullanımına karar verilmeden önce jeolojik, ekonomik ve organizasyon durumlarının göz önüne alınması gerekmektedir. İki sistem arasında yapılacak seçime etken olan birçok faktör olmasına rağmen en önemlileri çalışılacak damar kalınlığı ve kesilebilirlik durumudur.

Tamburlu kesici-yükleyiciler ile 0,60m 7,1m arası damarlarda çalışma yapılabilmeyle birlikte genellikle 1.3m-1.5m den ince damarlarda pulluk tercih edilmekte, ancak kazılabilirlik durumu uygun değilse veya yeterli üretim sağlanamıyorsa tamburlu kesici-yükleyici kullanılmaktadır. Aynı şekilde, kazılabilirlik ve tavandan kopabilme durumu uygun olduğunda 3m ye kadar kalınlıklarda pulluk kullanılabilmeyle birlikte, kalınlık arttıkça pulluğun dene durumundan ve kesmede sorunlarla karşılaşılabilmeyle olup, genellikle 1.80m den kalın damarlarda tamburlu kesici-yükleyici tercih edilmektedir. Genellikle pullukların ince damarlar, tamburlu makinelerin ise kalın damarlar için uygun olduğu söylenebilir. Ara kalınlıklardaki damarlar için makine seçimi yapılırken ise birçok faktörün göz önüne alınması gereklidir. Çizelge 2.2'de tamburlu kesici-yükleyici ve pulluk sistemlerinde çalışma şartlarını karşılaştırmaktadır. Bu sistemlerin sürekli geliştirilmeleri nedeni ile, dezavantaj olarak belirtilen bazı hususların zamanla değişebileceği göz önünde tutulmalıdır.

Makine seçiminde, kişisel tercihler, herhangi bir sistem üzerinde kişisel tecrübe sahibi olman ve belirli bir sistemin daha önceden var olması veya sağlanması daha kolay olması gibi faktörlerde rol oynamaktadır.

Tamburlu kesicilerin sabit tamburlu kesici-yükleyiciler, gezici tamburlu kesici-yükleyiciler, tek gezici-tamburlu kesici-yükleyiciler ve çift gezici-tamburlu kesici-yükleyiciler gibi farklı türleri bulunmaktadır. Fakat günümüzde sadece L tipi çift tamburlu kesiciler üretilmekte ve kullanılmaktadır.



## Çizelge 2.2. Tamburlu Kesici – Yükleyici ve Pulluk Sistemlerinin Karşılaştırılması

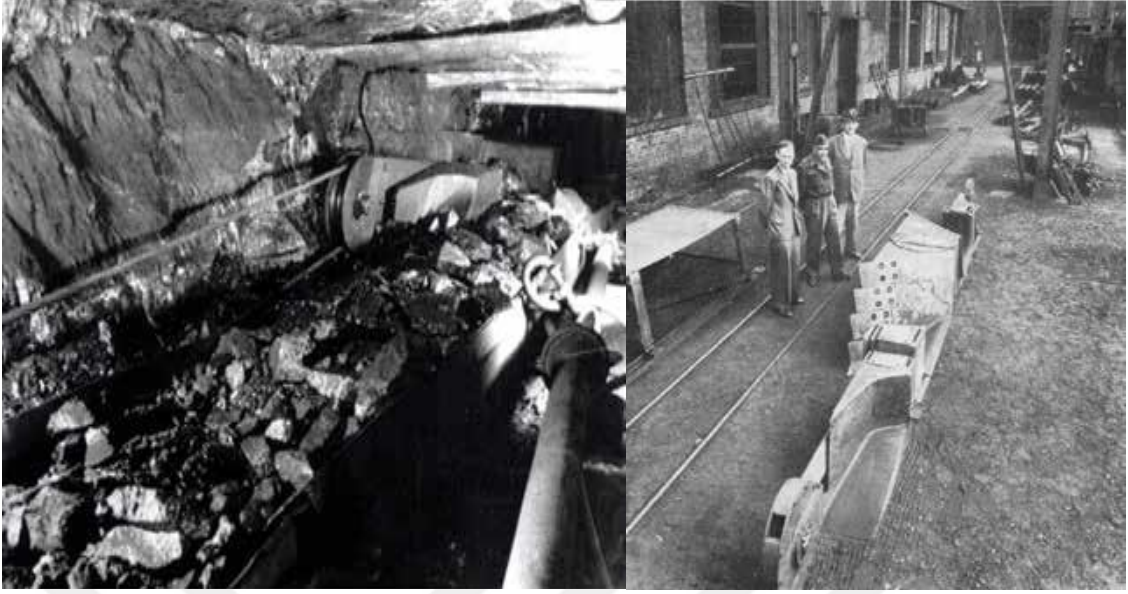
Şartlar	Pulluk	Tamburlu Kesici-Yükleyici
Sert kömür ve ara kesme	Zayıf	İyi
Kömürün tavandan kopma özelliği zayıf	Zayıf	Önemsiz
Uç sarfiyatı	Az	Yüksek
Toz oluşumu	Az	Yüksek
Metan gazı yayılması	Az	Yüksek
Tane büyüklüğü	Daha büyük	Daha küçük
Tavan kontrolü	Daha kolay	Daha zor
Fay arızası	Zayıf	Daha esnek
Taban kazısı kontrolü	Daha güç	Daha kolay
Damarda ondülasyon	Zayıf	Daha esnek
Güç ünitesi ve kablo	Gerekli gücü ayak başında sağlanmakta	Güç ünitesi makine üzerinde olduğundan elektrik kablosunun birlikte gezdirilmesi gerekiyor
İlk yatırım	Daha az	Daha yüksek
Bakım gereksinimi	Az	Yüksek
Üretimin sürekliliği	Daha az	Daha fazla
Nezaret ve organizasyon gereksinmesi	Daha fazla	Daha az
Makina ile birlikte operatör gereksinimi	Yok	Var

### 2.3. Kömür Sabanları

Uzunayak yeraltı madenciliği yöntemi 20. yüzyılın başında kuruldu. Gerçek mekanizasyon kömür madenciliği süreci 1940'ların başına kadar kurulmamıştı, ancak kömürün "dilimleme kesimi" için ilk patentler 1912'nin başlarında verilmiştir. Aşağıdaki liste verilen patentleri ve bazılarını göstermektedir. Şekil 2.1'de ilk üretilen sabanın görüntüsü yer almaktadır.

- 1912—Wissmann (Germany)
- 1917—Hirst (UK)
- 1922—Diancourt (Netherlands)
- 1927—Ducoer (France)
- 1929—Morgen (USA)
- 1930—Wilhelm Löbbe receives the patent for the coal plow
- 1935—Hammel (Germany)
- 1941—Ibbenbüren mine builds the first coal plow (Inventor: Konrad Grebe)

Konrad Grebe)



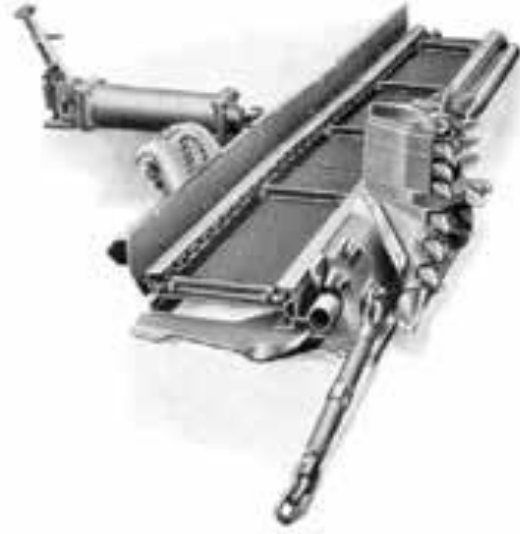
Şekil 2.1. İlk sabanın görüntüsü saban1941(Cat.com.,2019)

Kömür pulluğu, uzun ayağın iki bulunan tespit sistemlerine konumlandırılmış dişlilerin üzerinden geçen sonsuz zincir ile ayak boyunca her iki yönde hareket ederek kömürü kesip yükleyen bir kazı makinesidir.

İlk kömür pulluğu 1941 yılında Almanya'da kullanılmış olup, her iki yanına kesici bıçaklar yerleştirilmiş bir gövde, ayak başlarına yerleştirilen motorlar kullanılarak halatlarla ayak boyunca çekilmiş ve kömürün kesilerek konveyöre yüklenmesi sağlanmıştır. 0,1m/s çekme hızı ve 0,3m kesme derinliğinde yapılan bu çalışma, kesme derinliğinin fazlalığı nedeniyle, özellikle sert kömürlerde yüksek çekme kuvvetleri gerektirmesi ve taban seviyesinin korunmasında karşılaşılan problemler nedeni ile başarılı olmamıştır.

### 2.3.1. Löbbe Pulluk (Hızlı Saban)

1949 yılında Almanya'da geliştirilmiş olan Löbbe Pulluk (Şekil 2.2), ince kesme derinliğinde yüksek hızda kesme yapmak üzere dizayn edilmiştir. Bu tip pullukla yaklaşık 0,4m/s çekme hızı ve 0,05m- 0,15m arası kesme derinliği uygulanmıştır. Halatla çekme yerini 22mm'lik sonsuz zincire terk etmiştir, ancak pulluk zinciri ve konveyör zincirinin çekilmesi aynı motorla yapılmıştır.



Şekil 2.2. Löbbe Saban tasarımı 1950 (Cat.com.,2019)

### 2.3.2. Anbauhobel Pulluk (Eklenmiş Saban)

Pulluk ve konveyör zincirlerinin birbirinden bağımsız çalışmasına gerek duyulduğunda Anbauhobel pulluk geliştirilmiştir.

Bu sistemde konveyör motorundan ayrı olarak pulluğun çekilmesi için ayağın her iki ucuna birer pulluk motoru yerleştirilmiştir. Zırhlı (panzer) konveyörün alın tarafına tespit edilmiş çelik bir boru gayt pulluğa kılavuz vazifesi görmekte ve pulluk gövdesine bağlı, konveyörün altından kayan çelik plaka kollar vasıtasıyla denge sağlanmaktadır. Sonsuz zincir alın tarafına yerleştirilmiş olup, çekme zinciri açıkta, dönüş zinciri ise genellikle kılavuz tüp içinde hareket etmektedir.

Taban kazı seviyesinin kontrolündeki zorluklar, zincirin altına yakın olmasının yarattığı güçlükler ve özellikle sert kömürlerde kesme derinliğinin sabit tutulamaması gibi nedenlerle Anbauhobel yerini daha sonra geliştirilen Reissshakenhobel ve Gleithobel tipi pulluklara bırakmıştır.

### 2.3.3. Reissshakenhobel Pulluk (Koparıcı Saban)

1960'lı yıllarda daha çok ince, yumuşak ve orta sertlikteki damarlar için geliştirilmiş olan Reissshakenhobel tipi pulluk (Şekil 2.3), 1970'li yıllarda Almanya'da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bugün daha da geliştirilen bu tip pulluklar,

damar özelliklerine göre 0,55 metreden 3,0 metre kalınlığa ve  $60^{\circ}$  eğime kadar uygulanabilmektedir.

Reisshakenhobel'in Anbauhobel'den en önemli farkı sonsuz zincirin ve pulluk motorlarının konveyörün ayak arkasına bakan kısmına yerleştirilmiş olmasıdır. Pulluk gövdesine bağlı menteşeli bir taban plakası konveyörün altından geçerek diğer kenarda çekme zincirine bağlanmaktadır. Çekme ve dönüş zincirleri konveyör kenarına bağlı kapalı kanallar içinde hareket etmektedir.

Reisshakenhobel sistemin Anbauhobel'e göre başlıca avantajları şöyle sıranalabilir:

a) Özellikle ince ve eğimli damarlarda, Anbauhobel pulluğun konveyörün alın tarafında olan sonsuz zincirinin kontrol ve tamirinin tehlikeli olması. Reisshakenhobel sistemde bu işlem kolaylıkla yapılmaktadır.

b) Anbauhobel sistemde açıkta hareket eden çekme zinciri, özellikle kopma halinde ayakta çalışan işçiler için tehlike arz etmektedir. Reeshakenhobel sistemde sonsuz zincir kapalı kanal içine alınarak bu emniyetsiz durum ortadan kaldırılmıştır.

c) Anbauhobel sistemde alın tarafındaki çekme zinciri kesilen kömürlerin konveyöre yüklenmesinde bir engel teşkil etmektedir. Reisshakenhobel sistemde alın tarafından zincirin ve gayt tütün kaldırılmasıyla yüklemenin daha verimli olması sağlanmıştır.

d) Taban kazı seviyesinin korunması Reisshakenhobel sistemde daha başarılı olmaktadır.



Şekil 2.3. Reishshakenhobel saban (Cat.com,2019)

#### 2.3.4. Gleithobel Pulluk (Kayıcı Saban)

Yapılan çalışmalar Anbauhobel ve Reishshakenhobel sistemlerde taban ile konveyör arasında hareket eden taban plakasının yüksek sürtünme kuvvetlerine neden

olduğunu, çekme kuvvetinin çoğunluğunun bu sürtünme ve yükleme için harcadığını ortaya koymuştur.

1960'lı yıllarda geliştirilen Gleithobel pullukta (Şekil 2.4.) taban plakası kaldırılmış, böylece sürtünme için harcanan kuvvet azaltılarak kesmeye daha fazla kuvvet sağlanmış ve daha sert kömürler kesilmesi mümkün olmuştur.

Gleithobel pulluk, konveyörün alın tarafına tespit edilmiş eğimli çelik plaka üzerinde kaymakta ve sonsuz zincir bu plaka içinde oluşturulan kanallar içinde hareket etmektedir. Çelik plaka uç kenarı kömür alnına dayanarak sabit bir kesme derinliği sağlanmakta ve ayarlanabilir alt kesici bıçaklar ve ayak gerisine bakan kısma yerleştirilmiş hidrolik krikolar kullanılarak taban kazı seviyesi kontrol edilebilmektedir.



Şekil 2.4. Gleithobel türü saban (Cat.com.,2019)

### 2.3.5. Taban Plakalı Gleithobel Pulluk (Taban Plakalı Kayıcı Saban)

Taban plakalı Gleithobel pulluk son yıllarda geliştirilmiş olup, Gleithobel ve Reishshakenhobel sistemlerin özellik ve avantajlarını birleştiren bir pulluktur. Bu sistemde konveyörün altından kömür alnına kadar uzanan bir kayma plakası bulunmaktadır. Bu kayma plakasının ucu kömür alnına dayanarak, Gleithobel sistem de olduğu gibi, belirli bir derinlikte kesme yapılmasını sağlamaktadır. Reishshakenhobel sistemde olduğu gibi, pulluk gövdesine bağlı bir taban plakası, konveyör altı ile kayma plakası arasında kaymakta olup, sonsuz zincir konveyörün ayak gerisine bakan

kısımındaki kanallar içinde hareket etmektedir. Taban plakalı pulluğun avantajları şöyle sıralanabilir.

a) Taban plakalı Gleithobel pulluk gayt sistemindeki emniyet ve sağlamlık nedeniyle özellikle çok eğimli damarlar için avantajlı olmaktadır.

b) Gleithobel sistemde olduğu gibi belirlenen bir derinlikte kesme yapabilmektedir.

c) Taban kazısı kontrolü Gleithobel sistemde olduğu gibi kolaylıkla yapılabilmektedir.

d) Sosuz zincir, Reissshakenobel sistemde olduğu gibi konveyörün ayak arkasına bakan kısmında olduğundan, kontrolü ve tamiri kolaylıkla yapılabilmektedir.

e) Taban plakası Reissshakenobel sistemde taban üzerinde kaymakta, bu da yüksek sürtünme kuvvetine neden olmaktadır. Taban plakalı Gleithobel'de ise taban plakası çelik plaka üzerinde kaydığından, sürtünme kuvveti nedeniyle kayıp daha az olmaktadır.

Yukarıdaki belirtilen avantajlar yanında, taban plakalı Gleithobel sistemin daha ağır ve pahalı olması, başlıca dezavantajları olmaktadır.

1960 ve 2003 yılları arasında, Yalnız Gleithobel için 14 tane daha pulluk modeli vardır.

Aşağıdaki pulluk modelleri halatla çekildi:

- **Ibbenbüren mine:** Einheitshobel
- **Demag Company:** Stufenhobel
- **Brüninghaus Company:** Schnellhobel
- **Westfalia Lünen:** Schnellhauer "Hannibal-Hauer".

1947'den sonra bütün pulluklar zincirlerle çekildi. Tüm bu pullukların bir listesi aşağıdadır:

- **Westfalia Lünen:** Löbbe-Hobel, Reissshakenobel, Gleithobel, Gleitschwerthobel® (furthermore Anbauhobel, Prismenhobel, Tandemhobel, Vibrationshobel, Drehhobel, Pottshobel, Pulthobel, Tischhobel, Hydrohobel, Steilhobel)
- **Brand:** Kettenstufenhobel
- **Eickhoff:** Universalhobel
- **Beien:** Megahobel, Rampenhobel, Schlaghobel,

Raupenhobel, Gelenkhobel

- **Klöckner Becorit:** Universalhobel, Schlagkopfhobel
- **GHH:** Hydrohobel Jet-Miner
- **Halbach&Braun:** Kompakthobel, Kompaktrollenhobel, Schwertrollenhobel
- **Heintzmann:** CLM

Pulluk sisteminde yapılan gelişmeler daha sert kömürlerin kesilebilmesine olanak vermiştir. 1961 yılında pulluk uygulanabilecek kömürlerin sınır basma dayanımı yaklaşık  $90 \text{ kgf/cm}^2$  kabul edilebilmekteyken, 1960'lı yılların sonunda bu sınır  $160 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye, daha sonraki yıllarda ise  $400 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye kadar çıkmıştır. (Bölükbaşı,1986).

Bu Alman şirketlerine ek olarak, yukarıda bahsedilen modellerden bir veya daha fazlasına dayanan pulluklar Japonya, Rusya, Çek Cumhuriyeti ve Polonya'da geliştirilmiştir. 1965'te yapılan bir araştırmaya göre, Alman kömür endüstrisi çeşitli tedarikçilerden 531 pulluk sistemi kullandı; Bunların büyük çoğunluğu Westfalia Luenen'den geldi. Bu sistemler boksit ve fosfat madenlerinde de kullanılmıştır.

1980'lerin ortalarında, kurulu güç büyük ölçüde  $2 \times 250 \text{ kW}$ 'a yükseldi. Bu gücü elde etmek için, pulluk zinciri boyutu  $34 \text{ mm}$  çapa yükseldi ve  $1,8 \text{ m / sn}$ 'lik sürme hızına ulaşıldı. 1990'lı yıllara gelindiğinde, kurulu kesme gücü  $38 \text{ mm}$ 'lik pulluk zincir çapıyla  $2 \times 315 \text{ kW}$ 'a kadar tekrar yükseldi ve daha sonra on yılda  $2 \times 400 \text{ kW}$ 'a çıkmış ve maksimum sürme hızı  $3 \text{ m / s'e}$  ulaşmıştır.

1995 yılından sonra daha önce bahsedilen pulluk modellerinin çoğu dezavantajları ve teknik yetersizlikleri nedeniyle yıllar içinde kayboldu. Daha önceki modelleri üreten şirketler yıllar içinde ya iflas etti ya da diğer şirketlerle birleşti.

#### 2.4. Aktif Pulluk Sistemleri

Aktif pulluklar araştırılmış ve kısmen deneme makineleri haline getirilmiştir, çünkü eski pulluk sistemleri düşük beygir gücüne sahipti ve otomasyon yoktu, bu nedenle sert kömür veya kaya kesimi temelde olanaksızdı. Bununla birlikte, tüm denemeler tatmin edici üretim rakamları sağlayan bir makineyle sonuçlanmadı. Buna ek olarak, bu makineler daha az kullanılabilirlik gösterdi ve bakım onarımları karmaşıktı (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5.** Makinenin her iki tarafındaki hidrolik kazııcı uçlar vasıtasıyla aktarılan ve pulluk zinciri tarafından çekilen sistem (Cat.com,2019)

## 2.5. Günümüzde Kömür Sabanlarının Durumu

Caterpillar'ın öncüsü DBT 2000 yılından sonra bu pulluk sistemlerini çeşitli kademelerde geliştirmeye devam etmiş, kesme gücü ve beygir gücü artan üretkenlik taleplerine cevap vermeye devam etmiştir. Caterpillar şimdi üç farklı modelle iki tip pulluk sunuyor: Reishshakenobel RHH800 ve Gleithobel iki farklı modelde; GH800 ve en üst seviye GH1600. Giriş seviyesinde, RHH800 (Şekil 2.6), 0,8-1,6 m'lik yumuşak kömür damarı ile sert kömür damarların da kesim yapar. 2 x 400 kW güç, 2,5 m / s'lik maksimum kesme hızı ve 150 mm'lik daha yumuşak kömürde maksimum kesme derinliği sağlar. 300 m'ye kadar ayak uzunluklarında kullanır, 38 mm veya 42 mm'lik zincir kullanılabilir.



**Şekil 2.6.** Cat RHH800 saban sistemi



GH800, 0.9-2.1 m'lik biraz daha kalın kömür damarları için tasarlanmıştır. RHH800 ile aynı kurulu güçle, 3.0 m / s daha yüksek bir maksimum kesme hızı ve 180 mm daha fazla kesme derinliği sağlar. GH800 (Şekil 2.7) aynı zamanda 400 m'ye kadar ayak uzunluğunda yumuşak kömür ile sert kömürü keser. Bu sistem, çapı 38 mm olan bir pulluk zinciri kullanmaktadır. Bu başarılı modelin güncellenmiş bir versiyonunun geliştirilmesi 2014 yılında Alman Ibbenbueren madeninde başarılı yeraltı denemeleri ile sağlandı.



Şekil 2.7. Cat GH800 saban sistemi

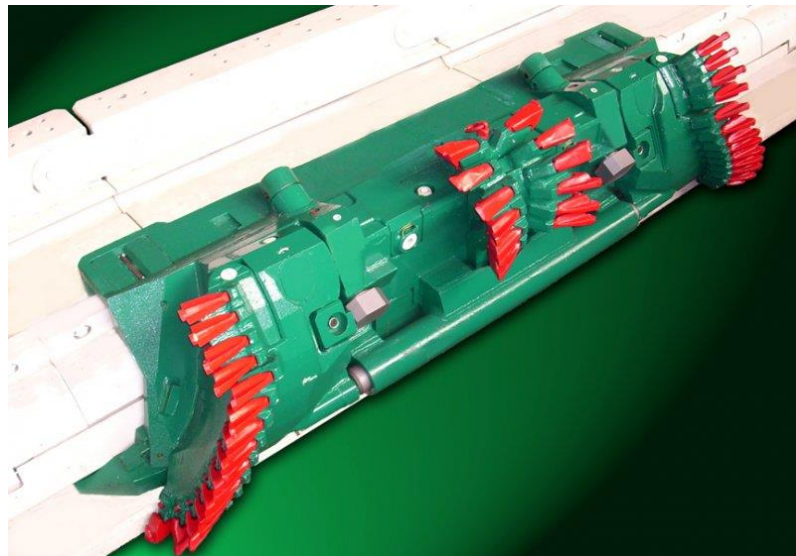
GH1600 modeli, 1.1-2.3 m'lik damar kalınlıklarında orta dereceden sert kömür ocaklarına kadar tasarlanan GH1600 (Şekil 2.8), 2 x 800 kW'lık maksimum kurulum gücüne sahiptir ve böylece daha yumuşak kömürde maksimum kesme derinliği ile 3,6 m / s maksimum kesme hızı elde edilir. 250 mm'lik kesme derinliği ve ayak uzunluğu maksimum 400 m'ye kadar kurulabilir, ayak uzunluğunu sınırlandıran zırhlı konveyörün maksimum uzunluğudur. Bu pulluk sisteminde 42 mm çaplı pulluk zinciri kullanılmaktadır. Almanya'da, ilk kez 2003 yılında kurulan bu yeni nesil pulluk sistemi, 1,5 m damar kalınlığında son derece sert kömürde 400 m'lik ayak uzunluğunda 3500 t/saat üretim kapasitesiyle bugüne kadar çıkarılan kömür miktarının iki katından fazla bir verimlilik elde etti.



**Şekil 2.8.** Cat GH1600 saban sistemi

Ostroj şirketi 50 yıldan fazla bir süredir kömür pulluk sistemleri üretimi yapmaktadır; 40° 'ye kadar eğimli kömür damarlarında, kömür mukavemeti 40 MPa olan ve 0,6 m ila 1,8 m kömür damar kalınlıklarında kullanılmaktadır.

Pulluk sisteminin temel ilkeleri yıllarca değişmemesine rağmen, sürüş gücündeki, pulluk zincirinin büyüklüğünde ve pulluğun hızında sürekli iyileşmeler ve artışlar olmuştur. Uzun yıllar boyunca birbirlerinin yanında kullanılan çeşitli pulluk çeşitleri ile birkaç tasarım aşaması geçirilmiş ve günümüzde iki tip pulluk kullanılmaktadır, (Şekil 2.9) birinci tip arın tarafından konumlandırılmış kılavuz içerisindeki zincirle çekilir (Gleithobal pulluk olarak bilinir). İkinci tip de göçük tarafında bir pulluk kılavuz içerisindeki zincirle çekilendir (Taban Plakalı Pulluk olarak bilinir, Şekil 2.10).



**Şekil 2.9.** Arından Tahrikli Tip (Gleithobal Plow System)(Ostroj.cz.,2019)



Şekil 2.10. Arından Tahrikli Tip Taban Plakalı Tip (Sliding Plow System)(Ostroj.cz.,2019)

### 2.5.1. Kömür Sabanı Damar Yapısı İlişkisi

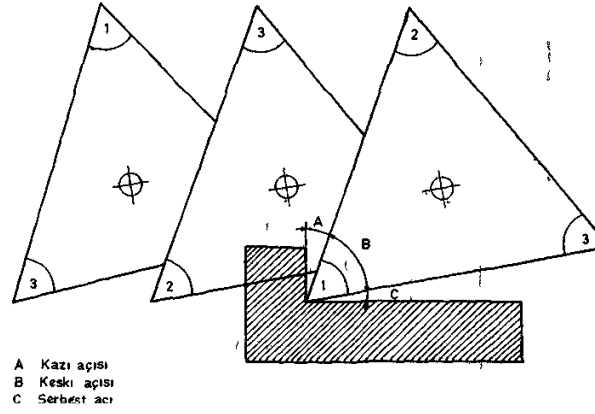
Kömür damarı, tabandan tavana hiçbir zaman homojen bir yapı göstermez. Bunun sebepleri , gerek damarı meydana getiren kömür maddesinin farklı özelliklerde oluşu, gerekse damarın çeşitli seviyelerinde yabancı maddelerden oluşan bazı ara kesmelerin bulunuşudur. Bu durum damar stampında her seviyenin değişik kazı mukavemetine sahip olması anlamına gelir. Böyle bir farklılık ise giderek keskilere gelen kesme kuvvetlerinin de değişik olması neticesini doğurmaktadır.

Diğer yandan, kömür damarları tavandan tabana heterojen bir yapı göstermekle kalmayıp, aynı zamanda ayak boyunca da üniform olmaktan uzaktırlar. Böylece sapan a etki eden kuvvetler sadece damar stampına değil, aynı zamanda sapanın ayak içindeki yerine de bağlı olarak değişmektedir.

Bir sapan için en uygun kazı profili, damardan belli derinlikte bir kömür dilimi koparıp alınırken, keskilerin "toplam kesme kuvveti minimum olacak şekilde" aldığı geometrik düzendir. Bu tanımlama her şeyden Önce böyle bir profilin var olup olmadığı, var ise geometrik düzenini ve nihayet bu profilin ayak boyunca nasıl korunabileceği sorunlarını ortaya çıkarmaktadır.

### 2.5.2. Saban Bıçakları

Pulluklarda genellikle keski tipi bıçaklar kullanılmakta olup, kesme ve boşluk açılarının doğru olmasına özen gösterilmelidir. Bıçaklar keskin olmalıdır. Kör bıçaklar zincir çekme kuvvetini gereksiz yere arttırdığı gibi, kesme derinliğinin de düşmesine ve üretimin azalmasına neden olmaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Üçgen Saban kesikleri ve kullanılışı (Eskikaya.,1983)

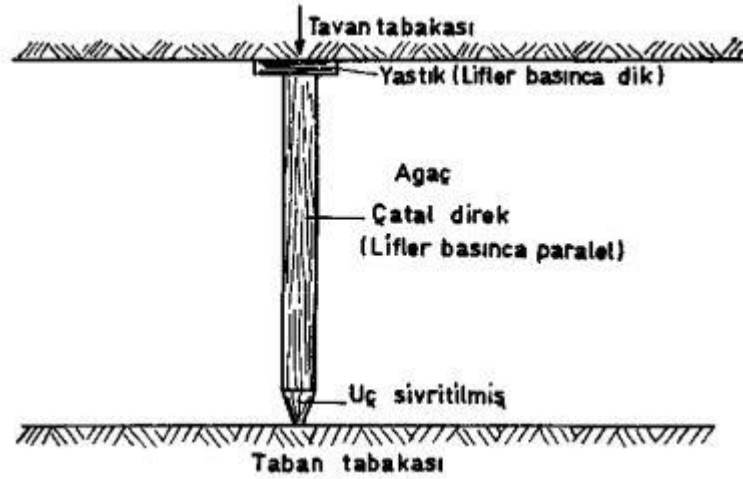
Kesici bıçak ön yüzünün kesme yönüne dik düzlemle yapmış olduğu açı kesme açısı, arka yüzeyin kesme yönü ile yapmış olduğu açı ise boşluk açısı (serbest açı) olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan araştırmalar boşluk açısı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığını ancak yaklaşık  $10^0$  den sonra bir değişme olmadığını göstermiştir. Dolayısıyla kesici bıçaklarda yaklaşık  $10^0$  lik boşluk açısı yararlı olmaktadır.

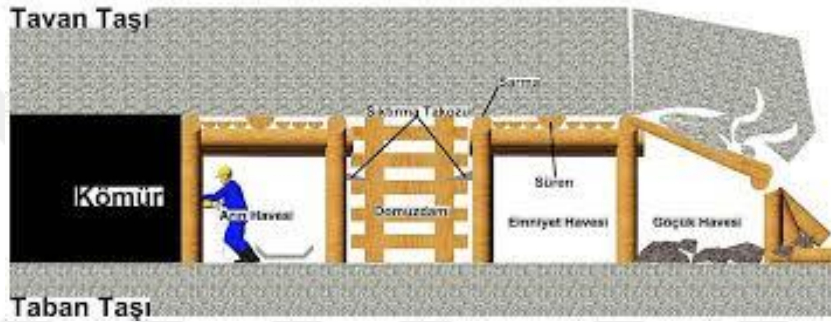
## 2.6. Ayak Tahkimatlarının Gelişim Aşamaları

Yürüyen tahkimatların geliştirilmesinden önceki süreçte, geçmiş yıllarda madencilerin tahkimattan beklediği ana amaç mevcut malzeme ve teknik imkanlarla tavanını tutmaya çalışma üzerine kurgulanmıştı. Başlangıçta doğada sıklıkla karşılaşılan ağaç ile tahkimat yapmaya başlayan madenciler sonraki yıllarda, teknolojinin imkanlarından yararlanarak farklı tahkimat teknolojileri geliştirmişlerdir (Şekil 2.12, Şekil 2.13).

Ağaç tahkimatı, demir direk, rijit bağ, sürtünmeli direk, hidrolik direk ve son olarak yürüyen tahkimat takip etmiştir. Gerek ağaç tahkimat gerekse metal tahkimat uygulamada sistemleştirilmiş ve hesaplanır hale getirilmiştir.



Şekil 2.12. Ağaç Tahkimatın Uygulanması (Ahıska & Esen, 1987)



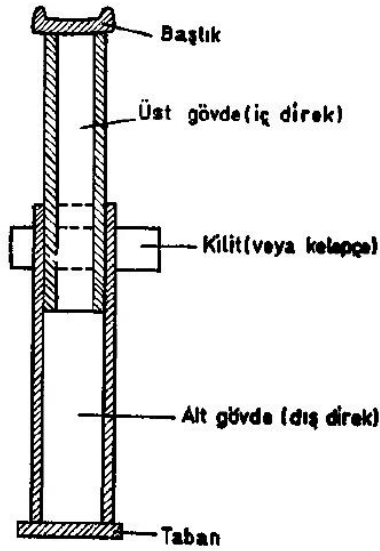
Şekil 2.13. Ağaç Tahkimatın Geri dönüşlü Uzun Ayak Sisteminde Uygulanması.

Çeliğin dayanımının yüksek olması ve kolay şekillendirilebilmesi, ağır yükler altında bozulmadan defalarca kullanılabilme özelliklerinden dolayı madencilik sektörü yeraltı tahkimatı olarak çelikten faydalanmaya başlamıştır. Yalnız Almanya'da, 1900 yılından 1955 yılına kadar, demir direkler konusunda alınmış olan patent sayısı 897'dir. (Ataman,1975).

Çelikten imal edilmiş direk, sarma ve belleme olarak kullanılan tahkimat elemanları aylar boyunca tekrar tekrar kullanılabilir. Kayıp ortalaması ayda %1 olup, ortalama ömürleri dört yıldan çok olmaktadır. Çelik tahkimatların ilk yatırım maliyetleri fazla olsa da en çok iki haftada, ağaç tahkimatlara göre bedellerini ödemektedir. Çelik tahkimat kullanılması ayak içerisinde daha emniyetli ortam sağlamakta, kullanım pratikliği sayesinde iş organizasyonunda büyük avantajlar sağlamaktadır. Kolaylıkla sökülüp takılmaları sayesinde ayak tahkiminde hem işçilikten hem de zamandan tasarruf sağlanmaktadır.

Hidrolik direk uygulamasıyla ayak mekanizasyonunun (tahkimat ve kazı) geliştirilmesi yolunda yeni bir safhaya geçilmiştir (Şekil 2.14, Şekil 2.15). Fakat,

mekanize kazı sisteminin çok kısa sürede yaptığı gelişme sonucunda, hidrolik direklerin arın ilerlemesine paralel söküm ve dikim işleri, çok yoğun bir iş gücü gereksinimi yaratmış ve bu sorun sebebiyle ilerleme hızına uyum sağlayabilecek, bütünleştirilmiş, birleştirilmiş ve kendi kendine yürüeyebilen konstrüksiyon ihtiyacı çıkmıştır. Bu ihtiyaç sonucu, ilk önce mevcut iki ya da üç hidrolik direk, bir alt kiriş ve tavan sarmasıyla bağlanarak, basit bir çerçeve oluşturulmuştur. Bu iki çerçeve arasına ortak bir silindir bağlanarak, çerçevenin ilk hidrolik ilerlemesi sağlanmıştır. Ancak uygulamada görülen zorluklar, bu iki çerçevenin, ortak bir taban kirişi ve yine ortak bir tavan plakası ile birleştirilerek, domuz damı tipi yürüyen tahkimatın geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu tahkimat sisteminde, alt ve üst plakaların genişlemesi sebebiyle, tahkimatın tavan ve tabana yaptığı spesifik basınçlar azalmıştır. (OAL Ocaklarında Mekanize Tahkimat Esasları ve OAL'deki uygulamalar)



Şekil 2.14. Hidrolik Direk. (Ahıska & Esen, 1987)



Şekil 2.15. Hidrolik Direğin Şematik Görünümü ve Ayak İçerisinde Uygulanması.

Yeraltı kömür ocaklarında üretimi ve randımanı arttırmak için ayak ilerleme hızını arttırmak en uygun çözümdür. Şartlar uygun oldukça ilkel yöntemler terk edilerek emek yoğun işler, makinalar tarafından yapılmaktadır. Kazı makinaları, mekanizasyonu ve mekaniğindeki gelişmeler ayak tahkimatının da gelişmesini zorunlu kılmıştır.

Uzun ayaklarda hem ilerleme hızının yükseltilebilmesi hem de daha emniyetli ve verimli çalışma ortamının sağlanabilmesi amacıyla ilk kez 1950'li yıllarda yürüyen

tahkimat dizaynları geliştirilemeye başlanmış, günümüze kadar bu konuda oldukça büyük aşamalar sağlanmıştır.

Son yıllarda yarı mekanize hidrolik tahkimat sistemleri olarak adlandırılan TTK Zonguldak havzasında ve Soma havzasında yaygınlaşmaya başlayan yeni bir sistemi de yürüten tahkimat kategorisinde sınıflandırmak mümkündür. Bu tahkimat sistemi dört direk üzerinde duran ve birbirlerine zincir ya da kiriş sistemiyle bağlı olarak çalışan, ilerleme kısmı hidrolik ilerleme pistonuyla yapılırken, farklı olarak taban plakası olmadığından direklerin ilerletimi ve sıkılanması manuel olarak yapılmaktadır (Şekil 2.16). Bir nevi hidrolik direk çelik belleme sisteminin geliştirilmiş bir şeklidir. Tahkimatların birbirlerine bağlı olması birlikte hareket etmelerini sağladığından emniyet açısından son derece olumlu yönleri vardır. Vardiyada ilerletimleri yürüten tahkimatlar kadar hızlı olmasa da ağırlıklarının 1-2 ton civarında olması ve ebatlarının çok küçük olmasından dolayı taşınması ve kurulup sökülmesi çok kısa zamanda yapılabilmektedir. Arkadan göçermeli geri dönüşlü uzun ayaklar için başarıyla ülkemizde uygulanmış bir sistemdir (Kocaman & Kocaman, 2015).



Şekil 2.16. Çin Tipi Yarı Mekanize Adıyla Anılan Yürüyen Tahkimat Sistemleri.

Haziran 1986'dan beri Çayırhan'da tam mekanize üretim yapılmaktadır. Uzunayaklarda kalkan (shield) tipi yürüyen tahkimatlar kullanılmaktadır. 1990 yılında ELİ Eynez'de yarı mekanize iki sistem (tek tamburlu kesici-yükleyici + çelik sarma, hidrolik direk) (koparıcı saban + çelik sarma, hidrolik direk) denenmiş ve başarısından sonra tam mekanize üretim sistemine geçiş yapılmıştır. GLİ işletmesinde de tam mekanize kömür üretimi yapılmaktadır. Anlaşıldığı gibi mekanize üretim gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

## 2.7. Yürüyen Tahkimat Tipleri

Uzunayaklarda yürüyen tahkimatların, ayak içerisinde tavanı destekleyerek tüm ayak içi ve ayna sahasını çalışabilecek güvenlikte tutmak, ayak içerisinde çalışanların üzerine tavandan taş yada kömür parçalarının düşmesini önlemek ve son olarak da ayaktaki nakliye ünitelerini öteleyebilmek için bir dayanak oluşturmak gibi işlevleri olmalıdır.

Tam mekanize üretimde saban veya kesici-yükleyici kazı aracı ile yürüyen tahkimat ayrılmaz bir ikili olmuştur. İlk uygulaması görülen 1950'li yıllardan günümüze kadar yürüyen tahkimat teknolojisindeki gelişmeyi üç ana grupta toplamak mümkündür.

- Çerçeve tipi yürüyen tahkimat (frame type hydrolic support)
- Domuzdamı tipi yürüyen tahkimat (chock supports)
- Kalkan tipi yürüyen tahkimat (shield supports)

### 2.7.1. Çerçeve Tipi Yürüyen Tahkimat (frame type hydrolic support)

Çerçeve tipi yürüyen tahkimatlar, klasik ayaklarda kullanılan hidrolik direklerin bir uzantısı olup, kendisini ilerletebilen hidrolik güçlü yürüyen tahkimatlar geliştirilen ilk tipidir. Çerçeve türü yürüyen tahkimatlar çok basit, fakat bükülgen ve yapısal olarak düşük dengelidirler. Yürüyen tahkimat tavanında iki sarma arasındaki geniş açıklıkların tavandan iri blokların düşmesine müsait olması ve bükülgen yapıları nedenleriyle 1970'li yılların sonlarında kullanımları son bulmuştur (Şekil 2.17).

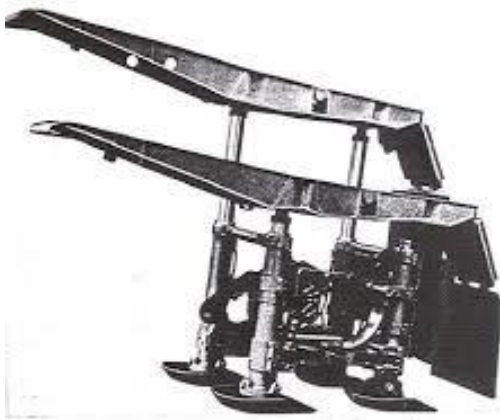
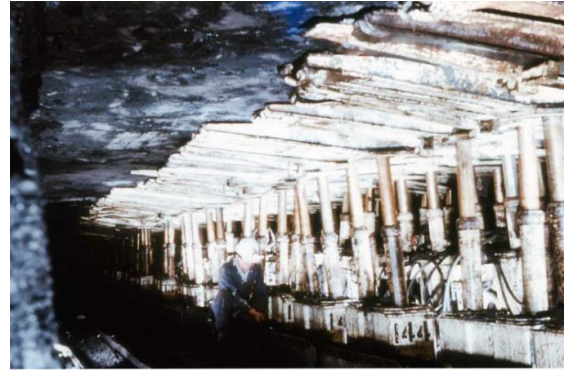


Figure 4.2.1. The frame support (courtesy Mining Progress, Inc.).



Şekil 2.17. Çerçeve Tipi Yürüyen Tahkimat.



### 2.7.2. Domuzdamı Tipi Yürüyen Tahkimat (chock supports)

Domuz damı türü YTÜ’de tavan sarması kapalı, taban şase ise iki ayrı parça halinde ön ve arkada çelik çubuklarla birbirlerine bağlantılıdır (Şekil 2.18). Taban şase altında ortada geniş bir oluk bırakılmış, buraya yerleştirilen hidrolik piston sayesinde hem konveyörün ötelemesi hem de tahkimatın kendisi ilerletmesi sağlanmaktadır. Tüm hidrolik direk sayısı üç ile altı direk arasında değişmekle birlikte, en popüler olanı dört direkli domuz damı türü YTÜ’lerdir. Çerçeve türü YTÜ’lere göre daha stabil ve masif yapıya sahiptirler.

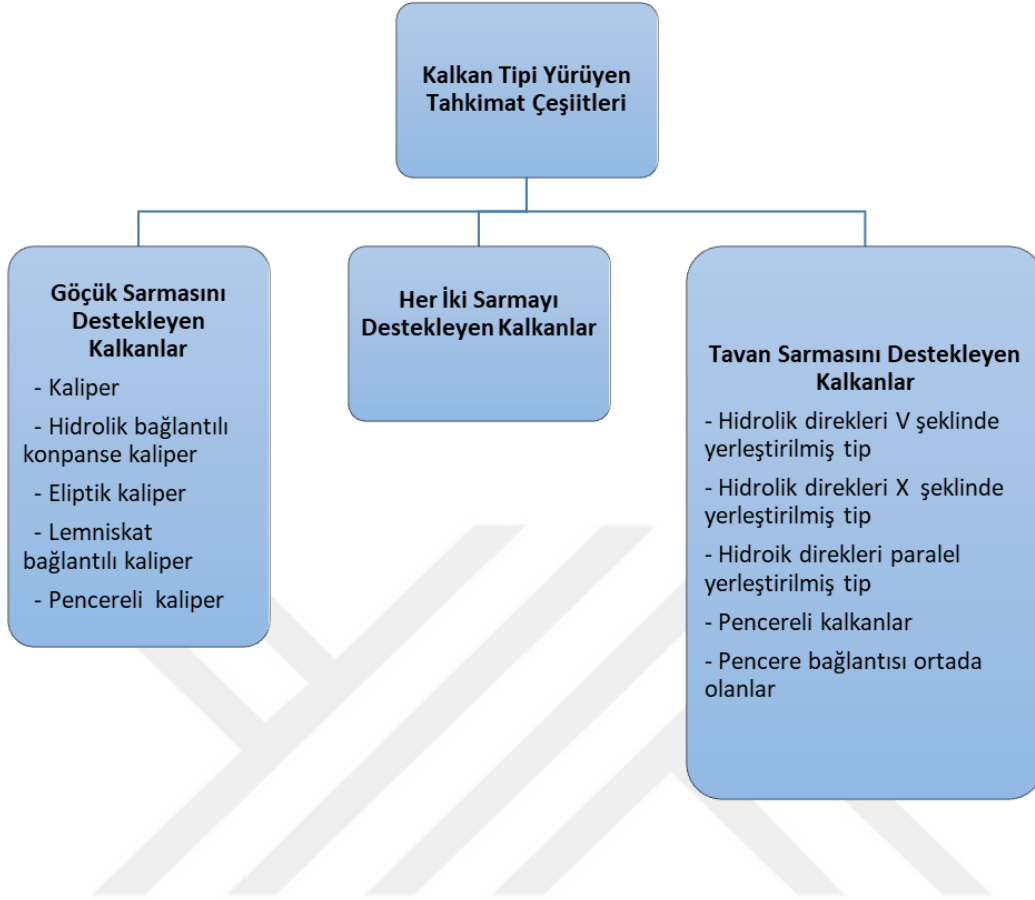


Şekil 2.18. Domuz Damı Tipi Yürüyen Tahkimat.

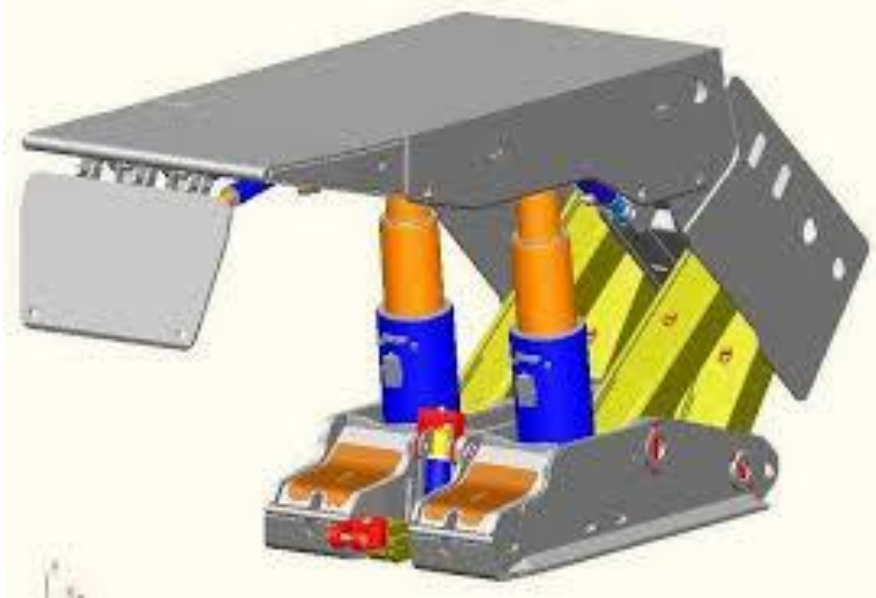
### 2.7.3. Kalkan Tipi Yürüyen Tahkimat (shield supports)

Çerçeve ve domuzdamı tipi yürüyen tahkimatlar, uygulamalarda görülen aksaklıklar üzerine günümüzde yerlerini kalkan tipi yürüyen tahkimatlara bırakmışlardır (Şekil 2.20). Yürüyen tahkimatların öteleme mekanizması ve ayak zincirli oluşunu itme silindirleri taban şasesi üzerine yerleştirilmiştir. Kalkan tipi yürüyen tahkimatlarda hidrolik silindirler sarmalara ve taban şasesine mafsallı olarak bağlıdır. Hidrolik silindirlerin destekledikleri sarmalara göre kalkan tipi tahkimatlar üç grupta toplanabilir (Şekil 2.19)

- Göçük sarmasını destekleyen yürüyen tahkimatlar
- Tavan sarmasını destekleyen yürüyen tahkimatlar
- Her iki sarmayı destekleyen yürüyen tahkimatlar



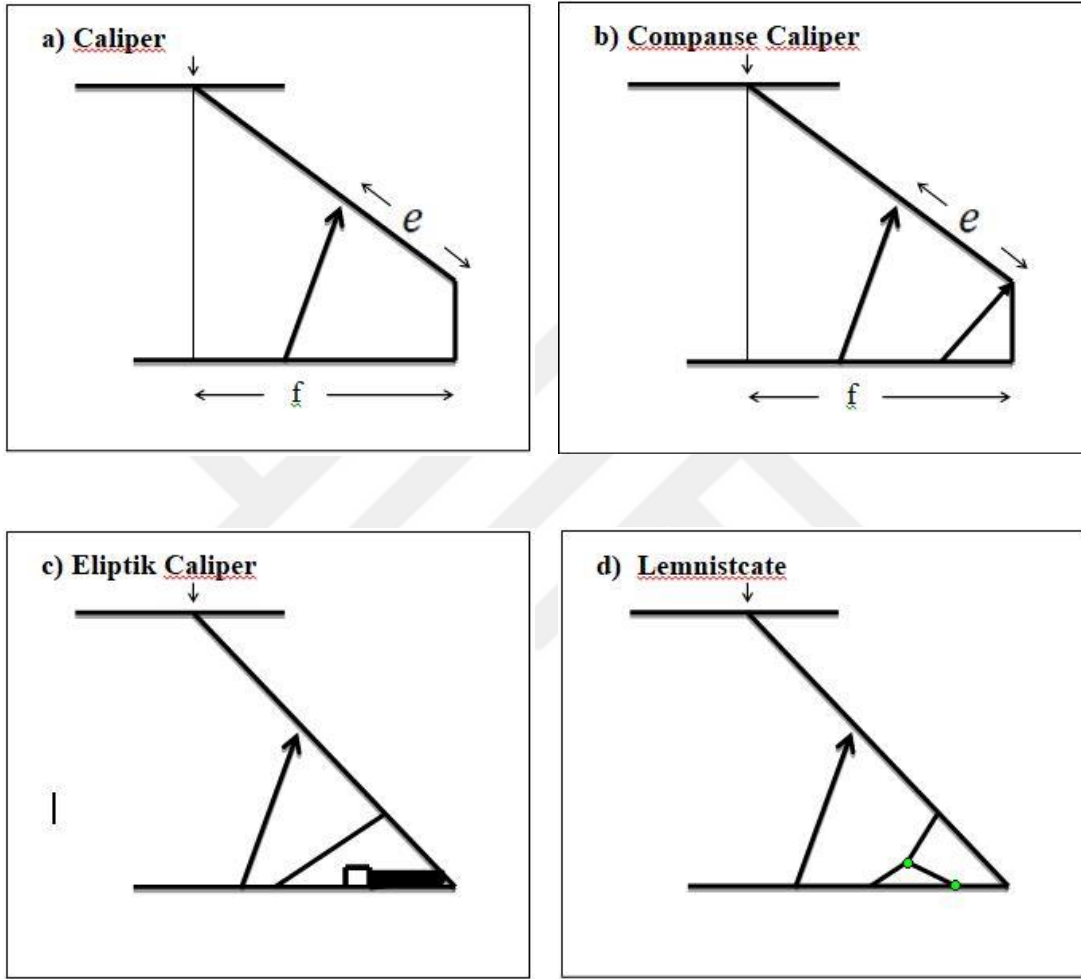
Şekil 2.19. Yürüyen tahkimatların tipleri (Ahıska ve Esen, 1987).



Şekil 2.20. Kalkan Tipi (Shield) Yürüyen Tahkimat.

### 2.7.3.1. Göçük Sarmasını Destekleyen Yürüyen Tahkimatlar

Yürüyen tahkimat tiplerinin ilk modelleri olup tavan sarması ve göçük sarması birbirlerine malle bağlantılıdır. Taban şasesi göçük sarmasına, şasesinin arka ucundan, mafsallı olarak bağlantılıdır (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Direklerin Göçük Sarması Altında Yerleştirildiği Kalkan Türü Tahkimat.

Göçük sarmasını destekleyen kalkanlar için genel olarak şunlar söylenebilir: çok sağlam tavan koşullarında iyi bir tahkimat özellikleri gösterirler. Çünkü, zayıf tavan koşullarında kırılma hattı tavan-göçük sarması bağlantısının ön tarafında oluşur ki bu da desteksiz olan tavan sarmasının, dolayısıyla tahkimatın yük taşıma fonksiyonunu yok eder. Tahkimatı yükseltme esnasında tavan sarmasının yaptığı dairesel hareket nedeniyle, tahkimatın yük altındaki konverjansı sırasında tavan sarması ve taban şasesi arasında da buna uygun bir oynama olur. Böylece konverjans durumunda ya tavan sarması, ya da taban şasesi ileriye yada geriye doğru kayar. Bu hareket bir noktada

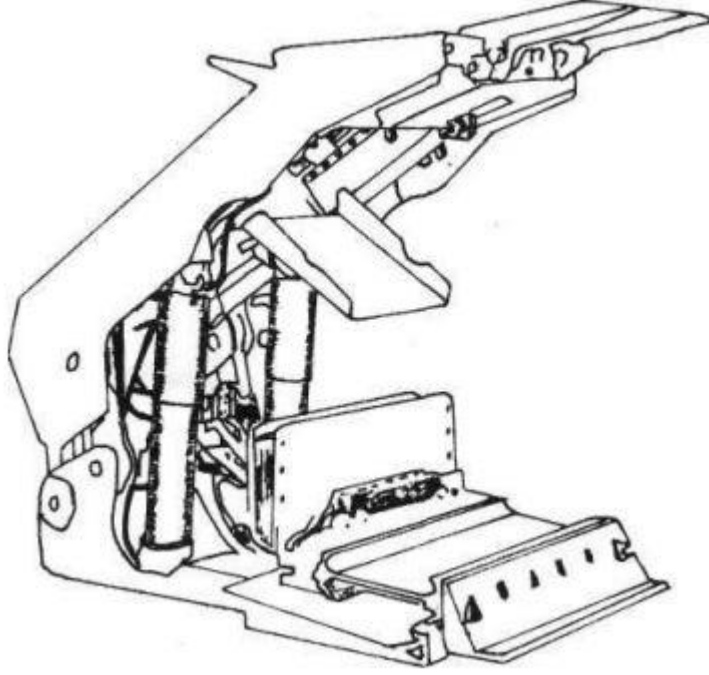
dengelenebilir ve bu durumda da aşırı büyüklükteki tavan basıncı sarmaların bağlantıları üzerine gelerek pimleri kırabilir (Şekil 2.21 a).

Bu sakıncaların giderilmesi için kalkanların dizaynları geliştirilirken şu iki noktaya önem verilmiştir.

- a) Belli noktalar üzerine gelen gerilimi sınırlamak (hidrolik silindir bağlantılı kompanse caliper shield buna cevap vermektedir) (Şekil 2.21b).
- b) Tavan sarması-göçük sarması bağlantı noktasını kırılma hattına daha yaklaştırmak (eliptik Caliper shield ve lemniskatik shield dizaynlarında bu yaklaşım sağlanmıştır) (Şekil 2.21c ve d).
- c) Caliper türü kalkanlarda direklerin toplam taşıma kapasitesinin en çok %75'inden yararlanılırken lemniscate türü kalkanlarda bu değer %85'e varmaktadır.

Caliper türü kalkanlarda göçük sarmalarının yüksek bükülme kuvvetine maruz kalmaları söz konusu olduğundan kalın saclardan yapılmaları, dolayısıyla çok ağır üniteler olmaları söz konusudur. Bu dezavantajlarının yanı sıra tavan sarmalarının çok kısa oluşları, yani tahkim edilen tavan açıklığının dar oluşu ayrı bir sakınca oluşturur.

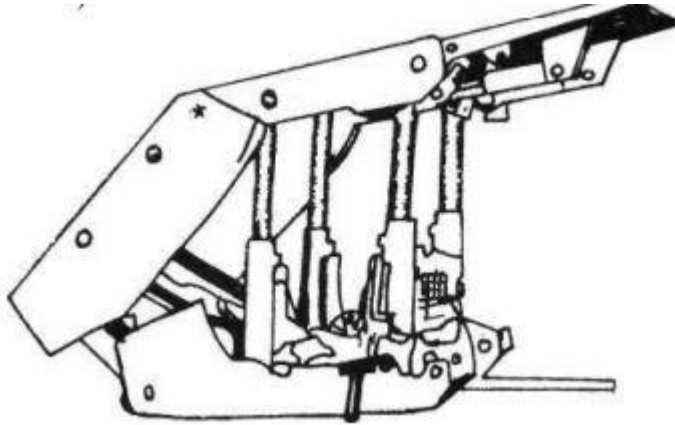
Kalın damarlarda, kömürün tavandan akıtılması için göçük sarması destekli kalkanlarda göçük sarması üzerine açılır-kapanır bir pencere dizayn edilmiş, böylece pencereci caliper kalkanlar ortaya çıkmıştır. Bu dizaynı gerçekleştiren Hemscheidt firmasının 320-20/30 modeli tahkimat ünitelerinden oluşan bir ayak Yugoslavya'da Rambas ocağında başarı ile çalışmıştır (Şekil 2.22).



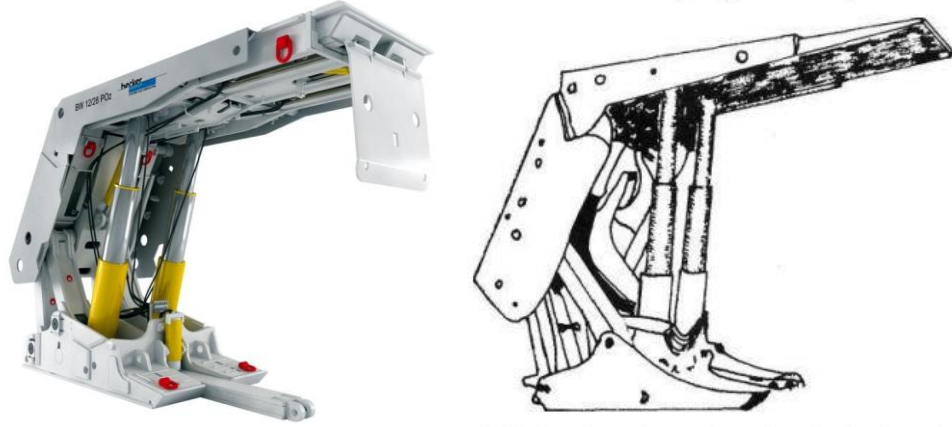
**Şekil 2.42.** Göçük Sarması Üzerinden Açılan Pencere ile Tavandan Kömür Akıtmaya Uygun Kalkan Türü Tahkimat (Hemscheidt 320/20-30 Modeli).

### 2.7.3.2. Tavan Sarmasını Destekleyen Yürüyen Tahkimatlar

Tavan sarmasını destekleyen tür tahkimatlar ilk olarak 1972 yılında Westfalia Lünen firması tarafından yapılmıştır. Lemniscate bağlantılı ve 4 direğin birbirine paralel konumlandırılmasıyla ilk modelleme yapılmış ve direkler dike yakın yerleştirilmişlerdir (Şekil 2.23.).

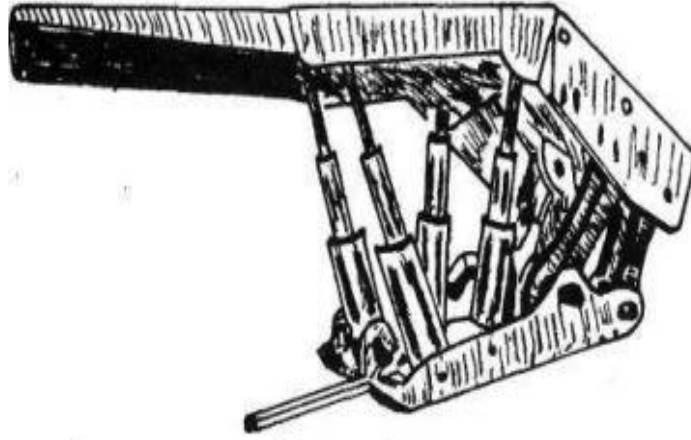


**Şekil 2.253.** Direkleri Dik Konumda Yerleştirilmiş Lemniscate Bağlantılı Kalkan Türü Tahkimat.



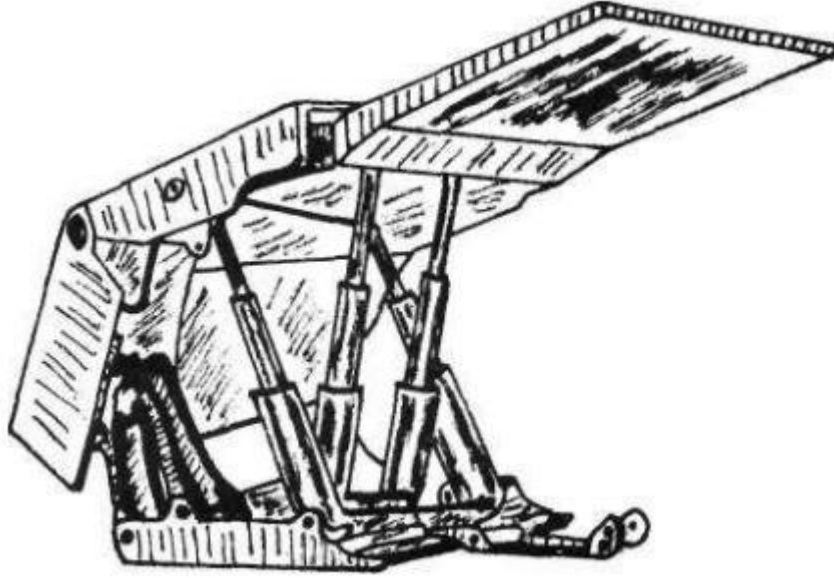
Şekil 2.24. Dike Yakın Yerleştirilmiş İki Direkten Oluşan Kalkan Türü Tahkimat.

Direklerin tavan sarması altına “V” şeklinde yerleştirilmesi ile elde edilen tahkimatlar hem insan geçişi hem de hava geçişi için oldukça büyük açıklıklar sağlarlar. Özellikle metan yayılımının yüksek olduğu ocaklarda, havadaki metan oranının düşürülmesi için daha fazla havalandırmaya gereksinim duyulduğundan bu tür dizaynlar son derece elverişli olmaktadır (Şekil 2.25).



Şekil 2.25. Direkleri “V” Biçiminde Yerleştirilmiş Dört Direkli Kalkan Türü Tahkimat.

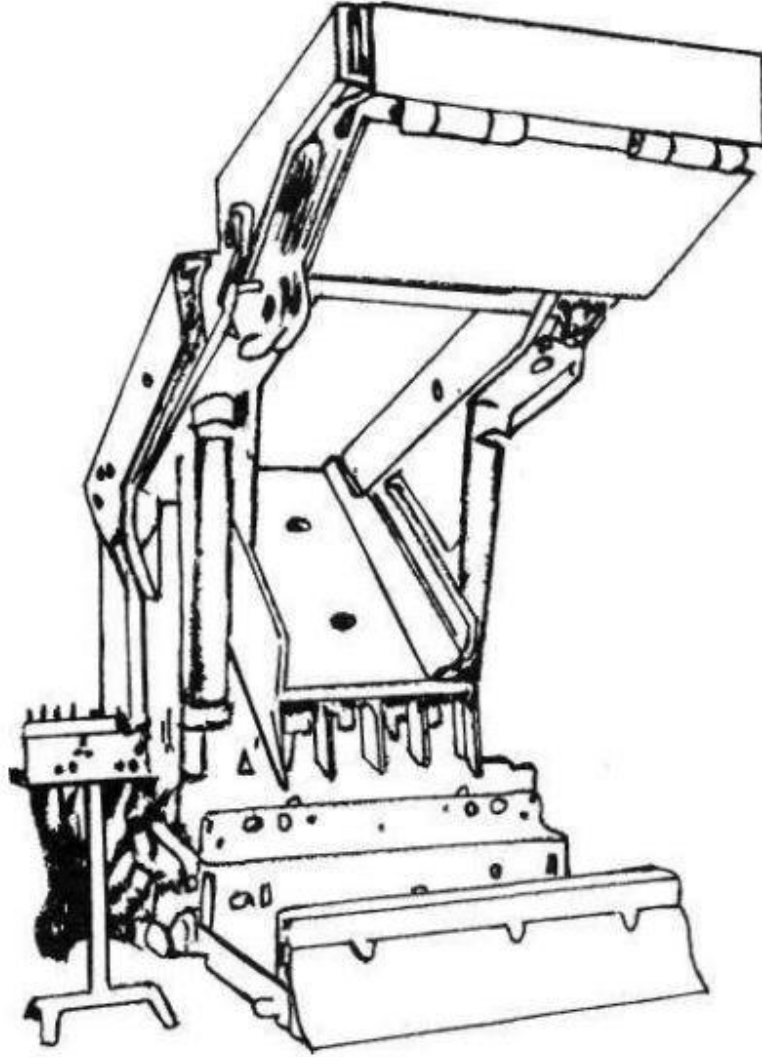
Hava geçiş yolu, dolayısıyla ayak içinde serbest alanın genişliğinin fazla önemli olmadığı durumlarda direkleri “X” şeklinde yerleştirilmiş tahkimatlar kullanılabilir. Bu tür bir dizayn ile tahkimatın boyutları düşürülmekte, böylece toplam ağırlık azalmaktadır (Şekil 2.26).



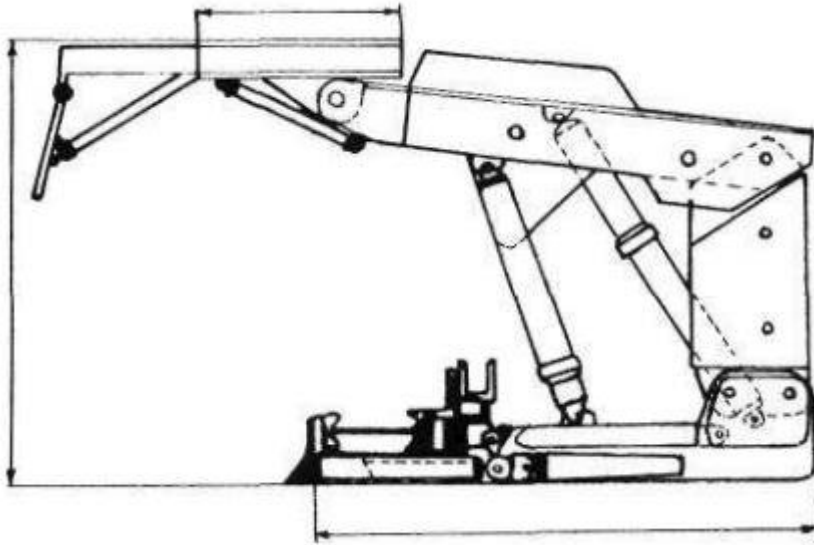
Şekil 2.26. Direkleri “X” Biçiminde Yerleştirilmiş Dört Direkli Kalkan Türü Tahkimat.

Ayak arkasına komple ramble uygulanan ilerletimli Uzunayaklarda ve arkadan kömür almak için konveyör kullanımının gerektiği kalın damarlarda ayak arkasının serbest kalması amacıyla, lemniscate bağlantı tahkimat bloğunun ortasına yerleştirilebilir. Bu tür dizayna örnek olarak Hemscheidt 5100-19/28 modeli tahkimat üniteleri gösterilebilir.

Pencereli kalkanlar ise, kalın damarlar için, Macaristan’da Vezsprem kömür havzasında geliştirilmiştir. Nikex VHP 730 ve 733 modeli kalkanlar, ikisi tavan sarması altında ve öne doğru eğimli olarak yerleştirilmiş; diğer ikisi de pencereyi açıp, kapayabilmek için oluk altına yerleştirilmiş toplam 4 hidrolik direkten oluşmaktadır. Pencere boyutları 1980x880 mm. olup, açıldığında tavanda kırılan kömürün olukla direkt olarak ayna konveyörü üzerine akıtılmasını sağlar. Böylece tavan kömürünün ayak içinde nakledilmesi için arka konveyörüne gerek kalmaz (Şekil 2.27. ve 2.28.).



Şekil 2.27. Tavan Sarması Üzerinden Açılan Pencere ile Tavandan Kömür Akıtmaya Uygun Kalkan Türü Tahkimat (Nikex – VHP 730 Modeli).

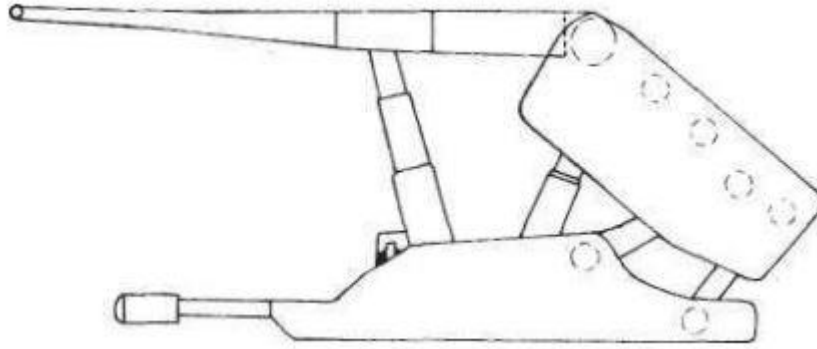


Şekil 2.28. Tavan Sarması Üzerinden Açılan Pencere ile Kömür Akıtmaya Uygun Kalkan Türü Tahkimat (Nikex – VHP 733 Modeli)



### 2.7.3.3. Her İki Sarmayı Destekleyen Yürüyen Tahkimatlar

Hem tavan, hem de göçük sarmasını destekleyen direklerden oluşan kalkanlar ise çok yüksek tavan basıncına maruz kalan ayaklar için dizayn edilmişlerdir. Bu tür tahkimatlarda nihai yük ağırlık merkezi, ana sarma ile göçük sarması bağlantı hattına yaklaştırılmış olduğundan bu nazik bölgedeki aşırı yükün azaltılabilmesi için göçük sarmasını tutan direklere öndekilere oranla daha düşük direnç uygulanmaktadır. (Örnek: Westfalia Lünen BS 2.1 VH Modeli, Şekil 2.29.).



Şekil 2.29. BS 2-1 VH Modeli Kalkan Türü Tahkimat.

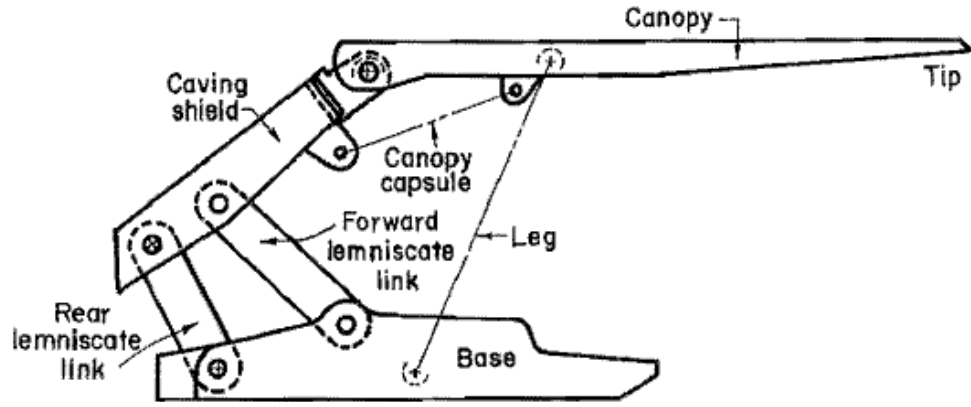
## 2.8. Yürüyen Tahkimatların Tanıtımı

Hızla gelişen maden makineleri sanayiinde, yürüyen tahkimatlarla ilgili iki önemli gelişme dönemi söz konusudur. İlk değişim 1950'lerde modern yürüyen tahkimat türlerinin kullanılmaya başlanması ikincisi ise 1970'lerde lemniscate tip ve dam-kalkan (chock-shield) tipi tahkimatların kullanıma girmesidir (Doktan ve İnci, 1986).

Yürüyen tahkimatlar genellikle uzun ayak madenciliğinde kullanılır. Yüksek basınçlara dayanabilmeleri ve kompakt dizaynları sebebiyle genellikle çok tercih edilen bir tahkimat tipidir (Chrisian Lehmann ve diğ.).

Yürüyen tahkimatlar dört ana kısımdan oluşur.

- Canopy (Tavan sarması)
- Caving shield (Göçük kalkanı)
- Legs (Ayaklar)
- Base Plate (Taban plakası)



Şekil 2.30. (Thomas ve ark, 1987).

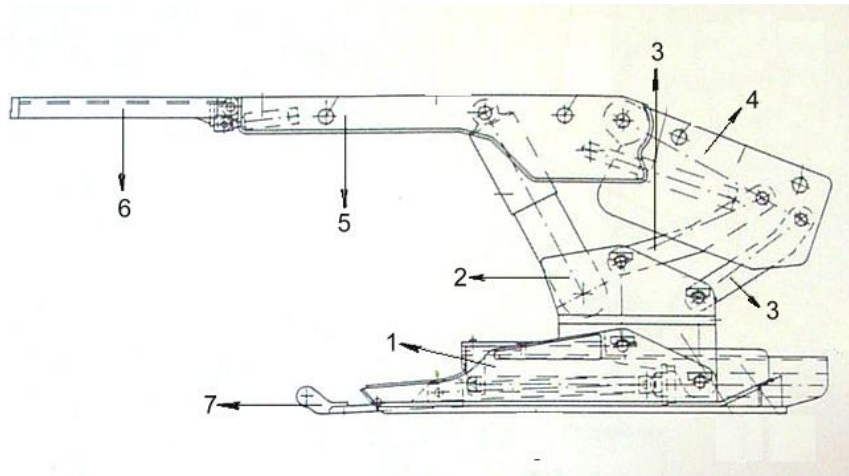
Caving shield e sahip olmayan tahkimatlar çerçeve (frame) veya takoz (chock) tip olarak sınıflandırılırlar.

Taşıma kapasiteleri ayak sayısı ile orantılıdır. Günümüzde kullanılan tahkimatların çoğu iki veya dört ayaklıdır.

Kalkan tipleri lemniscate ve chock shields (takoz kalkan) olarak sınıflandırılır. Günümüzde lemniscate kalkan tipliler en çok kullanılanlardır.

Caving Shield: Caving shield'in görevi; göçük tarafında kırılmış ve kendini tutamayan kaya parçalarından korumaktır. Lemniscate parçalarla taban plakasına bağlanır. canopy ve lemniscate pinlerindeki oluşan reaksiyonlar nedeniyle caving shield eğilme dayanımına maruz kalır. Eksenel yüklemelerde canopy pinlerinde reaksiyonlarda oluşabilmektedir.

Yürüyen tahkimatın en sağlam parçaları base (temel ) parçası ve lemniscate lerdir. Canopy ve caving shield ise zayıf parçalarıdır. Canopy zarar görme ihtimali en yüksek olan parçadır (Thomas ve ark, 1987).



Şekil 2.31. Şiltin Tanıtımı

Yürüyen tahkimat (Şilt) mekanik olarak 7 parçadan oluşmaktadır;

- 1.Taban şasesi
- 2.Kufe
- 3.Ön ve arka lemniskate kol
- 4.Göçük sarması
- 5.Tavan sarması
- 6.Ön kape ve kape sürgü
- 7.Taban itme mekanizması

### **2.8.1. Taban Şasesi**

Yürüyen tahkimatın taban şasesi, tek bir parça halinde, üzerine taban itme silindir mekanizmasının, teleskop silindirlerin ve lemniskate kolların montajlı olduğu şiltin ana yapısıdır (Şekil 2.31.).

### **2.8.2. Kufe**

Taban ayakta şiltlerin daha fazla açılabilmesi amacıyla taban şasesine, teleskop silindirlerin altına, ek yükseklik sağlayacak kufe adını verdiğimiz parçalar takılır. Bu sayede şiltlerin açık yüksekliği, yükseltilmiş olur. Şilte 500 mm. daha fazla bir açılma yüksekliği kazandırılmış olur. Kufe 2 parçadan oluşmaktadır.

### **2.8.3. Ön ve Arka Lemniskate Kol**

Lemniskate kollar taban şasesi ile göçük tablasının birbirlerine montajını sağlayan ara parçalardır. Şilt üzerinde ön ve arkada olmak üzere 2 farklı lemniskate kol bulunmaktadır. Arka Lemniskate kollar sağ ve sol olmak üzere birbirlerinin simetriğidir.

### **2.8.4. Göçük Sarması**

Göçük sarması şiltin arka tahkimatını oluşturan ve kesim sonucu geride kalıp kırılan fay katmanlarını tutan parçasıdır. B şiltinde 2 adet yan kape bulunmaktadır. Bu yan kapelerden bir tanesi göçük silindiri üzerindedir ve ihtiyaç durumuna göre şiltin sağ yada solunda kalan kapelerden herhangi biri sabitlenerek, tek taraflı olarak kullanılır. Yan kapeyi tahrik eden iki adet yan kape silindiri bulunur ve bu silindirler göçük

kapesine yataklanmıştır. Göçük sarması hareket ve pozisyonunu göçük silindir vasıtasıyla sağlar. Göçük silindiri tavan sarması ile göçük sarması arasına yataklanmıştır.

### **2.8.5. Tavan Sarması**

Şiltin, tavanı tutan üst kısmına tavan sarması adı verilir. Göçük silindirine ve ön kape silindirine montajlıdır. Yan kape silindirleri tavan sarmasına yataklanmıştır. Tavan sarması hareketini teleskop ve göçük silindiri vasıtasıyla sağlar.

### **2.8.6. Ön Kape ve Kape Sürgü**

Tavan ve taban ayak şiltlerin de 2 farklı ön kape bulunmaktadır. Kullanım amaçları aynıdır ve arını kapatmak maksadıyla kullanılırlar. Tavan ve taban ayak şilt ön kapesi, 3 adet ön kape silindiri ile tahrik edilmektedir. Taban ayak şiltinde farklı olarak ileriye açılma yaparak daha fazla arın açıklığı kapatabilen bir sürgü mekanizması bulunmaktadır. Buna sürgü kapesi adı verilir ve 3 adet kape sürgü silindiri vasıtasıyla tahrik edilir.

### **2.8.7. Tavan İtme Mekanizması**

Taban İtme Mekanizması: Şiltin ve konveyörün hareketini sağlayan mekanizmaya, taban itme mekanizması adı verilir ve şiltin alt şasesine ve konveyöre montajlıdır. Şilt üretim esnasında taban itme silindirinin stroğu kadar (800 mm.) ileri doğru hareket eder ve yine aynı strokla konveyörü arın istikametinde iter.

## **2.9. Dayanım deneyleri**

Yürüyen tahkimat üreticilerinin birçoğu bazı deneyler gerçekleştirerek yapmış oldukları dizaynlarının fiziksel performanslarının kanıtlamaya çalışırlar (Şekil 2.32). Bu deneylerin çoğu değişik yükleme durumlarında altında tahkimatın hidrolik esneme kapasitesini doğrulamak için yapılır (Thomas ve ark, 1987).



Şekil 2.32. Tahkimatların Test Edilmesi

## 2.10. Direk Kuvvetlerinin Tahkimat Direncine Dönüştürülmesi

YTÜ'lerde direkler tavan sarmasını tutacak şekilde yerleştirilmiş ve tahkimat kuvveti ile aynı doğrultuda çalışmakta ise, direk kuvvetlerinin tahkimat direncine dönüştürülmesi oldukça basitleşir. Tavan ve taban arasındaki göçük yönünde oluşan yanal basınçlar ihmal edilebilecek kadar küçük ise direklerin dik olarak yerleştirilmesi en uygundur. Şayet yanal basınçlar büyük boyutlarda ise, yatay karşı kuvvetler maksimum sürtünme kuvvetine olabildiğince eşit tutulmalıdır. Tahkimatın karşı basıncının ( $F_g$ ) sürtünme katsayısı olan ( $J_L$ ) ile çarpılması sonucu elde edilen değer yatay basınçlara karşı direnci verir. Böylece, sürtünmeden dolayı tahkimat kuvveti, tanjantı  $J_L$  değerini verecek bir açı, yani  $\alpha = \arctan(0.3)$ ;  $\alpha = 16.7^\circ$ 'lik bir açı ile öne doğru eğimli olarak uygulanmalıdır. Bu yüzdendir ki, kalkanlarda direkler genellikle tavadan gelecek yanal basınçları karşılayacak ve tahkimat kuvveti ile aynı doğrultuda yer alacak şekilde öne doğru eğimli yerleştirilirler. Kapalı yüksekliği çok düşük ve açılı bilirlilik payı yüksek (düşey yükseklik ayarı büyük) olan kalkanlarda direkler tahkimatın model ve türüne bağımlı olmaksızın eğimli yerleştirilmek zorundadırlar. Düşey ile direk arasında ( $J_3$ ) açısı kadar bir eğim söz konusu olduğunda düşey doğrultuda işlev gören

direk kuvvetinin bileşkesi ( $F \cdot \cos J_3$ ) dir. Bu da örneğin  $60^\circ$ 'lik bir ( $J_3$ ) açısı söz konusu olduğunda direk kuvvetinin ancak %50'ye kadar yararlanabileceği anlamına gelir. Lemniscate bağlantılı kalkanlarda, lemniskatik eksenlerin kuvvet kesişme noktaları (pole points), toplam kuvvetlerin etkinlik derecesini belirler.

Tahkimat direncinin etkinlik noktası direklerin değişik yüksekliklerine göre yer değiştirir. Bu yüzden kalkan türü tahkimat dizaynında “sarma boyut oranı” ile “kontakt basıncı” , değişik konum ve açıklıklarda tahkimatın dengesi çok özenli bir şekilde hesaplanarak belirlenmelidir.

Denemeler göstermiştir ki, direklerin  $0^\circ$  -  $17^\circ$ 'lik bir açı ile tavan sarması altına yerleştirilmeleri ile elde edilen tahkimatlar en etkin çalışan tahkimatlardır. Bu aşamada ortaya çıkan sorun, hangi tip tahkimatın hangi yüksekliklerde ve hangi damar kalınlıklarında en uygun dizayn özelliklerini vereceğini bulmaktır.

### 2.11. Tahkimatlarda Düşey Yükseklik Ayarı

Bu kalkan türü tahkimatın maksimum açılabilir yüksekliğinin kapalı yüksekliğine oranına “Düşey Yükseklik Ayarı” denir.

Tekli- teleskobik bir direk tavan sarmasına tam dik gelecek şekilde yerleştirildiğinde tahkimatın düşey yükseklik ayarı daima 2:1'den küçük olur. Çünkü pistonun darbe uzaklığı direğin kapalı yüksekliğinden kısadır. Toplam tahkimat yüksekliğinin darbe uzaklığına oranı ancak dış direk uzunluğunun artırılması ile sağlanabilir. Çünkü, piston genişliği, keçelerin kalınlığı ve üretim gereği bazı ölçüler her boy direk için sabit kalacaktır. Tekli-teleskobik direkler en çok yürüyen domuzdamları (hydraulic chocks) ile bugün artık güncelliğini yitirmiş çerçeve tipi tahkimatlarda (frame-type supports) kullanılmıştır. Kalkan türü tahkimatlarda düşey yükseklik ayarını artırmak;

- Direklerin eğimli yerleştirilmesi ve
- Piston yataklarının ve burçların ölçülerinin küçültülmesi ile olanaklıdır.

Kalkan türü tahkimatlar dizayn gereği daha dengeli olduklarından direklerin değişik eğimlerde tavan sarması altına yerleştirilmeleri mümkün olabilmektedir.

Karakteristik eğriyi daha geliştirmenin yada düşey yükseklik ayar oranını artırmanın başka bir yolu da üçlü-teleskobik direklerin kullanılmasıdır.

Direklerin düşey yükseklik ayar özellikleri ile birlikte tahkimatın toplam ağırlığı, maliyeti ve tahkimat kuvveti gibi konular da birlikte irdelenmeli ve bir seçim yaparken şu noktalar akıldan çıkarılmamalıdır:

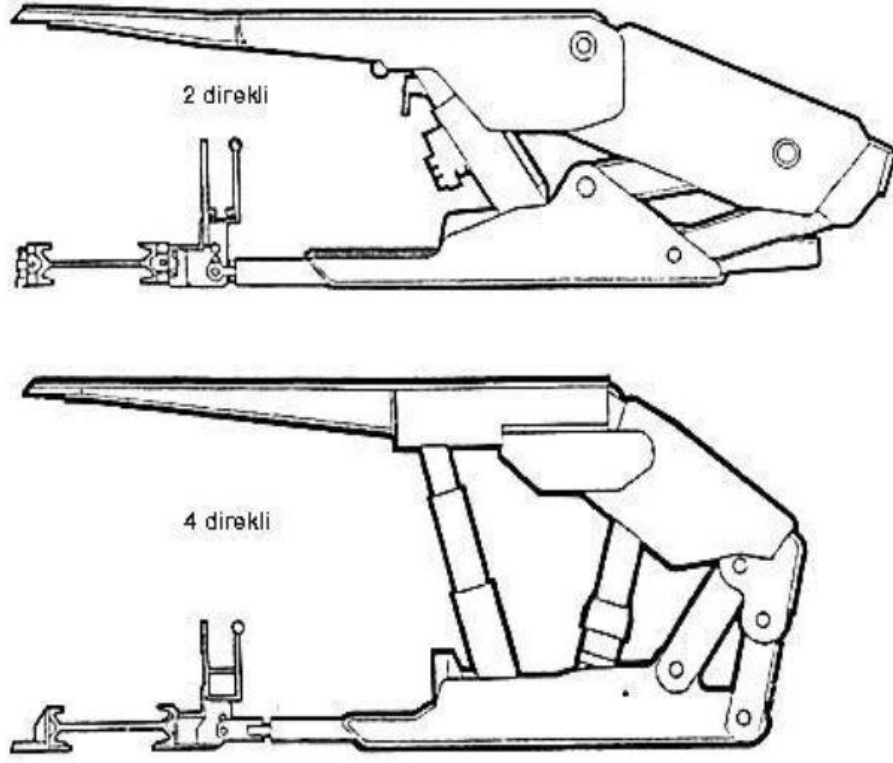
- i) Düşey yükseklik ayar oranı asla gereğinden fazla tutulmamalıdır.
- ii) Nispeten orta kalınlıkta yada ince damarlarda çifte yada üçlü-teleskobik direkler yeğlenmelidir.
- iii) Kalın damarlarda ulaşım olanakları elverişli ise tekli-teleskobik direkler kullanılmalıdır.
- iv) Direklerin konumu dikeye yaklaştıkça daha iyi bir karakteristik eğri çizerler; yani, çeşitli direk açıklıklarında düşeye yakın yerleştirilmiş direkler daha düzgün bir tahkimat direnci gösterirler.

Kalkan türü yürüyen tahkimatların en önemli özelliği, yürüyen tahkimata kalkan formu verilerek göçük hattının yürüyen tahkimatın hemen arkasında oluşturmasıdır (Şekil 2.33). Yürüyen tahkimata göçük sarması ve 'lemniskat' bağlantı sistemi eklenmiştir. Lemniskat bağlantı arkada göçük sarması ile taban şase arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Genellikle eğimli olan göçük sarması, tavan sarmasına menteşeli bağlanmakta ve lemniskat bağlantı ile de tahkimatı kinematik olarak daha stabil hale getirmektedir. Ayrıca göçük tarafını kapatması nedeniyle yürüyen tahkimatın arın tarafına tavan taşı paşasının dökülmesini önlemektedir. Bu yönüyle kalkan türü tahkimat kullanılan uzunayaklar daha temizdir. Kalkan türü tahkimatlarda hidrolik direkler genelde eğimli yerleştirilirler ve böylece geniş bir çalışma yüksekliği aralığı ve daha çok açık alan sağlanır. Tavan sarması, göçük sarması ve taban şase ara bağlantılı olduğundan yürüyen tahkimat yatay kuvvetlere daha dirençli olmaktadır.

Kalkan türü yürüyen tahkimatların farklı bir sınıflandırma sistemi de hidrolik direk sayılarına göre ve ayrı iki tipi vardır. Bunlar, iki direkli ve dört direkli kalkan türü tahkimatlardır. İki direkli yürüyen tahkimatlarda her iki direk tavan sarması ile taban şase arasına yerleşik iken, dört direklerde ön iki direk tavan sarması ile taban şase arasına; arka iki direk ise göçük sarması ile taban şase arasına yerleşiktirler.

Kalkan türü iki direkli yürüyen tahkimatların da iki ayrı tipi vardır. Birincisi claper tipidir. Bu yürüyen tahkimatlar oldukça basit bir tasarımı olmasına karşılık tavan sarmasının arına göre konumu hidrolik direklerin uzama miktarına bağlıdır. Bu yapısal sınırlama sistemin en önemli sakıncasıdır. Ayrıca, normal konverjans altında tavan sarmasının alçalması tavan seviyesinde önemli sürtünme kuvveti oluşturur. Yürüyen tahkimat söz konusu kuvvetin etkisiyle göçüğe doğru hareket eder. Sürtünme kuvvetinin

diğer bir etkisi de tahkimatın esneme kapasitesini hissedilir ölçüde azaltmasıdır. İkinci tip ise lemniskat tipidir. Bu tip ile yukarıda belirtilen sakıncalar ortadan kaldırılmıştır. Bu tip bugün en popüler olan iki direkli kalkan tahkimat tipidir.



Şekil 2.63. İki Direkli ve Dört Direkli Tahkimat Sistemleri.(Peng.,2006)

## 2.12. Yürüyen Tahkimatlarda Basınç Oluşum ve Tipleri

Yürüyen tahkimata ön yükleme yapılırken hidrolik sıvı direk silindiri alt bölümüne dolar. Sıvı dolmaya devam ederken, ana sarma tavana değene kadar hidrolik direk yükselir. Bundan sonra silindirin alt bölümündeki sıvı basıncı hızlı bir şekilde hidrolik pompanın çalışma basıncına kadar yükselir. Bu noktada kontrol valfi kapatılır ve sıvı hapis kalır. Sıvı hidrolik pompanın çalışma basıncındadır. Bu da yürüyen tahkimatın ön yükleme basıncıdır. Yürüyen tahkimatlarda ön yükleme basıncı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir. (peng ve chiang.1984).



$$p_s = \frac{\pi d^2}{4 \times 2000} \sigma_s (\text{ton}) \quad (1)$$

Burada:

d : direk silindiri alt bölme iç çapı (inç),

$\sigma_s$ :pompa basıncıdır (psi).

Yürüyen Tahkimatın ön yükleme kuvveti de

$$P_s = n \eta p_s (\text{ton}) \quad (2)$$

İle hesaplanır. Burada n, direk adedi,  $\eta$  ise tahkimat randımanıdır. Çerçeve ve domuz damı tipi yürüyen tahkimatlarda direkler dik yerleştiği için  $\eta = \% 100$  alınırken, kalkan tipi yürüyen tahkimatlarda bu değer direk eğimine bağlı olarak değişmektedir.

Ön yüklemeden sonra tavan kapanmaya devam eder ve direk silindiri içindeki sıvıyı sıkıştırır. Tavan konverjansı arttığı sürece silindir içindeki sıvı basıncı da artar. Hidrolik silindir ve pistonun zarar görmemesi için her yürüyen tahkimat esneme basıncı adı verilen bir basınç değerinde koruma altına alınır. Bu iş genellikle silindir dış yüzeyine yerleştirilen emniyet valfi ile yapılır. Silindir içindeki sıvı basıncı esneme basıncını aştığında emniyet valfi açılır ve sıvı boşalır. Artan sıvı basıncı düşerek yeniden dengelenir.

Direk esneme yükü  $p_y$  ve Yürüyen Tahkimat esneme yükü  $P_y$  aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$p_y = \frac{\pi d^2}{4 \times 2000} \sigma_y (\text{ton}) \quad (3)$$

$$P_y = n \eta p_y (\text{ton}) \quad (4)$$

Burada:

d : direk silindiri alt bölme iç çapı (inç),

$\sigma_y$  : emniyet basıncıdır (psi).

Yürüyen tahkimatların yük taşıma kapasiteleri geleneksel olarak esneme yükleri ile gösterilir. Örneğin 900 tonluk kapasiteli Yürüyen Tahkimat demek, Yürüyen

Tahkimat emniyet yükünün 900 ton olduğunu belirtir. Fakat tavan sarma boylarının ve YTÜ genişliklerinin modelden modele değişmesi nedeniyle emniyet yükü ile belirtme her zaman yeterli olmamaktadır. Bu nedenle çoğunlukla yük yoğunluğu tabiri kullanılır. Yük yoğunluğu, tahkim edilen birim tavan alanına gelen yüküdür. Ön yük yoğunluğu, ön yükleme anındaki tavan yükünün tahkim edilen tavan alanına bölünmesi ile, esneme yük yoğunluğu ise esneme anındaki tavan yükünün tahkim edilen tavan alanına bölünmesi ile hesaplanır (Wilson,1975).

YTÜ tavan taban arasına yerleştirildikten sonra yükü ön yükleme seviyesinde sabit kalmaz. Tavan tabakası, YTÜ ve taban tabakası etkileşimleri sonucu periyottan periyoda değişiklik gösterir.

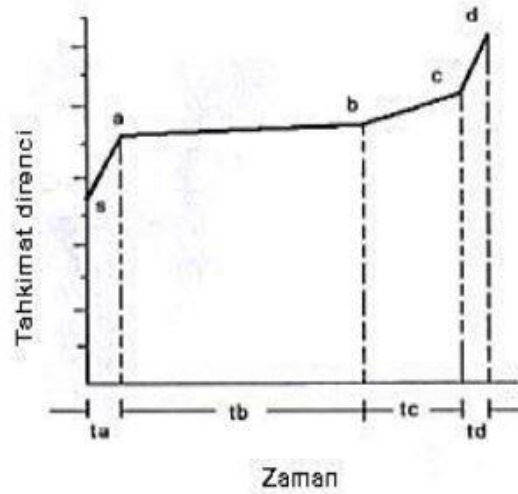
YTÜ'lerin ana direklerinde oluşan basınçların izlenmesi, uzunayak panolarında meydana gelen tavan göçme mekanizmalarının anlaşılması açısından çok önemli bilgiler vermektedir. Elde edilen bu bilgiler, YTÜ'lerin çalışma koşullarının iyileştirilmesi, ön yükleme ve emniyet yükü değerlerinin tespiti ve değerlendirilmesi, ayak ilerleme hızının artırılması, yani panoların planlanması, daha emniyetli çalışma koşullarının sağlanması, sistem performansının artırılması gibi konularda oldukça faydalı olmaktadır.

YTÜ'lerde oluşan basınçların değişim nedenleri; tavan yükü veya oturması, taban tabakalarının karakteristiklerine bağlı olarak oluşan taban kabarması, kazı süreçleri ve aktiviteleri, değişik ön yükleme basınçları, kalın damarlarda tahkimat üzerindeki pencereler vasıtasıyla tavan kömürünün üretilmesi vb. olarak sıralanabilir.

YTÜ'lerde oluşan basınçların en önemli kaynakları yalancı tavan ve ana tavan yüküdür. Diğer faktörlerin YTÜ'ler üzerine etkileri bu yüklere göre oldukça azdır. Fakat göçertmeli Uzunayaklarda, tavan kömürünün göçertilmesi de YTÜ'ler üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır.

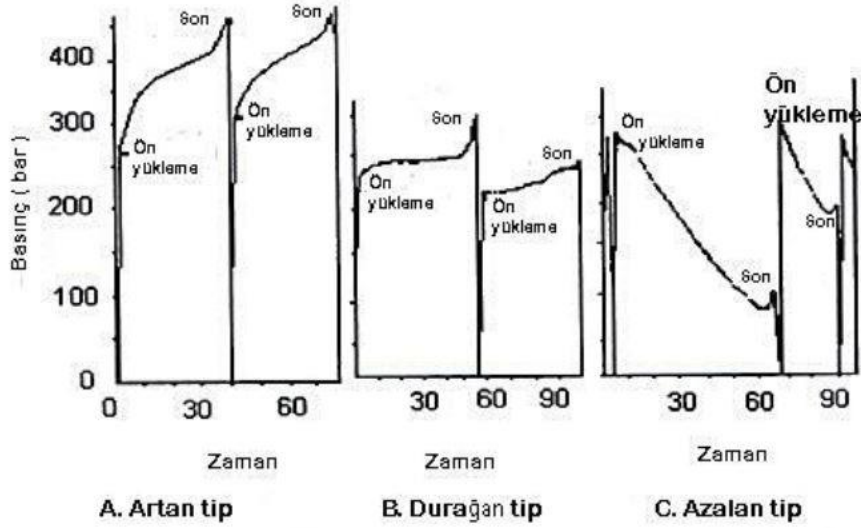
ABD Batı Kömür Ocaklarında, Uzunayaklarda YTÜ'ler ile tavan tabakalarının etkileşimini araştırmak üzere bir dizi çalışma yapılmıştır. Bu Uzunayaklarda tek dilim olarak ( $\approx 3$  metre kalınlık) tam mekanize kazı yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucu ortaya çıkan tahkimat basınçlarının çoğu artan tipte basınçlardır (Şekil 12). Bu tip basınç eğrisinde, tahkimat direnci artışı dört safha olarak değerlendirilmektedir. Birinci safha ön yükleme basıncı (s) sonrası keskin bir artışı göstermektedir ve tavan yükü ile bağıl bir denge oluşturana kadar artmaktadır (ta). İkinci safha ise sabit bir artışı gösterir (tb), daha sonra kesici makinenin yaklaşması nedeniyle oluşan üçüncü safhaya geçilir (tc) son olarak dördüncü safha da ise komşu YTÜ'lerin ilerletimi sonucu aktarılan yük

nedeniyle oluşan hızlı artan bir basınç meydana gelir (td). (Peng ve Chiang, 1984, Sally ve diğerleri, 1988).



Şekil 2.34. YTÜ'lerde Direnç Eğrisi (Peng ve Chiang,1984)

1998 yılında Peng, ABD kömür ocaklarında yaptığı çalışmalar sonucunda, Uzun ayaklarda üretim esnasında YTÜ'lerde oluşan üç tip basınç değişimi tespit etmiştir (Şekil 2.35). Birincisi artan basınç tipidir, geniş bir basınç artışı gösterir ve bu artış üç safhada gerçekleşir. Tavan hareketinin yoğun olduğu durumlarda, direk basıncı emniyet yüküne kadar ulaşabilir. İkinci tip dengeli (durağan) basınç tipidir, artan basınç tipine nazaran daha az tavan yükü tahkimat üzerine gelmektedir. Üçüncü tip ise azalan basınç tipidir ve bu durumda tavan yükü oldukça zayıftır. YTÜ tavan sarması ile tavan tabakası arasında oldukça fazla parçalanmış malzeme mevcuttur veya direkte hidrolik sıvı kaçağı olabilir. Bu tip basınç eğrisinde, ön yük basıncından hemen sonra hızlı bir şekilde basınç azalması meydana gelir ve azalma devam eder. Bazı durumlarda son basınç değerine ulaşıldığı zaman hızlı bir yükselme gözlenmektedir.



Şekil 2.35. YTÜ'lerde Oluşan Üç Tip Basınç Değişimi (Peng, 1998).

### 2.12.1. YTÜ'lerde Tavan Yükünün Saptanması

YTÜ üzerine gelen tavan yükü tavan sarması ve göçük sarması üzerine gelen yük olmak üzere iki kısımdan oluşur. Tavan sarması üzerine gelen yükün iki kaynağı vardır: tavan tabakasının ağırlığı ve tavan tabakasının yatay hareketleri sırasında oluşan arına paralel ve dikey olarak gelişen yan kuvvetlerdir. Göçük sarması üzerine gelen yük ise sarma üzerine yığılan göçmüş tavan tabaka parçalarının ağırlığıdır.

Birçok araştırmacı özellikle tavan sarması üzerine gelen tavan tabakasının ağırlığından dolayı oluşan yükün hesaplanması üzerine yoğunlaşmışlardır. İngiltere'de bu konu ile ilgili yayımlanmış çalışmalara göre, YTÜ'nün minimum taşıma kapasitesi damar kalınlığına bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

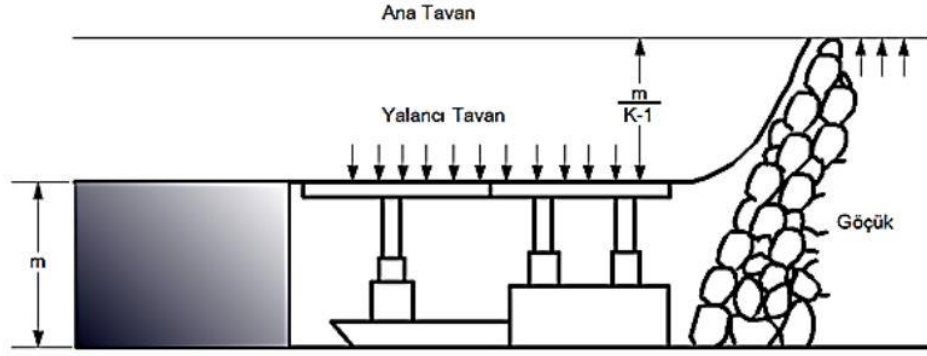
$$P_{min} = \gamma \cdot \frac{m}{K - 1} \quad (5)$$

Burada:

$\gamma$  : tavan taşının ortalama yoğunluğu,

$m$  : damar kalınlığı,

$K$  : taşın hacimce kabarma faktörüdür.

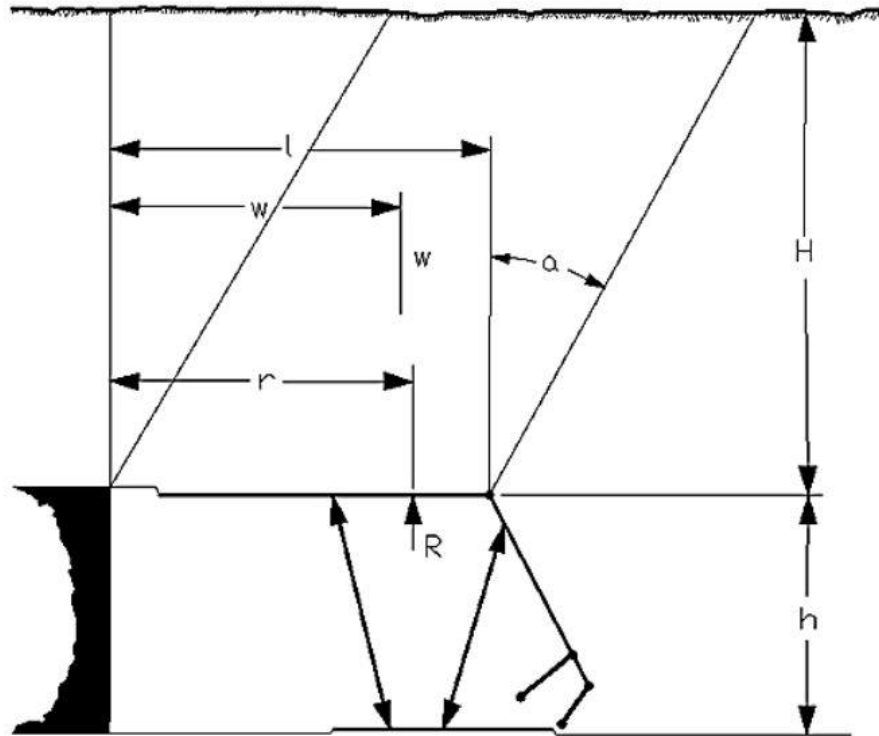


Şekil 2.36. Ayak İçi YTÜ'ye Gelen Yükün Hesabı (Birön ve Arıoğlu,1980).

Wilson (1975), YTÜ üzerindeki serbest blok olarak yer alan yalancı tavanın hemen tahkim edilmesi gerektiğini kabul etmektedir. (Şekil 2.37.) Wilson göçük malzemesinin bakır kayacın 1,5 katı hacim kapladığını kabul ederek tahkim edilmesi gereken yalancı tavan yüksekliğini kazı yüksekliğinin 2 katı olarak hesaplamaktadır.

Wilson tarafından eğimli ayaklar için önerilen yük hesabı ortalama yük yoğunluğu (MLD) cinsinden aşağıdaki gibidir.

$$MLD = W. \left( \frac{\sin \alpha}{\tan \theta} + \cos \alpha \right) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (6)$$



Şekil 2.37. YTÜ Üzerindeki Tavan Bloğu ve Yükler (Wilson, 1975).

Burada:

$W$  : yalancı tavanın statik ağırlığı ( $kN/m^2$ )

$\alpha$  : damar eğimi (derece)

$\Theta$  : tabakalar arasındaki sürtünme açısıdır.

Jacobi (1981) tarafından gerekli minimum yük yoğunluğu,  $18^\circ$  eğimli bir damar için kazı yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak kabul edilmektedir. Gerekli yük yoğunluğu ( $A$ ) aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$A = 1,6 \times 25 \times H \quad (7)$$

$H$  : damar kalınlığı (m),

25 : tavan taşı yoğunluğu ( $kN/m^3$ ),

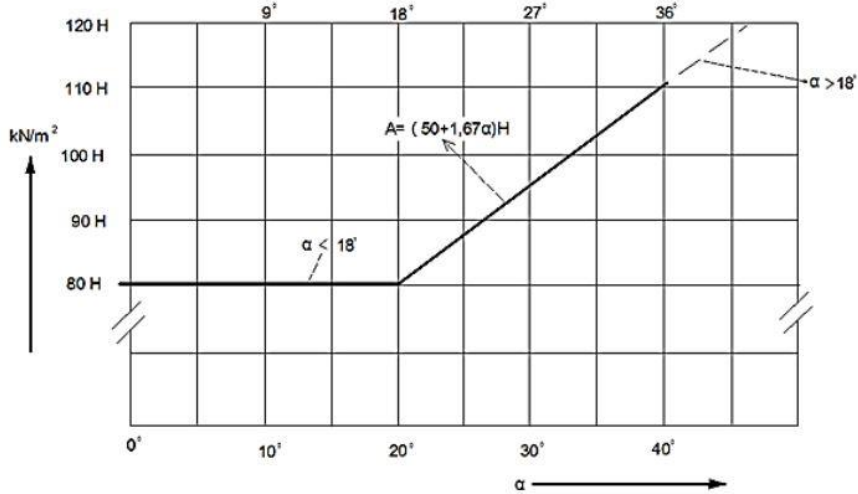
1,6 : emniyet katsayısı,

2 : kaya yükü yükseklik faktörü ( kömür damar kalınlığının 2 katı )

Eğimli damarlar için formül:

$$A = (50 + 1,67 \cdot \alpha) H \quad (8)$$

Burada  $\alpha$ : eğim (derece)'dir (Şekil 2.38).



Şekil 2.38. Eğimli Damarlarda Tavan Yükü (Jakobi, 1981).

Ayrılmış tavan bloğu metodu (Detached roof block method) YTÜ üreticileri tarafından en çok kullanılan YTÜ yükü hesaplama yöntemidir. Bu metotta ayrılan tavan bloğunun yüksekliğinin tahmininde iki faktör kullanılmaktadır. Bunlar stratigrafik yapı ve kabarma faktörüdür. İlk olarak, sondaj stratigrafik tabakalaşma kullanılarak yalancı tavan ve ana tavan kontak yüzeyi saptanır. Kontak yüzünün bulunduğu nokta kömür damarı üzerindeki yalancı tavanın kalınlığını verir. Yalancı tavanın ne kadarlık



Göçertme uygulanan kalın kömür damarlarında kullanılan YTÜ'lerin taşıma kapasitesi ise Tianhe, K. Ve Zhongming, J. (1999) tarafından aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. (Şekil 2.40.).

Tavan sarması üzerine gelen yük ( $P_1$ ) tavan kömürü ağırlığı ve kısmi göçen tavan taşının ağırlığından oluşur.

$$P_1 = (Mlb\gamma_1 + K \frac{m}{K_P} lb\gamma_2)K_g \quad (11)$$

Burada:

$M$  : tavan kömür kalınlığı (m)

$l$  : ayak genişliği (m)

$b$  : tahkimat genişliği (m)

$\gamma_1, \gamma_2$  : kömür ve tavan taşı ortalama yoğunluğu (ton/m<sup>3</sup>),

$m$  : kömür damar kalınlığı (m),

$K_P$  : kabarma katsayısı,

$K_g$  : dinamik yük katsayısı,

Göçük sarması üzerine gelen yük ( $P_2$ ), göçen tavan kömürü ağırlığı ve göçen tavan taşı ağırlığından oluşur.

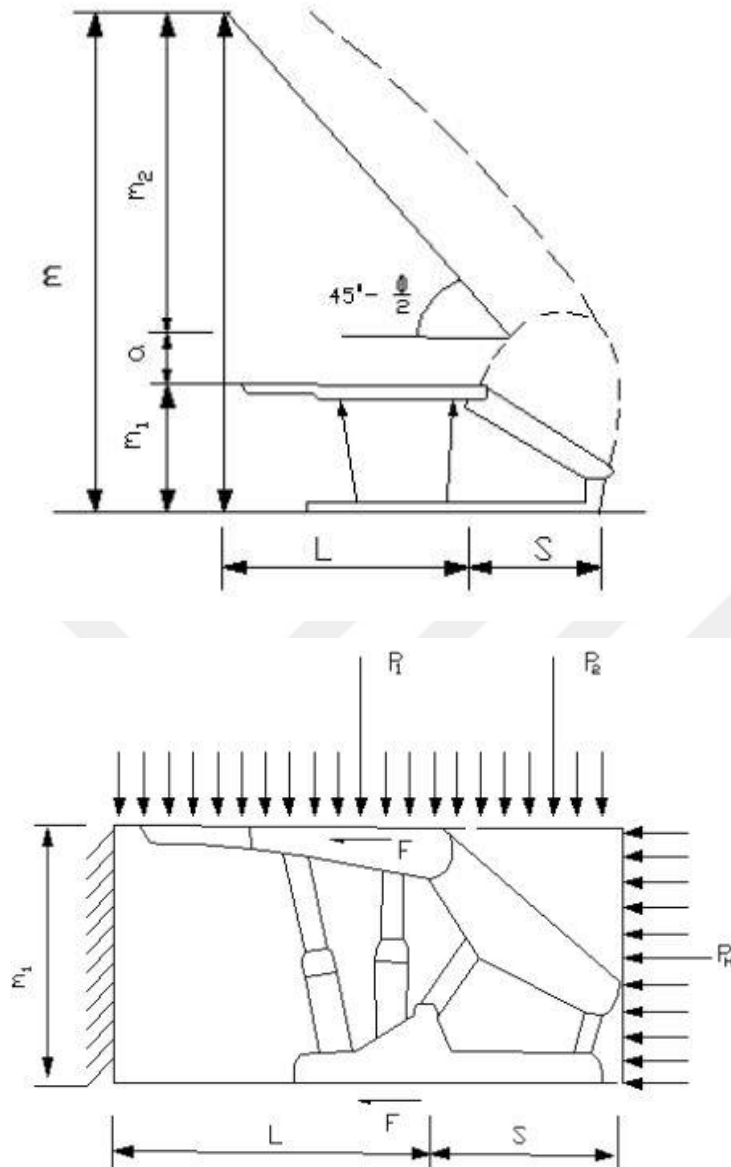
$$P_2 = m_2s\gamma_1 + \frac{m}{K_P} s\gamma_2 \quad (12)$$

$m_2$  : göçertilecek tavan kömürü yüksekliği (m),

$s$  : göçük sarmasının yatay uzunluğu (m),

böylece tahkimat üzerindeki dikey kuvvet  $P_v = P_1 + P_2$





Şekil 2.40. Göçertmeli Uzunayaklarda YTÜ Üzerine Gelen Yükler (Tianbe, K. ve Zhongming, J. 1999).

YTÜ üzerindeki yatay itme kuvveti ise göçükteki kömür ve pasa tarafından üretilen yanal basınçtan kaynaklanır. Yatay itme kuvveti ( $P_H$ ) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$P_H = \left( M\gamma_1 + \frac{m}{K_P}\gamma_2 \right) b m_1 \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varnothing}{2} \right) \quad (13)$$

Burada:

$m_1$  : tahkimatın ortalama yüksekliği (m),

$\varnothing$  : kömür yığını içsel sürtünme açısı ( $20^\circ$ ).

Tahkimatın toplam taşıma kapasitesi (P) ise :

$$P = n \sqrt{(P_v)^2 + (P_H)^2} \text{ (ton /ünite)} \quad (14)$$

Burada, n: emniyet katsayıdır (n=2).

Göçertme uygulanan kalın kömür damarlarında tavan yükü hesaplamalarında kullanılan diğer bir yaklaşım Konak (1995) tarafından önerilmektedir. Ayak içi teorik yük yüksekliği aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$h = \frac{m(1-v)[s(\gamma_1 - \gamma_2) + \gamma_2]}{(K-1)(1-s)\gamma^2} - \frac{mv(K_c - 1)}{(K-1)} \quad (15)$$

Burada:

$h$  : yalancı tavan yüksekliği (m),

$m$  : maksimum damar kalınlığı (m),

$v$  : kömür kaybı (%),

$s$  : kömüre taş karışımı (%),

$\gamma_1$  : kömür yoğunluğu (ton/m<sup>3</sup>),

$\gamma_2$  : tavan taşı yoğunluğu (ton/m<sup>3</sup>),

$K$  : tavan taşı kabarma faktörü,

$K_c$  : kömür kabarma faktörü.

### 2.12.2. YTÜ'lerde Yük Periyodu

Uzunayak panolarında teçhiz edilecek YTÜ'lere gelecek tavan yükünün saptanmasında kullanılan diğer bir yöntem, YTÜ ana direklerine gelen basınçların izlenmesi ile oluşan yüklerin istatistiksel olarak saptanmasıdır. Bu yöntem ile mevcut YTÜ'lerin yeterlilikleri değerlendirilebilmekte ve ileri tahkimat tasarımlarında iyileştirme yapabileme imkanı sunulmaktadır. Ayrıca bu yöntem, benzer jeolojik koşullara sahip damar veya damarlarda kullanılacak YTÜ'lerin seçiminde yardımcı olmaktadır.

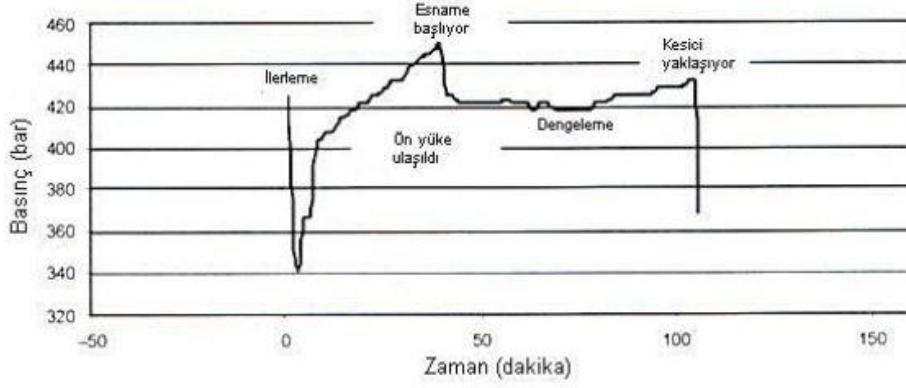
Yük periyodu analizi (Load Cycle Analysis) adı verilen bu yöntemde, YTÜ ana direklerine bağlanan basınç sensörleri ile gerçek zamanlı basınç ölçümleri alınmakta ve

bir veya birden fazla üretim panosunda yapılan ölçümler sonucu istatistiksel analizler için yeterli veri toplanabilmektedir. YTÜ’lerde yük periyodu, tahkimatın ön yükleme yapıldığı andan bir sonraki serbest kalma ve hareketine kadar geçen süredeki basınç veya yük değişimidir. Ölçülen yük periyotlarında oluşan son basınç değerlerinin YTÜ kapasitesi hesabında kullanılması mümkündür. Son basınç değerlerinin yeterli görülmemesi durumunda zaman ağırlıklı direnç veya basınç değerleri kullanılabilir (Peng,2006).

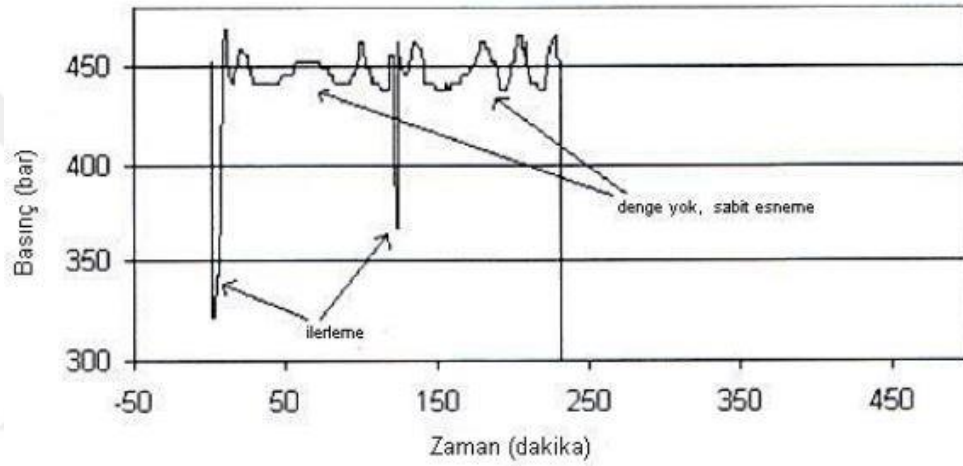
Yukarıda bahsedilen metotlar, bir yük periyodunda ölçülen direk basınçlarının esneme basıncını hiç geçmediği veya nadiren geçtiği durumda uygulanabilir olmaktadır. Trueman ve diğerleri (2005,2008), kalın kömür damarlarında veya düşük ön yükleme basıncına sahip YTÜ’ler kullanıldığında direk basınçlarının bir veya daha fazla esneme yüküne ulaştıklarını belirtmektedirler. Emniyet valfinin açıldığı andan bir sonraki emniyet valfinin açılmasına kadar geçen süre esneme periyodu olarak adlandırılmaktadır. Esneme periyodunun karakteristiklerine bağlı olarak aşağıdaki saptamaları yapmışlardır.

- A. Yeterli YTÜ kapasitesi ve yeterli ön yükleme basıncı- direk yük periyotları Şekil 2.35. A ve B’de verilen tiplerle uyumlu ise ön yükleme basıncı ve esneme basıncı yeterlidir.
- B. Yeterli YTÜ taşıma kapasitesi fakat çok yüksek ön yükleme basıncı – bir veya birden fazla esneme periyodu sonrası tavan konverjansı ve basınç artışı dengeye ulaşmaktadır (şekil 2.41.).
- C. Yetersiz YTÜ taşıma kapasitesi – YTÜ direk basıncı be tavan konverjansın dengeye ulaştığını gösteren bir işaret olmaksızın esneme periyotları sürmektedir (Şekil 2.42).

Hangi koşullarda olursa olsun, YTÜ direk basınçları sağlıklı bilgiler sağlamaktadır. Bu ölçümler istatistiksel olarak karşılaştırılmalı ve YTÜ’lerin hangi yüklerle karşılaşacağını saptanmasında kullanılmalıdırlar.



Şekil 2.41. Tahkimat yükü – esneme sonrası denge hali (Truman ve diğ.,2005).



Şekil 2.42. Tahkimat yükü – sürekli esneme periyodunda (Trueman ve diğ.,2005).

Peng ve diğerleri (1986) 10 uzun ayakta yaptıkları basınç ölçümleri sonucu yük periyodu analizlerini kullanarak YTÜ esneme yükünün belirlenmesinde istatistiksel bir yaklaşım oluşturmuşlardır.

YTÜ esneme yükünün hesaplanması, optimum ön yükleme yükünün saptanmasına bağlıdır. Esneme yükü, ön yükleme yükü ile toplam yük artışının toplamına eşittir.

Bir yük periyodunda YTÜ yükü şu şekilde değişir; ön yükleme sonrası eğer ön yükleme yükü düşük ise YTÜ tavan yükünü dengeleyemez ve tavan konverjansı hızlı bir şekilde artar. 10 ile 30 dakikalık bir sürede tahkimat  $\Delta P_1$  kadar bir yük alır. Daha sonra tahkimat ana tavanın hareketi nedeniyle  $\Delta P_2$  kadar yavaş hızlı yük almaya devam eder. Sonra kesici makine tahkimat önüne geldiğinde, kesim ile birlikte daha çok açık alan yaratır. Bu, diğer bir dengesiz bir durum yaratır ve tahkimat  $\Delta P_3$  kadar bir yük daha alır. Kesici makinenin ilerlemesi ile birlikte komşu YTÜ ilerletilir ve bu hareket henüz

ilerlememiş YTÜ üzerine  $\Delta P_4$  kadar bir yükün transferine neden olur. Bu yük periyodu sonucu YTÜ üzerindeki oluşan toplam yük artışı ( $\Delta P_f$ ) aşağıdaki gibidir.

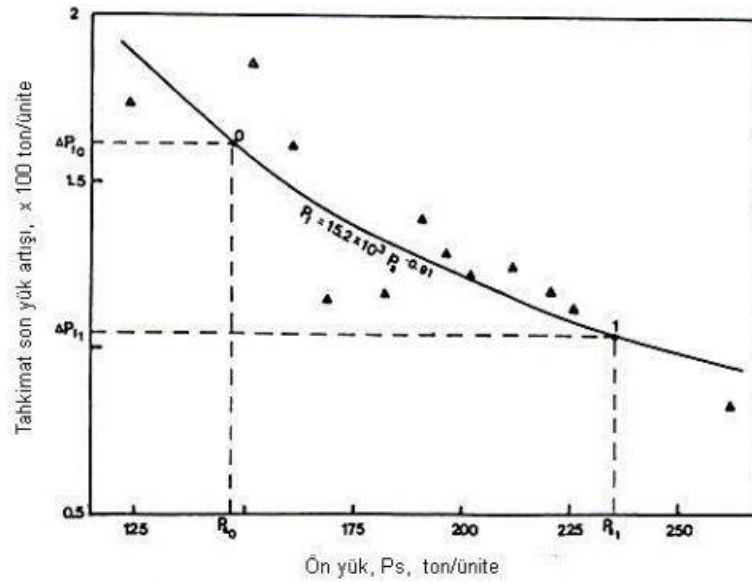
$$\Delta P_f = P_f - P_s = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 \quad (16)$$

Burada,  $P_f$  YTÜ'nün son yükü ve  $P_s$  ise YTÜ'nün ön yükleme yüküdür.

$$\Delta P_f = a P_s^{-b} \quad (17)$$

Burada; a ve b sabit sayılar olup panonun madencilik koşullarına göre değişirler. Arzu edilen YTÜ son yük değeri de ( $P_f$ ) şu şekilde oluşur:

$$P_f = P_s + \Delta P_f \quad (18)$$



Şekil 2.43. YTÜ ön yükü ile YTÜ yük artışı arasındaki ilişki (Peng ve diğ., 1986)

Eğer YTÜ artan yük koşullarında çalışacak ise esneme yükü ( $P_y$ ) arzu edilen son yük değerine ( $P_f$ ) eşit olmalıdır. Fakat pratikte ( $P_f$ ) değeri periyottan periyoda değişiklik göstermektedir ve istatistiksel olarak bir standart sapma ( $\sigma_f$ ) değerine sahiptir. Böylece esneme yükü ( $P_y$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_y = P_f + 1,3 \sigma_f \quad (19)$$

Yukarıdaki bağıntıda 1,3 çarpanı, tahkimatın son yük değerinin esneme yükünü %10'dan fazla aşmamasını sağlar.

Eşitlik 17'e göre optimum ön yükleme yükü eğrinin birinci türevinin -1 değerine eşit olduğu noktadadır. Bu noktanın altında ön yükleme yük artışı, negatif son yük artışından daha düşüktür. Bu nokta kritik nokta olarak adlandırılır ve arzu edilen son yük değeri  $P_{fo}$ :

$$P_{fo} = P_{so} = \Delta P_{fo} \text{ dir.}$$

Burada,  $P_{so}$  kritik ön yük ve  $\Delta P_{fo}$  kritik toplam yük artışıdır. Yapılan ölçümlere göre gerçek ön yük basıncı nominal ön yük basıncının ortalama %65,4'ü oranında gerçekleşmektedir. Böylece nominal ön yükü ( $P_{si}$ ), nominal son yük değeri ( $P_{fi}$ ) ve nominal esneme yükü ( $P_{yi}$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır. Burada  $\Delta P_{fi}$  nominal ön yük kullanıldığında toplam yük artışıdır.

$$P_{si} = 1,6P_{so} \quad (20)$$

$$P_{fi} = P_{si} + \Delta P_{fi} \quad (21)$$

$$P_{yi} = P_{fi} + 1,3 \sigma_f = P_{si} + \Delta P_{fi} + 1,3 \sigma_f \quad (22)$$

YTÜ'lerdeki basınç değişimlerinin istatistiksel olarak değerlendirilerek, yeterli tahkimat yük kapasitesi seçiminde kullanılmasında diğer bir yöntem eklenik olasılık yöntemidir. Bessinger'a (1996) göre, basınç değişimlerinin karakterizasyonu, rasyonel ve istatistiksel olarak yeni bir tahkimatın dizaynı için esneme yük kapasitesine ulaşılmasına imkan tanımaktadır ve son yük değerinin eklenik olasılığını tahmin etmek üzere bir yaklaşım geliştirmiştir. Minimum %87 eklenik olasılığın tasarım değeri için yeterli olabileceğini önermiştir. Bu değer altında, artan frekansta istenmeyen sonuçların elde edildiğini, %87-93 aralığındaki değerlerin sonuçlarının ise çok az tavan kontrol problemlerine yol açtığını belirtmektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Savana Madencilik Linyit İşletmesinin Tanıtımı

Savana Madencilik işletmesi Sorgun bölgesinde uygulanmakta olan üretim yöntemi, geri dönüşlü geçermeli uzun ayak şeklinde ve klasik sistemle üretim yapılmaktadır. Kömür damarları arasındaki ara kesmedeki kalınlıktan dolayı iki damarda oluşturulan uzun ayaklarla tavan ve taban ayak olarak ayrı işletilmektedir.

Kömür yüksek kükürt oranı içermesinden dolayı yangına çok elverişlidir. Bundan dolayı da dönüşlü ayak sistemi uygulanmaktadır. Önce tavan ayak işletilmekte tavan ayaktan sonrada taban ayak işletilmektedir. İşletmede kömür yıkama zenginleştirme tesisi kurulu olmadığından tavan ayağın kömürünün yerinde 4500-5000 kalori gelmesi ve yıkama ihtiyacı olmadığından ağırlıklı olarak tavan ayak işletilmektedir. Tavan ayak kalınlığı 80cm ile 150cm aralığında değişmektedir. Taban ayaklarda kükürt değerlerinin yüksek olması ve kalori değerinin tavan ayağa göre daha düşük olmasından dolayı tavan ve taban kömürü karıştırılarak piyasaya sunulmaktadır.

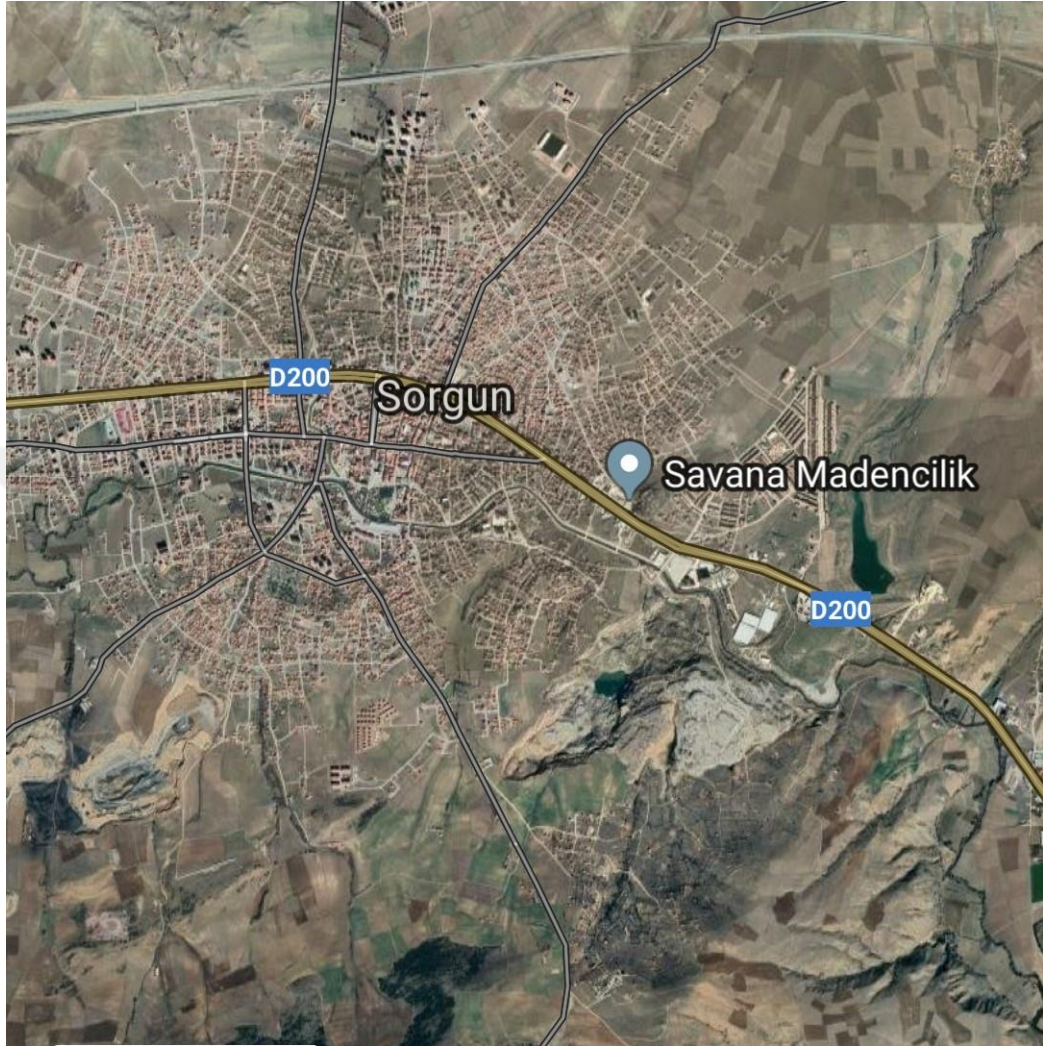
Mevcut günlük üretim miktarı 180 ton/gün olup işletme üç vardiya, haftada beş gün çalışma yapmaktadır. Kömür iki panoda kurulu tavan ve taban ayaklarından elde edilmektedir.

Yozgat'ın Sorgun ilçesinde 1962 yılında tesadüfen bulunan linyitin ilk prospeksiyonu 1963 de Dr. H. Wedding tarafından yapılmıştır. Damar kalınlığı ve kömür kalitesi çok ümit verici görüldüğünden sahada detay jeolojik etüd yapılması uygun görüşmüştür.

Sahada iki damar bulunmaktadır, üst damar 0,80 cm -1,50 cm kalınlığında değişmekte, alt damar 1,8m ile 2,5 m arasında kalınlıklardadır. İki damar arasında yaklaşık 10 m lik ara kesme bulunmaktadır.

### 3.1.1. Coğrafi konum

Savana madenciliğın yer bulduru haritası Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3. 1. Yozgat ili, Sorgun ilçesinde bulunan işletme sahası, Yozgat Sivas karayolu üzerinde bulunmaktadır.

### 3.1.2. Mevkii ve Ulaşım Şartları

Ruhsat sahası Sorgun İlçesi ve İkikara, Mükremin köyleri civarındadır. Yozgat Sivas karayolu üzerinde bulunup ulaşım sorunu bulunmamaktadır.

### 3.1.3. Morfoloji, Hidrografi ve İklim

Kömür sahası morfoloji bakımından tipik Anadolu Peneplerinin özelliklerini taşır. Az eğimli yükseltiler, düzlükler ve derin olmayan su mecraları, topoğrafyanın karakteristiğini belirler. Ortalama rakım 1100-1200 m arasındadır. Toprak tabakasıyla



örtülü sahada kayaç mostralara ancak kuzey ve doğu kısımlarda yol şevlerinde ve yüzey sularının yarmalarında rastlanmaktadır.

Sahada her mevsimde akan Eğri deresi geçmektedir. Ayrıca Mükremin Deresi, Çayırli Deresi gibi akarsular bulunmaktadır.

İç Anadolu'nun orta kesiminde bulunan sahada, tipik karasal iklim hüküm sürmektedir. Kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar kurak ve sıcak geçer. Yıllık ortalama yağış miktarı 50-60 cm civarındadır. Yağışlar daha çok bahar aylarında görülmektedir.

#### **3.1.4. Sahanın Hukuki Durumu**

Yozgat ili Sorgun ilçesi yerleşim merkezi civarında olup 1:25000 ölçekli haritada i34-a2-a3-a4 paftasında yer almaktadır. Saha sorgun yerleşim merkezinin kuzeyinde yer almakta olup, Savana Madencilik Enerji İnşaat Ticaret A.Ş. bünyesinde bulunmaktadır.

#### **3.1.5. Genel Jeoloji**

Bölgedeki istiflenme alttan üste doğru şu şekildedir. Sahanın temelini grena-dioritler teşkil etmektedir. Sahanın güneyinde bulunan tepeler grandiorit olup yer yer pliosen çakılları ile örtülüdür. Bunlar üzerine yer yer kristalize kalkerler ve tabakalı kalkerli marnlardan oluşmuştur.

##### **3.1.5.1. Filiş Fasiyesi**

Sahada E-W doğrultusunda uzanan filiş serisi konglemera, kaba-ince ve kumlu sert marn tabakalarının monoton tekrarlarından ibarettir. Hakim renk gri, kırmızımtırak ve kahverengidir. Fosil bakımından steril olup kömürlü zonun ortalama 3 metre kadar üst kesiminde bol fosilli klavuz seviye denilebilecek bir seviye mevcuttur.

##### **3.1.5.2. Lagüner Fasiyesi**

Güneydeki bu fasiyes kuzeye doğru yerini filişlere bırakmaktadır. Kömür seviyelerinin tavanını killi marnlar teşkil etmekte olup, kömürün yaşı İpresiyen olarak belirlenmiştir. Filiş fasiyesi ve lagüner fasiyesi Altesen oluşumdur. Bu birimler

üzerine uyumsuz olarak denizel olan killi marn, ince marn, gre, marnlı kalker ve killerden oluşan orta üst eosen gelmektedir. Bunlar üzerine Pliosen karasal çökelleri gelerek sahadaki sedimantasyon tamamlanmıştır. Bunlar üzerinde, dere yataklarında ve çukur alanlarda 8-10 metre kalınlığında alüvyonlar kuaterneri temsil eder.

### **3.1.6. Tektonik**

#### **3.1.6.1. Kıvrımlar**

Bölgedeki bütün kıvrımlar kuzeyden güneye doğru itilmeler sonunda meydana gelmiştir. Yatımlar genellikle kuzey ve doğuya doğru olup Alt Eosende kuvvetlidir. Orta Eosende ise hafiftir.

#### **3.1.6.2. Faylar**

Etüd sahmızdaki faylar genellikle E-W doğrultulu olup bunların bir kısmı normal bir kısmı ise ters faydır.

### **3.1.7. Havza gelişimi**

Sorgun havzası hakkında genel görüşler şöyle sıralanmıştır. (Ketin,19..),(Ağarlı,19..)

- a) Bölgede denizel Eosen serisinin altında langüner fasiyeste ekomomik değer taşıyan kömür damarlarını içeren Alt Eosen serisi vardır.
- b) Küçük alformanlar halinde görülen mesozoik kalkerleri yerli temele aittir.

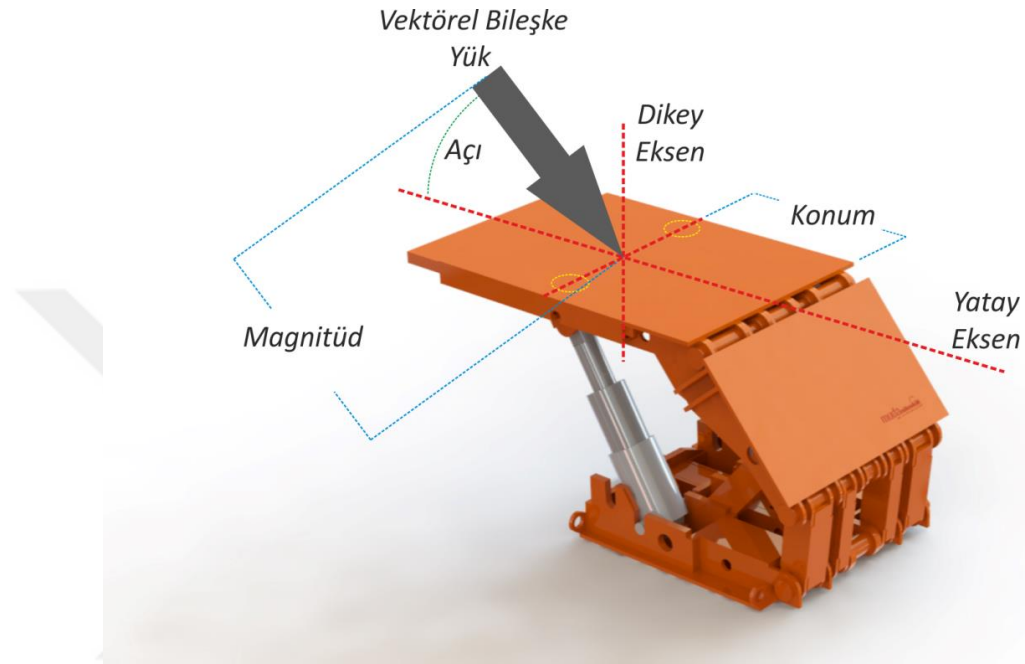
### **3.1.8. Rezerv**

MTA tarafından yapılan sondaj çalışmaları neticesinde 6 milyon tonun üzerinde rezervi bulunan iki damar tespit edilmiştir.

İşletme sahasının üzerinde yerleşim yerleri bulunmakta bu yüzden yapılacak yeraltı çalışması neticesinde oluşacak tasman iyi hesaplanmalıdır (Göçük, 1978), (Nakoman, 1975)

### 3.2. Yürüyen Tahkimat Geliştirme Aşamaları

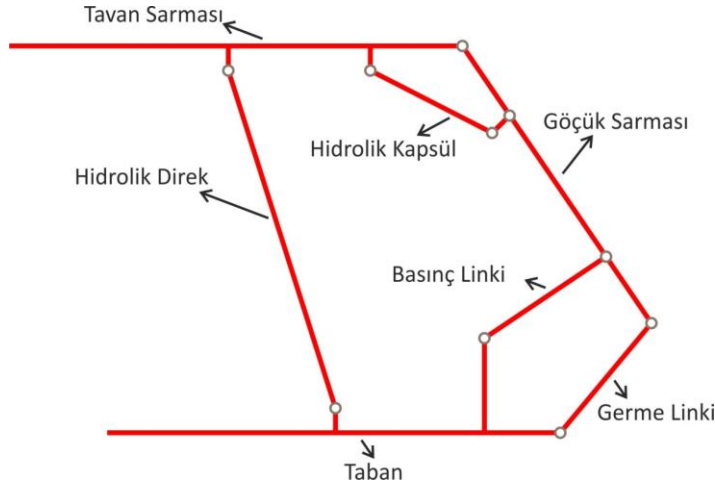
Bu çalışmada İki Direkli Lemniskat tipi Yürüyen Tahkimat Ünitesinin tasarım parametreleri anlatılmıştır. Şekil 3.2’de yapılması planlanan yürüyen tahkimat sisteminin prototip görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 3. 2. Yürüyen Tahkimata Uygulanan Bileşke Yükler

Tahkimat destek direncinde ana ölçü vektörel bileşke yüküdür. Vektörel bileşke yük, katmanların desteğe uyguladığı tüm yükün ölçülebilir tek kriteridir. Bileşkenin üç parametresi vardır: Magnitüd, Konum ve Açı.

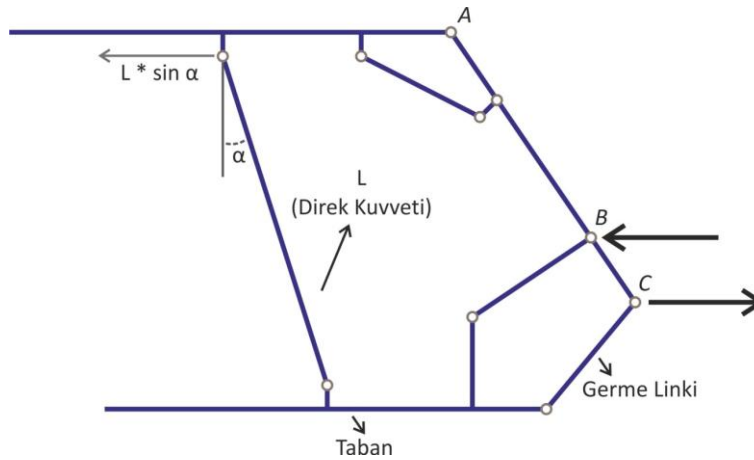
1. Magnitüd; Bileşkenin büyüklüğüdür.
2. Konum; Bileşkenin uygulandığı yerdir. Tavan sarması üzerinde ki arka menteşe milinden uzaklığıdır.
3. Açı; Uygulanan kuvvetin açısıdır.



Şekil 3.3. Yürüyen Tahkimat Ana Unsurları

Şilt tasarımını belirleyen dört ana unsur vardır: tavan sarması, göçük sarması, hidrolik destekler ve taban.

1. Tavan sarması. Tavan katmanları ile temas eden parçadır.
2. Göçük sarması. Tavan sarması ve tabanı bağlayan bu kısım yatay dengeyi sağlar. Ayrıca arka göçük döküntü parçalarına karşı kalkan görevini yerine getirir.
3. Basınç linki. Ön lemniskat bağlantısıdır.
4. Germe linki. Arka lemniskat bağlantıdır.
5. Hidrolik direk. Tek ya da çift etkili hidrolik destektir. Tavan sarmasına ana desteği veren parçadır.
6. Hidrolik kapsül. Çift etkili hidrolik destektir. Tavan sarmasının davranışını kontrol eder.



Şekil 3.4. Yatay yükleme Altında Tahkimat Elamanlarının Davranışı

Şilt konsept tasarımında ana ilke, yatay tavan yüke karşı (aynadan göçüğe kadar) direnç yeteneğidir. Destek direncinin yatay bileşimi ( $L \cdot \sin \alpha$ ) tavan sarmasını A noktasından kömür aynasına doğru itme eğilimindedir. Bu hareket göçük sarmasını çekerken B noktası kömür aynasına doğru, C noktası ise göçüğe doğru itilir; ön link basınç altında sıkışırken, arka link çekim etkisiyle gerilir.

Maruz kalınan güç karşısında ön hidrolik direğin kuvveti ne kadar artarsa ön linkin sıkışma, arka linkin de gerilme derecesi aynı oranda artar.

İlgili formül:

$$\sum F(x) \rightarrow + = 0,$$

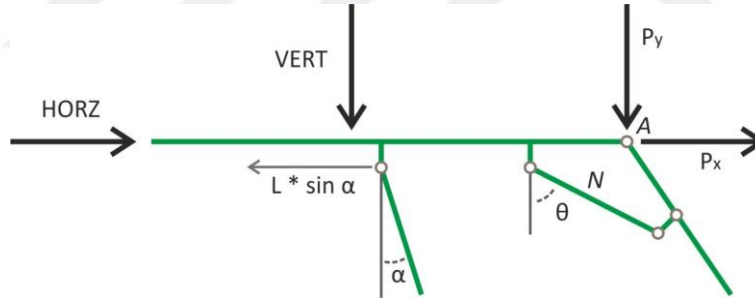
$$\text{HORZ} = L \cdot \sin \alpha + N \cdot \sin \theta - P_x, \quad (23)$$

HORZ = Yatay sürtünme kuvveti,

$L \cdot \sin \alpha$  = Hidrolik direk kuvveti yatay bileşeni,

$N \cdot \sin \theta$  = Hidrolik kapsül kuvveti yatay bileşeni,

$P_x$  = Menteşe milindeki (A noktası) yatay tepki.



Şekil 3.5. Tavan Sarması Üzerindeki Vektörel Kuvvetler

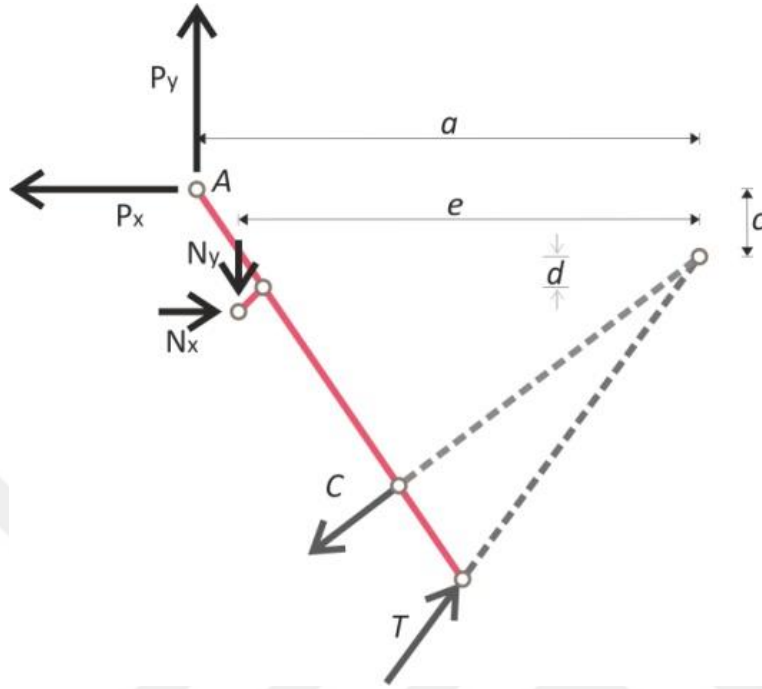
Statik analizlere göre, ön hidrolik direk kuvvetinin yatay bileşeni ( $L \cdot \sin \alpha$ ), destekte yatay sürtünme kuvvetine dönüşür. Tavan sarmasında kuvvet davranışı, menteşe milinin davranışı sürtünme kuvvetiyle aynı yöndedir. Dikey direnç kuvveti açısından, yatay yüklemenin varlığı, desteğin geometrisi ve çalışma yüksekliğine bağlı olarak destek kapasitesini artırabileceği gibi azaltabilir.

$$\sum F(x) \uparrow + = 0,$$

$$\text{VERT} = L \cdot \cos \alpha + N \cdot \cos \theta - P_y \quad (24)$$

VERT = Dikey destek direnci,

Göçük sarmasının kuvvet hareketi incelendiğinde, linklerin kutup noktasından alınan momentin formülü aşağıdaki gibidir.



Şekil 3. 6. Kutup Noktası

$$P_y = ( P_x(c) + N_x(d) + N_y(e) ) / a \quad (25)$$

$P_y$  = Tavan sarması menteşe mili dikey tepki kuvveti

$P_x$  = Tavan sarması menteşe mili yatay tepki kuvveti

$N_x$  = Hidrolik kapsül kuvveti yatay bileşeni

$N_y$  = Hidrolik kapsül kuvveti dikey bileşeni

$a$  =  $P_y$  moment kolu

$c$  =  $P_x$  moment kolu

$d$  =  $N_x$  moment kolu

$e$  =  $N_y$  moment kolu

(24) denklemindeki  $P_y$ , (25) denkleminde yerine konulursa aşağıdaki formül elde edilir.

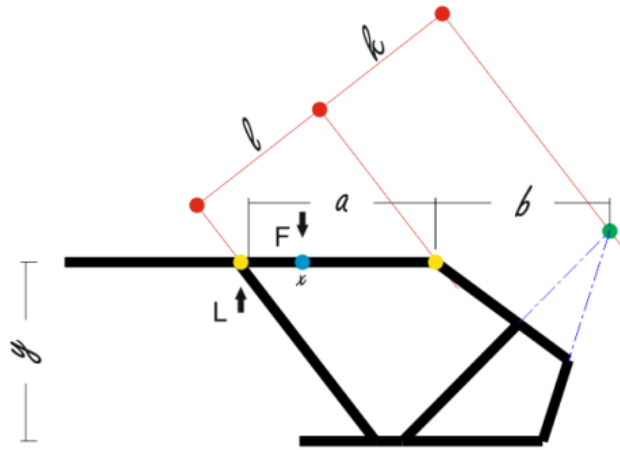
$$\text{VERT} = L \cdot \cos \alpha + N \cdot \cos \theta - P_x(c) / a - (N_x(d) - N_y(e)) / a \quad (26)$$

Formüldeki “ $P_x(c) / a$ ” terimi yatay yüklemenin dikey yüklemeye etkisini anlatır. (c) değeri sıfır olduğunda (kutup noktası tavan sarması ile aynı hizada olduğunda) “ $P_x(c) / a$ ” değeri sıfır olacaktır; yani yatay yüklemenin yük taşıma kapasitesine hiç bir etkisi olmayacaktır. Genel olarak, iki direkli şiltler için, kutup noktası tavan sarmasının altında konumlandığında, harici yatay yüklemenin etkisi, (26) denkleminde “ $P_x(c) / a$ ” negatif değer taşımasından dolayı, desteğin yük taşıma kapasitesini azaltacaktır. Kapasitedeki bu azalmanın büyüklüğü kutup noktasının tavan sarmasına uzaklığına bağlıdır ki bunu şiltin yüksekliği belirleyecektir. Normalde, şilt tasarımında bu etkiyi minimize etmek için desteğin muhtemel çalışma yüksekliğine göre, kutup noktası tavan sarmasına olabilecek en yakın mesafeye konumlandırılır. Diğer taraftan kutup noktası tavan sarmasının üzerinde konumlandığında yatay yüklemenin etkisi, destek kapasitesini artırmak şeklinde olur. Yalnız bu genelleme tüm yükleme durumları için geçerli değildir. Örneğin kuvvet bileşkesinin yeri direk-capsül kuvvet bileşkesinin arkasında kaldığı takdirde tavan sarması menteşesinin dikey tepki kuvveti tersine dönecektir. (Barczak,Schwemmer,1988).

### 3.3. Tahkimatın Tasarımı

Muda Mühendislik yeraltı kömür madenciliğindeki tecrübesi ve bilgi birikimi sayesinde kömür üretim sektöründeki mekanizasyon kullanımının eksikliğini fark ederek, 2012 yılında ilk Ar-Ge çalışmalarını, ince kömür damarlarında kullanılacak tam mekanize bir kazı sisteminin üretimine başlamıştır.

AR-GE çalışması kapsamında ilk olarak ince kömür damarları için kömür sabanı tasarlanması için çalışmalara başlanmış başarıyla sonuçlandırılmıştır. Denizli Çivril Özdemirci kasabasında bulunan kömür ocağında 10 metre uzunluğunda oluşturulan bir deneme ayağında, yürüyen tahkimat olmadan tasarlanan kömür pulluğunu 35 cm kalınlığındaki damarda çalıştırılmıştır. Dört aylık bir deneme çalışmalarının sonucunda kömür sabanı başarılı bir şekilde çalışmış ve istenen verim elde edilmiştir. İleri aşama için daha kalın kömür damarları için tasarım hedefi konulmuştur. Çizelge 3.1’de yürüyen tahkimatın farklı yüksekliklerde taşıyabileceği yükler sunulmuştur. Tahkimata etkiyen vektörel kuvvetler ise Şekil 3.7’de sunulmuştur.



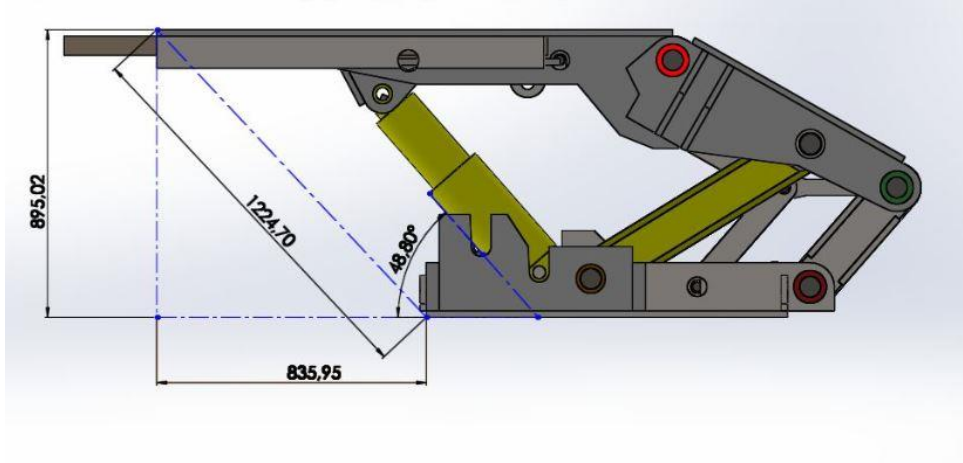
Şekil 3. 7. Tahkimata Etki Eden Vektörel Kuvvetler

Çizelge 3.1. Farklı Yüksekliklerde Tahkimatın Taşıyacağı Maksimum Yükler

Farklı Yüksekliklerde Destek Direnç Değerleri									
Açıklama	Birim	Kutup Noktası Hizası	Kutup Noktası Üstte	Kutup Noktası Üstte	Kutup Noktası Üstte	Kutup Noktası Üstte	Min. Açılma	Kutup Noktası Altta	Maks. Açılma
L	ton	100	100	100	100	100	100	100	100
y	cm	95,65	90	80	70	60	50	100	106
k	cm	53,13	67,4	89,69	107,94	121,74	130,95	41,33	23,62
l	cm	78,28	76,79	74,22	71,3	67,6	62,65	79,54	81,62
a	cm	96	96	96	96	96	96	96	96
b	cm	65,15	77,01	97,45	117,46	137,36	158,35	55,74	41,81
F(v)	ton	81,54	87,51	92,04	91,89	88,63	82,69	74,15	56,49
X	cm	96	87,75	80,64	77,59	76,27	75,76	107,27	144,48

Yürüyen tahkimatların ve sabanın dizaynı, hesaplamaları ve çizimleri Muda Mühendislik tarafından yapılmıştır. Yürüyen tahkimat sisteminin laboratuvar testlerini ülkemizde gerçekleştiren bir laboratuvar bulunmadığından Muda Mühendislik kendi imkanları doğrultusunda hidrolik pres altında testlerini gerçekleştirmiştir. Yürüyen tahkimatın ilk gelişim aşamasını gösteren teknik çizim Şekil 3.8’de görülmektedir.





Şekil 3. 8. Tahkimatın Tasarım Çalışmaları

### 3.4. Tahkimatın Tasarım Testleri

Tasarlanan yürüyen tahkimatların bilgisayar ortamında sonlu elamanlar yöntemi kullanılarak testleri Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yapılmıştır.

Maden tahkimatları için iki ayrı yükleme durumu dikkate alınmıştır. Bunlardan birincisi tahkimatın üst kısmından düzgün yayılı yük uygulanmasıdır. İkincisi ise üst yüzeyin bir köşesinde dar bir bölgede yayılı yük uygulanmasıdır. Belirtilen yükleme koşulları ve tahkimat geometrisi dikkate alındığında konstrüksiyonun belirlenen sınırlar dahilinde normal çekme, normal basma, saf kayma, eğilme, birleşik eğilme, kaymalı eğilme yüklemeleri altında çalışması gerekmektedir.

Öngörülen yükleme şartları için konstrüksiyona ait taşıyıcı şasenin katı modeli oluşturulmuş ve bu katı model üzerinde sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile gerilme analizleri yapılmıştır. Şase 65393 eleman ve 244582 düğüm noktasından müteşekkil olacak şekilde modellenmiştir.

Buna göre aşağıdaki yükleme şartları uygulanmıştır.

- Konstrüksiyonun kendi ağırlığı ile birlikte üst yüzeyden düzgün yayılı yük (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10)
- Konstrüksiyonun kendi ağırlığı ile birlikte üst yüzeyde bir köşede tanımlanan 300mmX300mm boyutunda bir alana düzgün yayılı yük (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12)

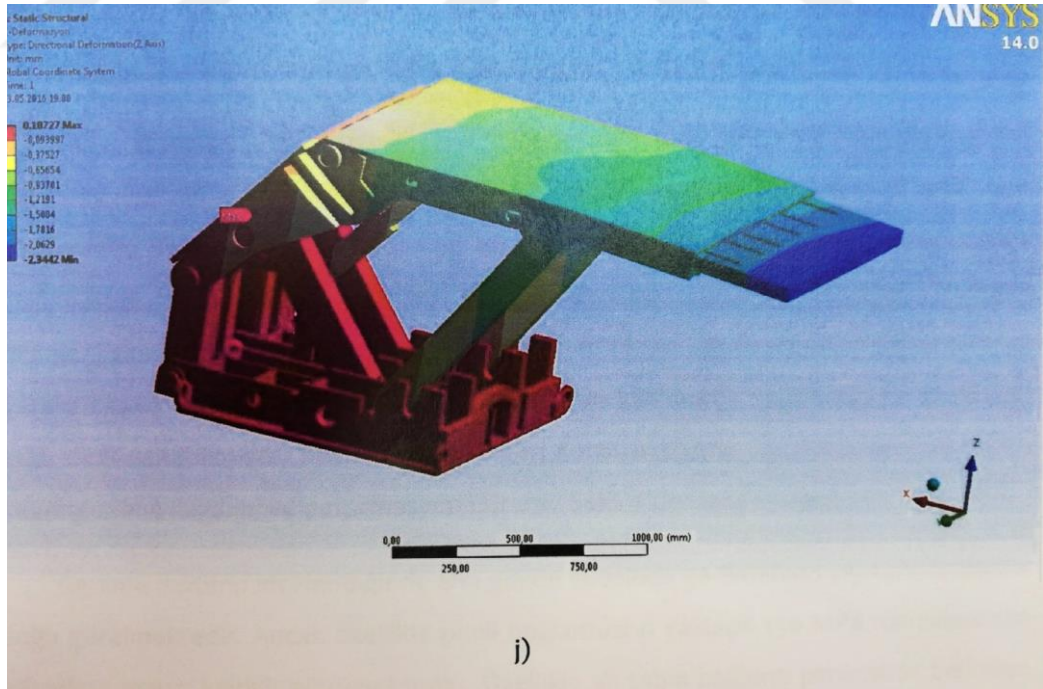
Konstrüksiyonun katı modeli oluşturulmuş ve sonlu elemanlar analizi uygulanarak gerilme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen nodal kuvvetler VonMises eşdeğerlik kriteri yardımıyla eşdeğer gerilmeler halinde elde edilmiştir.

Konstrüksiyonun kadı modeli oluşturulmuş ve sonlu elemanlar analizi uygulanarak gerilme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen nodal kuvvetler VonMises eşdeğerlik kriteri yardımıyla eşdeğer gerilmeler halinde elde edilmiştir.

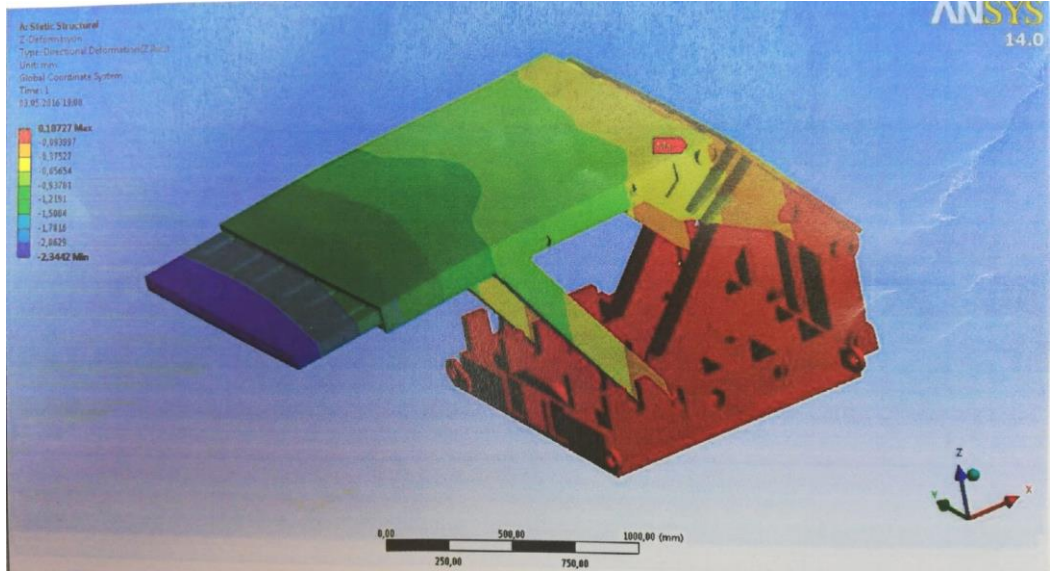
Şase konstrüksiyon için kullanılacak olan malzeme ye ait elastisite modülü  $E=200$  GPa ve Poisson oranı ise  $\nu=0,3$  kabul edilmiştir. Konstrüksiyonda yapılmış olan kaynak işleminin mükemmel olduğu ve kaynak dikişi ile ana malzemenin aynı özelliklerde olacağı kabul edilmiştir. Aynı zamanda, şase konstrüksiyonda kullanılan malzemenin yapısal çelik olduğu ve ST52-3 kalitede olduğu kabul edilmiş olup belirtilmiş olup belirtilen malzemeye ait akma mukavemeti S355J2 eşdeğeri ile 345 MPa olarak kabul edilmiştir.

Geometrinin narin olmaması ve kullanılan profillerin kesit atalet momentlerinin ve eğilme rijitliklerinin relatif olarak büyük olması sebebiyle gerilme analizinde lineer yaklaşımın yeterli olduğu kanaatine varılmış ve sonuçlar bu esasla değerlendirilmiştir.

Belirtilen konstrüksiyon için, yukarıda yapılan kabuller çerçevesinde ve öngörülen yükleme şartları için elde edilen eş değer gerilmeler aşağıda sunulmuştur. Sonuçlar değerlendirilmiştir.

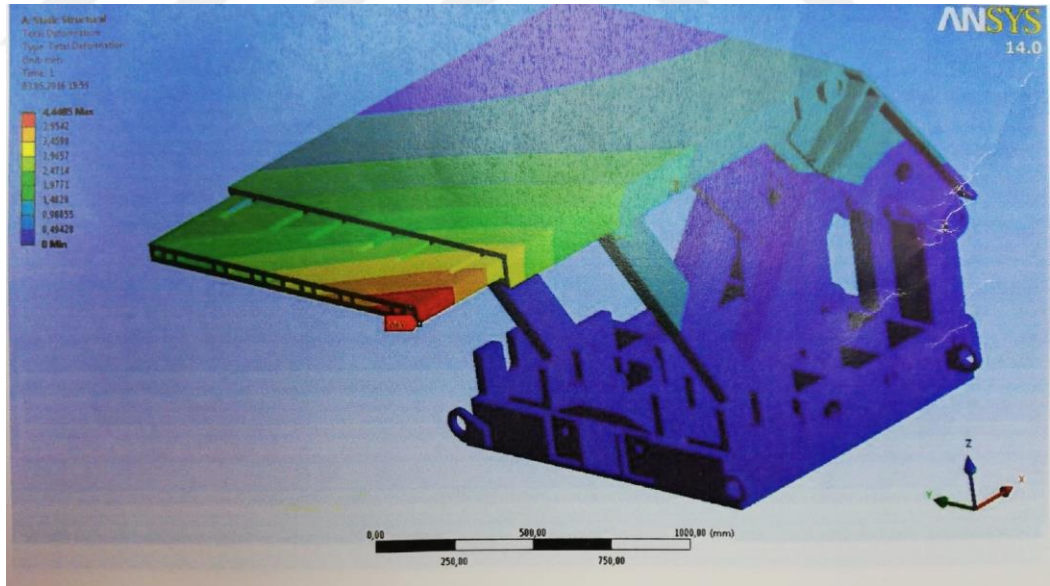


Şekil 3. 9 Üst Yüzeyden Düzgün Dağılmış Yayılı Yük Altında Durum

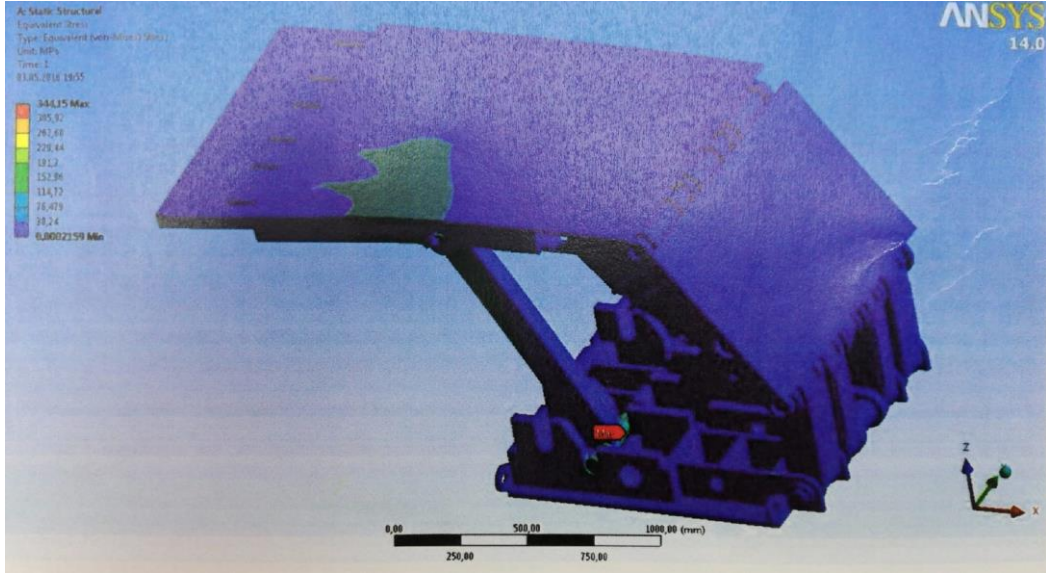


Şekil 3. 10. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Analizler: Yayılı Yük Altında

Gerilme durumu incelendiğinde ana gövde civarında gerilmelerin 150 MPa civarında olduğu görülmektedir. Ancak özellikle pimli bağlantıların daha yüksek gerilmelere maruz kaldığı ve alt tabla bağlantı pimlerinde yaklaşık 258.767 ton yük değerinde akma sınırına ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3. 11. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Analizler: Köşe Noktasından Yükleme



**Şekil 3. 12.** Üst Tabla Köşe Bölgesinden Uygulanan Yayılı Kuvvete Karşılık Oluşan Maksimum Eşdeğer Gerilmeler

İmal edilen Yürüyen tahkimatların fiziki testleri 250 tonluk pres altında yapılmış ve yapılan testler sonucunda herhangi bir deformasyon oluşmamıştır. Şekil 3.13’de 250 tonluk pres altında gerçekleştirilen yürüyen tahkimatın dayanım testi görülmektedir.



**Şekil 3. 13.** Tahkimatların 250 Tonluk Pres Altında Test edilmesi

### 3.5. Tahkimatın İmalatı

Tahkimatların hidrolik pistonları ve kumanda sistemleri Muda Mühendislik tarafından yerli firmalara yaptırılmıştır. Tahkimatlar konusunda yerli hidrolik

üreticilerinin birlikte çalışılmış ve yapılan yönlendirmeler sonucunda örnek üretimler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16).



Şekil 3.14. İlk Tahkimatın İmalatı



Şekil 3.15. İlk Tahkimatın İmalatı



Şekil 3.16. İlk Üretilen Tahkimat

Bu yapılan çalışma neticesinde, sistemi geliştirmek için KOSGEB'e yapılmış olan proje başvurusu 2014 yılında kabul edilmiştir. Proje süresince, kömür sabanı ve 7 adet ince damarlar için (65-165 cm) tasarlanan yürüyen tahkimat sistemini proje süresinde başarıyla tamamlanmıştır. Tasarlanan tahkimat sistemi ve kömür sabanı Maden Makineleri 2016 fuarında sergilenmiştir.

İlk olarak 12 metre uzunluğundaki bir deneme ayağında, tahkimat olmadan çalıştırılacak olan kömür sabanı 35 cm kalınlığındaki damarda çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Kazıcı pulluğun imalatı yaklaşık altı ay gibi kısa bir sürede yapılmış ve yeraltına indirilmiştir. Deneme yapılacak ayak boyu 12 metre olarak planlanmış motor güçleri 12 metrelik sabanı çalıştıracak şekilde 30 kw olacak şekilde seçilmiştir. Sistemin yeraltına indirilmesi vagonlarla yapılarak montaj yeraltında tamamlanmış ve ilk denemelere başlanmıştır.

İki aylık denemelerin sonucunda, makinadaki aksaklıklar giderilmeye çalışılmış ve mevcut makinanın en iyi performansta çalıştırılması sağlanmıştır. Kömürün damar yapısına en uygun kazı yapabilme açısının yerinde tespit edilerek panonun uygun açıda kesecek şekilde kazılması sağlanmıştır. En iyi verim 33 derecelik kesme açısıyla sağlanmıştır.

Ocağın çok kısıtlı imkanlarıyla (yetersiz atölye ve ekipman) Yaklaşık vardiyada 5 metrelik bir ilerleme kaydedilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde, sistemi daha da geliştirmek amacıyla KOSGEB'e bir AR-GE projesi başvurusu yapılmış 2014 yılında kabul edilmiştir. Proje kabul edildikten sonra Muda Mühendislik firması Konya Ereğli de kurulmuş ve çalışmalarına başlamıştır. Uzun ön çalışmalar neticesinde ilk olarak kömür sabanı modelleri yapılmaya başlanmış daha sonra tahkimat sistemleri için çalışmalara başlanmıştır. İmalat sürecinden önce yapılacak ürünlerin planları çizildi ve çizilen planlar üzerinden Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde sonlu elamanlar yöntemi kullanılarak yapılan tahkimatların testleri yapılmıştır. Proje süresince, ince kömür damarları için 1 adet kömür sabanı ve 7 adet ince damarlar için (65-165 cm) olduğumuz yürüyen tahkimat sistemini tamamlanmıştır.

### 3.6. Tahkimatın Tanıtımı

Tasarlanan tahkimat sistemi ve kömür sabanı Maden Makineleri 2016 fuarında sergilenmiştir (Şekil 3.17.).



Şekil 3. 17. Üretilen Tahkimatın Maden 2016 Fuarında Tanıtımı

Maden 2016 fuarında Savana firması ile görüşülerek deneme çalışmaları için fikir birliğine varılmıştır. Savana firmasının Sorgun yeraltı kömür ocağında, geliştirilen yürüyen tahkimat sistemi ve kömür sabanı ile 11 metre uzunluğunda ve 50 metrelik bir panoda deneme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Prototip ürünün hem bilgisayar ortamındaki sanal testler ve laboratuvar testleri neticesinde elde edilen sonuçlara göre üretilen tahkimatın yeraltında denenmesinde bir sorun olmadığı belirlenmiştir. Deneyleerin ikinci aşaması olan saha deneyleri için yapılan çalışmalar ve analizler sonucunda Yozgat Sorgunda bulunan maden ocağı saha testleri için uygun bir ocak olduğu kanaatine varılmıştır. Bu ocak yöneticiler ile irtibata geçilerek gerekli izinler ve protokoller yapılarak saha incelemelerine başlanmıştır.

Savana Madencilige ait Yozgat ili Sorgun ilçesindeki ocakta öncelikle mevcut sistemin analizleri yapılmış mevcut sistem ve mekanize sisteme geçildikten sonraki kıyaslamalar yapılarak sistemin tanıtımı avantaj ve dezavantajları izah edilmiştir.

### 3.7. Savana Madencilikte Mevcut Klasik Sistemle Yapılan Üretim

50 metrelik bir ayakta vardiyada yapılan işler aşağıdaki şekillerle anlatılmıştır.

Vardiya I de ayak içerisinde işçilerin delik delmesiyle başlamaktadır. Delik delme işlemi kömürün yapısına göre usta işçiler tarafından kömürün sertliğine göre martoperfaratör yada helezon delicilerle yapılmaktadır. Usta ve bir yedekten oluşan ekip, 1 m have ilerlemesi yapacak kadar delik delmektedir. Yapılacak tahkimatlar vardiyada bir ekip başına en az iki sarma boyu yapacak şekilde planlanmaktadır. Sarmalar 4 metre uzunluğunda ağaç sarmalardan oluşmaktadır.



Şekil 3. 18. Aynaya deliklerin delinmesi



Delinen deliklerin doldurulması ve patlatılmasının ardından ayak 15 dakika havalandırılır (Şekil 3.19).



Şekil 3. 19. Deliklerin patlatılması ve ayak içi konveyöre aktarılması

Patlatılarak kazılan kömürün yarattığı boşluğu bir önceki sarmaların üzerinden kamalar sürerek tahkim edilmesi sağlanır (Şekil 3.20).



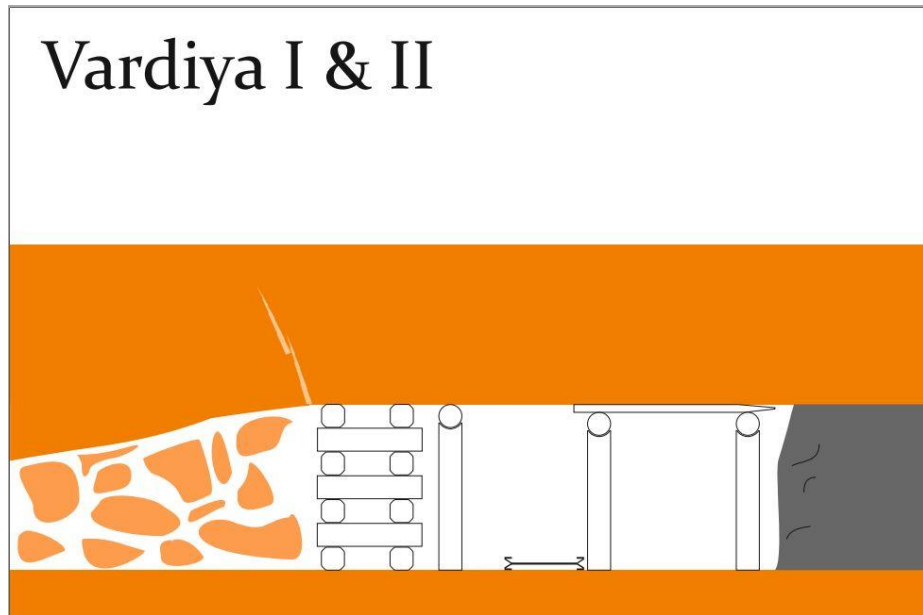
Şekil 3. 20. Aynada açılan boşluğun süren kamalarla tahkim edilmesi

Patlatması yapılan yerlerin tahkimatı sağlandıktan sonra ekipler yığılan kömürü konveyöre aktarılır (Şekil 3.21).



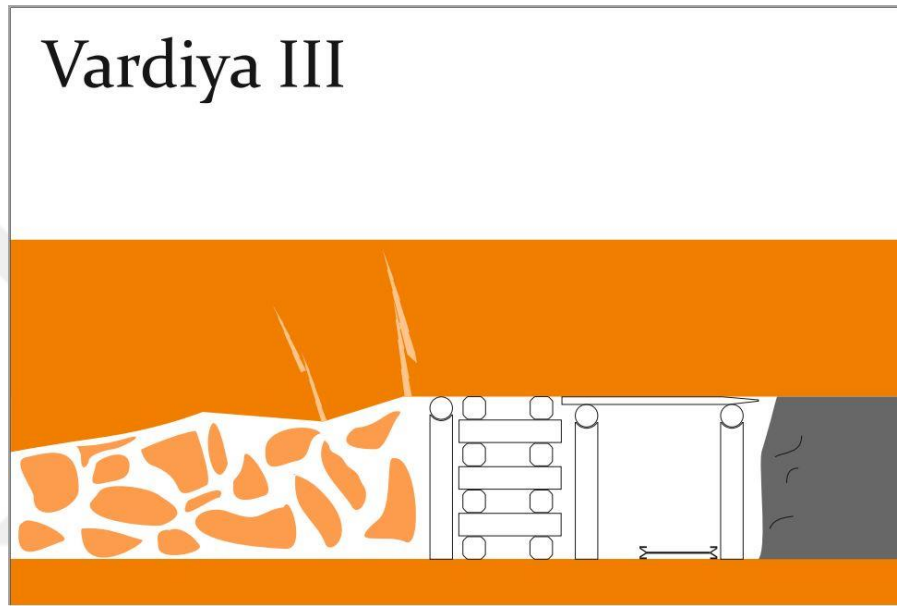
Şekil 3. 21. Kömürün konveyörle taşınması

Kamaları çekilen boşluğa daha sonra direk dipleri yapılmaktadır ve usta işçiler tarafından tavan taban yükseklikleri göz önüne alınarak direkler hazırlanmaktadır. Kurt ağzı şeklinde açılan direklerin üzerine sarmaları konulur ve tavan taşına takozlarla sıkıştırılır (Şekil 3.22).



Şekil 3. 22 Aynaya sarmaların ve direklerin yapılması

VI ve VII delme patlatma ve kazılan kömürün çıkartılması işlemlerini yaptıktan sonra VIII orta direğin arkasında kalan konveyörü dağıtarak tekrar ön direklerin arkasına taşıyıp montajını yapmaktadır. Daha sonra arkadaki domuz damları sökülerek bir metre ötelenmesi yapılır. Vardiyada 50 metrelik ayak içerisinde çalışan yaklaşık 6 ekiple iki vardiyada bir metrelik ilerleme sağlanır. Üçüncü vardiya ise ayak konveyörünü damları öteleyerek toplam bir metrelik have ilerlemesini üç vardiyada 40 işçi ile tamamlamış olur (Şekil 3.23).



Şekil 3. 23. Domuz damının sökülüp ayak arkasına yeniden kurulumu

### 3.8. Deneme Yapılacak Ayağın Tavan Yükü Hesaplamaları

Yürüyen Tahkimat sistemi üzerine gelmesi beklenen basınç-yük miktarlarının tahmini için nümerik bir çalışma yapılmıştır. Literatürde kabul gören bazı eşitliklere göre tahkimat sistemi üzerine gelmesi beklenen yük değerleri hesaplanmıştır. Bu eşitlikler tahkimata gelebilecek yük-basınç miktarı tahmininde literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat tahkimat üzerine gelen yükleri net olarak (yüksek doğrulukla) tahmin edebilmek için tahkimatın yerleştirileceği bölgenin jeolojik (su durumu, dolgu, süreksizlikler vb) özelliklerinin ve kayaç özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir. Başka bir ifade ile kaya madde ve kütle özelliklerinin arazi ve laboratuvar ortamında yapılacak olan deneylerle belirlenerek, elde edilen bu verilere göre tahkimat yük analizlerinin yapılması daha doğru olacaktır.

Projede kullanılmak üzere dizayn edilmiş olan yürüyen tahkimat prototipinin 1 m damar yüksekliğine sahip bir kömür madeninde karşılaşacağı basınç ve yük miktarları aşağıda belirlenmiştir. Ayrıca yürüyen tahkimat ünitesinde kullanılan hidrolik silindirlerin taşınması gereken yük miktarları da hesaplanmıştır.

### 3.8.1. Yürüyen Tahkimatlar İçin Arazi Yüğü Hesapları

Aşağıda yürüyen tahkimat üniteleri üzerine gelecek olan yükleri tahmin etmek için geliştirilmiş olan bazı formüller ile hesaplamalar yapılmıştır.

#### 3.8.1.1. Alman Sistemi

$$F_{max} = 5nm$$

$F_{max}$  = tahkimatın maksimum taşıma kapasitesi  
 $n$  = Güvenlik Katsayısı (Genellikle 2 olarak alınır)  
 $m$  = Damar Kalınlığı (m)

$$F_{max} = 5 * 2 * 1.5$$

$$F_{max} = 15 \text{ ton/m}^2$$

#### 3.8.1.2. Polonya Sistemi

$$P_0 = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{F} * n$$

$P_0$  = Ortalama taşıma kapasitesi, her  $m^2$  başına düşen ton

$P_1$  = bir ünitenin nominal taşıma yükü (ton)

$P_2$  = ilerlerken üzerine gelen yük (ton), sıfır alınır

$P_3$  = ayarlanan taşıma yükü (ön yükleme), ton

$F$  = üç tahkimat tarafından kaplanmış kazı yüzeyi alanı, ( $m^2$ ) :  $3,5m * 1,5 * 3$

$n$  = tahkimatın verimlilik faktörü, (genellikle 0,8 alınır)

$P_1 = 50 * 2 = 100$  ton

$P_3 = 31,4$  (200 bar ön yükleme uygulandığında oluşacak yük) \* 2 = 62,8 ton

$$P_0 = \frac{100 + 0 + 62,8}{15,75} * 0,8$$

$$P_0 = 8,27 \text{ t/m}^2$$

### 3.8.1.3. İngiliz Sistemi

$$F_{min} = \gamma * h_{im} = \gamma \frac{m}{K - 1}$$

$h_{im}$  =immediate (en yakın tavan-taşınması gereken tavan yüksekliği-yalancı tavan), m

K=Yalancı tavanın (immeditate) kabarma faktörü (genellikle 1,2 alınır)

m=Damar Kalınlığı (m)

$\gamma$ = İmmediate (yalancı tavanın) yoğunluğu

$$F_{min} = 2,5 \frac{1,5}{1,2 - 1}$$

Tahkimatın taşınması gereken minimum basınç miktarı

$$F_{min} = 18,5 \text{ ton/m}^2$$

### 3.8.1.4. Fransız Sistemi

$$K = (q * m)^{\frac{3}{4}} * H^{-\frac{1}{4}} * \left( \frac{6800}{P_a} + 66 \right)$$

Ortalama konverjans (mm/m) (1 m arın ilerlemesinde gözlenen konverjans)

$$K=30+10*m=30+10*1=40 \text{ mm/m}$$

m=damar kalınlığı (m)

q=çökme faktörü (göçertmeli yöntem için= 1)

H=yüzeyden derinlik (100-1000 m arasında)

$P_a$ =yürüyen tahkimatın yük taşıma kapasitesi, kazı yüzeyinin her 1 metresi başına düşen ağırlık (ton)

Buna göre;

$$40 = (1 * 1)^{\frac{3}{4}} * 200^{-\frac{1}{4}} * \left( \frac{6800}{P_a} + 66 \right)$$

$$38=01*0,266*\left(\frac{6800}{P_a} + 66\right)$$

$P_a=80,59 \text{ ton/m}$

Kazı yüzeyinin her 1 metresi başına taşınması gereken yük:

**$P_a= 80,59 \text{ ton/m}$**

### 3.8.1.5. Yehia Formülü

$$P_s = 0,95 * \left( \frac{Q * W * M * L^{0,75}}{C * Nb^{0,125}} \right)^{1,5}$$

$P_s$ = tahkimatın taşınması gereken kapasite

Q=dolgu faktörü (0,9-1,0 arasında)

W=damar kalınlığı (m)

M=Kaya tipine ve tavan taşına bağlı olarak değişir (10 m tavan yüksekliğine kadar olan zayıf kayalarda 140 alınır)

L=çalışma bölgesi genişliği, kazı yüzeyi ile göçük arasında kalan mesafe (m)

C=yalancı tavanın konverjansı, zayıf kayalarda ortalama 17,5 mm/m alınır.

Nb=yalancı tavanın üstündeki tabaka sayısı

$$P_s = 0,95 * \left( \frac{0,9 * 1 * 140 * 4^{0,75}}{17,5 * 1^{0,125}} \right)^{1,5}$$

**$P_s = 20,36 \text{ t/m}$**  (Kazı yüzeyinin her 1 metresi için tahkimatın taşınması gereken yük)

### 3.8.1.6. Amerikan Sistemi

$W=L*S*w.H$

W=Yalancı tavan (intermediate) ağırlığı (ton)

L=tahkimatın uzunluğu (m)

S=tahkimatlar arasındaki boşluk (m)

w=tavan taşının ortalama yoğunluğu ( $\text{ton/m}^3$ )

H=yalancı tavanın yüksekliği (m)

Tahkimat tarafından taşınması gereken yalancı tavanın yükü:

$W=4*1,5*2,5*10$

**$W= 150 \text{ ton}$**

### 3.8.1.7. Avusturya Sistemi

$$R_0 \geq \frac{3}{4} * \frac{\beta}{n} * \frac{(d+e)^2}{k-1} * \frac{m}{d} * \gamma$$

$R_0$  =Yürüyen tahkimatta kullanılan hidrolik silindirlerden (kol) bir tanesinin taşıma kapasitesi (ton)

$\beta$  =azaltma faktörü (genellikle 0,9 alınır)

n= her 1 m’de kullanılan tahkimat sayısı

m=Damar Kalınlığı (m)

d=tahkimatın arkası ile önü arasındaki mesafe (m)

e=tahkimatın arkası ile ön taraftaki tahkimatsız mesafe arası (m)

k=Yakın tavanın (immeditate) kabarma faktörü (genellikle 1,2 alınır)

$$R_0 \geq \frac{3}{4} * \frac{0,9}{1} * \frac{(4+0)^2}{1,2-1} * \frac{1,5}{2} * 2,5$$

$R_0 \geq 101,25 \text{ ton}$  (1 hidrolik pistonun taşınması gereken yük)

Yürüyen tahkimat iki pistonlu olduğu için;  $2*101,25= 202,5 \text{ ton}$

Buna göre yürüyen tahkimat 202,5 ton’dan daha fazla yükü taşıyabilecek şekilde dizayn edilmelidir.

Tahkimatın taşıyabileceği maksimum yük testleri bölüm 3.4. de izah edilen test sonuçlarına göre, hesaplanan maksimum yükleri (202,5ton) taşıyabilecek olduğu görülmüş ve tahkimatların yeraltında denenme sürecine başlanmıştır.

### 3.9. Yürüyen Tahkimatların Ayağa Götürülmesi ve Yerleştirilmesi

Yozgat Sorgun’da bulunan yeraltı kömür ocağında 11 metre uzunluğunda bir deneme ayağı oluşturarak yürüyen tahkimat sisteminin deneylerine başlanmıştır. Deneylerin gerçekleştirileceği ocakta kömür kalınlığı 110-150 cm kalınlığında olmasından dolayı tahkimatın maksimum kapanma ve maksimum açılma oranları değiştirilmiştir. Yürüyen tahkimatların tabanına 40 cm’lik ilave bir sistem eklenerek kapanımları 95 cm’ye açılımları da 175 cm’ye çıkartılmıştır.

Tahkimatların tadilat işleri bittikten sonra tahkimatlar Savana Madencilik’e taşınıp karo sahasına indirildi, burada da son testler yapılırken ocak içerisinde

geçirilecek güzergahların tespiti yapıp taşıma sistemi için çalışmalara başlanmıştır (Şekil 3.24). Ocakta malzeme nakliyesi için vagonlu sistem kullanıyor olduğu için tahkimatları taşımada kullanmak üzere eski vagonlardan bir taşıyıcı vagon imal edilmiştir.



**Şekil 3. 24.** Savana Madencilik karo sahasına makineler son testler

Tahkimatlar başarılı bir şekilde çalıştırılmış ve istenen sonuçları elde edilmiştir. Tahkimat ağırlıkları 4 ton, çift direkli leminiskat kalkan tipindedir. Tahkimatlar sürgülü tip ve ilerlemesi 100 cm olarak üretilmiştir (Şekil 3.25).

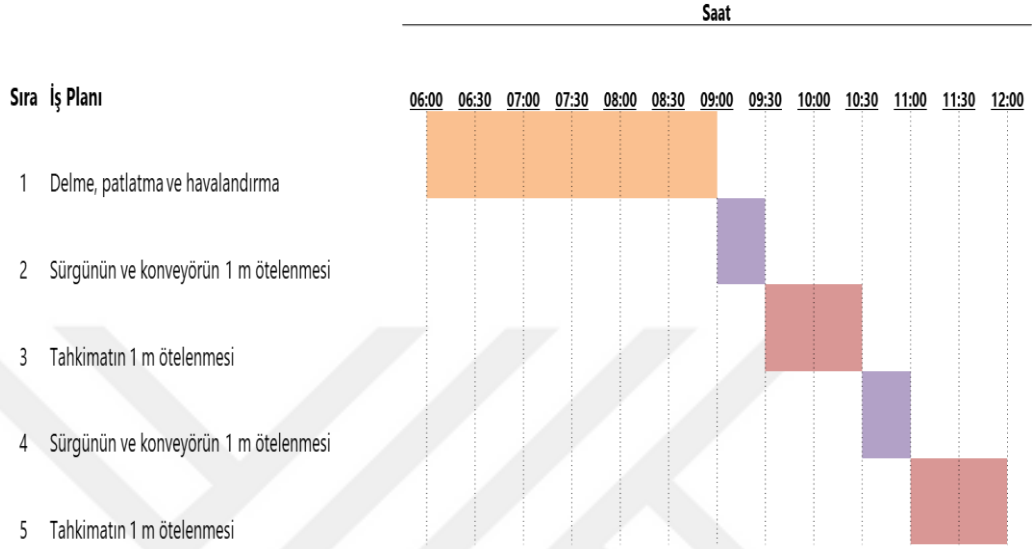


**Şekil 3. 25.** Yürüyen Tahkimatların Ocak İçerisine Taşınması



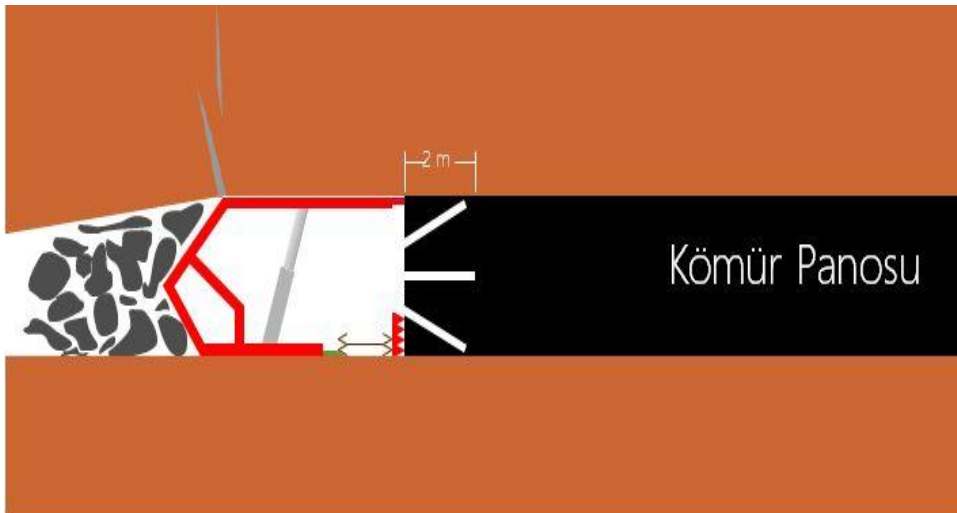
### 3.10. Yürüyen Tahkimat Ünitelerinin Çalıştırılması

Yürüyen tahkimat sistemiyle, iş organizasyon şeması ve tanıtımı da şu şekilde planlanmıştır (Şekil 3.26).



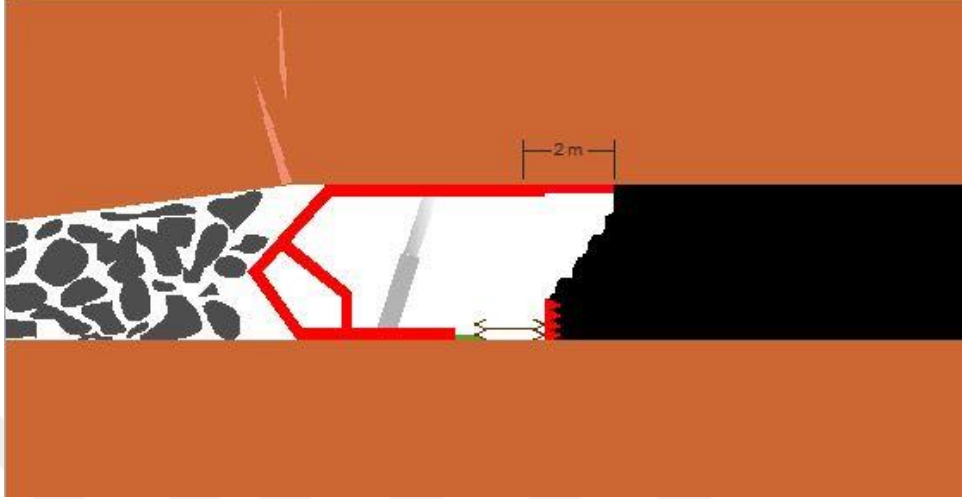
Şekil 3. 26. Yürüyen Tahkimatların İş Akış Planlaması

Tahkimat ve kazıcı yapıldıktan sonra ocak içerisindeki elektrik gücünün yeterli gelmemesinden dolayı kömür sabanı çalıştırılmayacağı anlaşılmış bunun yerine delme-patlatma yöntemiyle kazı seçilmiştir (Şekil 3.27).

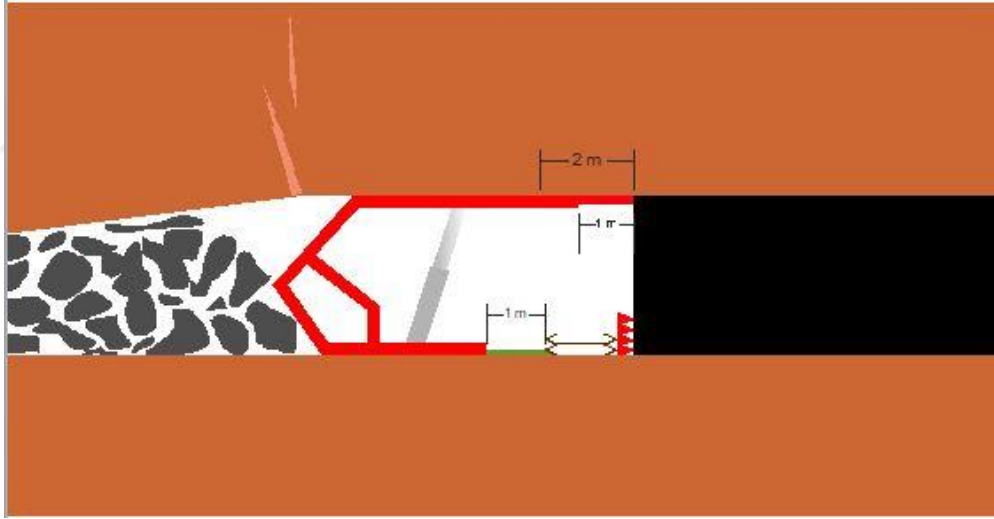


Şekil 3. 27. Aynaya İki Metrelik Deliklerin Delinmesi

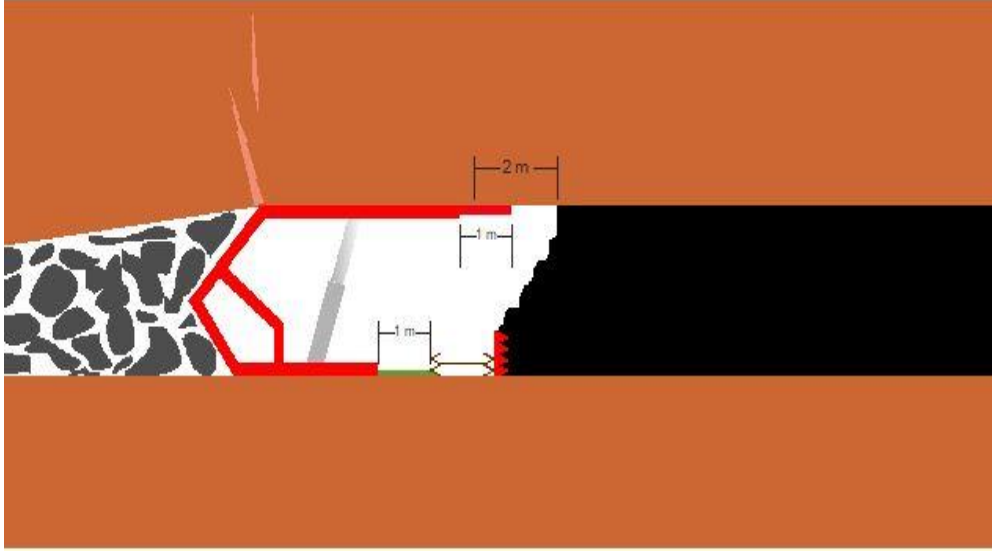
Dinamitlerin patlatılması ve ön sürgünün ilerletilmesi, patlatılan kömürün konveyöre yüklenmesi Şekil 3.28’de görülmektedir. Tahkimatların ve konveyörün ilerletilmesi ise sırasıyla Şekil 3.29, Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de sunulmuştur.



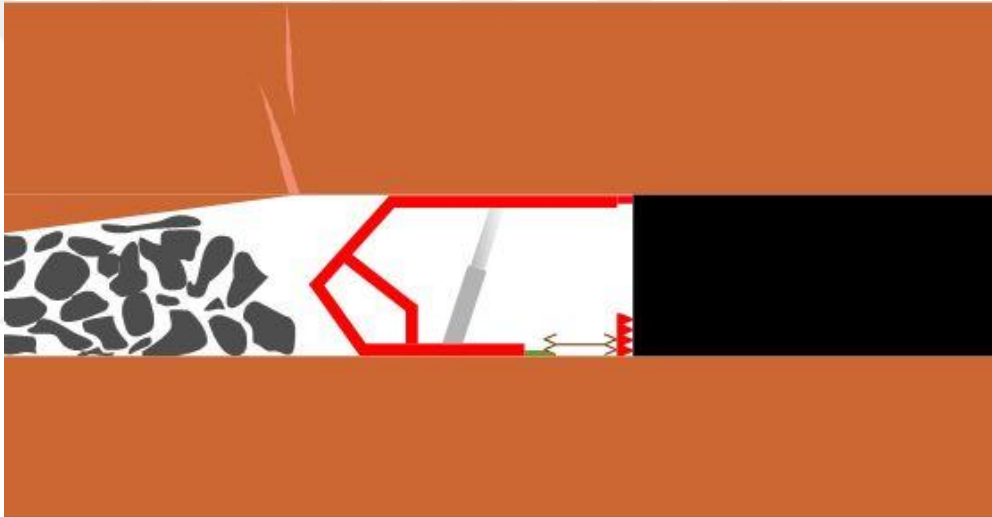
Şekil 3. 28. Patlatma sonrası Ön sürgünün sürülmesi ve patlatılan kömürün konveyöre yüklenmesi



Şekil 3. 29. Tahkimatın 1 metre ötelenmesi



Şekil 3. 30. Konveyörün 1 metre ilerletilmesi



Şekil 3. 31. Tahkimatın aynı vardiyada ikinci kez ilerletilmesi

Mekanize kazı tam anlamıyla faaliyete geçmese bile delme patlatma yoluyla vardiyada iki metrelik bir ilerleme yapılabileceği ön görülmüştür. Bu yöntemin başarılı olabilmesi için tavan taşının çok sağlam olması gereklidir. İlk aşamada iki metrelik delikler delinerek vardiyada iki metrelik bir ilerleme yapılması planlanmıştır. Yürüyen tahkimatların ön sürgü boyu bir metrelik olduğundan iki metrelik delik delinip patlatılması sonrasında ön sürgü bir metrelik yerini kapatabilecektir.

Yürüyen Tahkimatlar kurulan ayağın tavan taşının sağlam olmamasından dolayı delik boyları 2 metre olarak denenmiş fakat tavan taşının akmasından dolayı delik boyları 1 metreye düşürülmüştür. İlk aşamada planlanan vardiyada 2 metre ilerleme sağlanamamış, vardiyada 1 metrelik ilerleme başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Klasik sistemde üç vardiyada 1 metrelik ilerleme yapılabildiği göz önüne alınırsa vardiyada 1 metrelik ilerleme yapılması yürüyen tahkimat ünitelerinin ne kadar avantajlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. 32. Tahkimatların Yeraltında Çalıştırılmaları

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı Dünya’da yeraltı kömür madenciliğinde mekanizasyonun gelişimi ve Türkiye’de yapılan yeraltı mekanizasyon Ar-Ge çalışmalarının tasarımı ve uygulanmasıdır.

Bu çerçevede yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Yeraltı mekanizasyon sistemlerinin yurt dışında gelişim aşamaları araştırılmış, mevcut sistemlerin avantaj ve dezavantajlarının incelenmesi yapılmıştır.
- Yürüyen Tahkimat modeline karar verilme aşaması anlatılmıştır.
- Karar verilen iki direkli lemniskat tipi tahkimat modellerinin ve kömür kazıcı pulluğun tasarlanmasının araştırılması yapılmıştır.
- Projenin uygulanmasının mali açıdan yapılabilirliği araştırılmıştır.
- Proje finansman desteği olarak Kosgeb’e başvurulması yapılmış ve projelendirilmiştir.
- Kosgeb onayından sonra Yürüyen Tahkimat ve Pulluğun imalatı için yer seçilmesi ve projenin imalat aşamasına geçmesi sağlanmıştır.
- Yürüyen Tahkimat ve kazıcıların tasarımı bittikten sonra Konya Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm hocalarınca sonlu elemanlar yöntemiyle testlerinin yapılmasının ardından Yürüyen Tahkimatların ve Pulluğun imalatına geçilmiştir.
- Yürüyen Tahkimatları firma imkanlarıyla hidrolik pres altında test edilmiştir.
- Yürüyen Tahkimatların fuarda tanıtımı yapılmıştır.
- Tahkimatların ve kazıcının çalıştırılması için Savana Madencilik ile anlaşma yapılmıştır.
- Savana Madencilikte yer tespitinin yapılması ve yeraltına nakledilme yönteminin ve deneme ayağının yerlerinin belirlenmesi yapılmıştır.
- Yeraltına götürülen yürüyen tahkimat ve pulluk çalıştırmaya başlanmıştır.
- Yeraltına götürme ve çalıştırma esnasındaki problemler tespit edilerek makinenin geliştirilmesi için yeni düzenlemeler yapılmak üzere kayıt altına alınmıştır.
- Türkiye’de ilk kez yapılıyor olmasına rağmen proje vardiyada 1 metrelik ilerleme sağlanarak başarıyla sonuçlandırılmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Günümüzde artan nüfus, teknolojik gelişme ve üretim ihtiyacına paralel olarak tam mekanize üretim sistemi son yıllarda vazgeçilmez bir duruma gelmiştir. Özellikle enerjiye olan talebin gün geçtikçe artmasıyla, kömür üretiminin daha ekonomik ve büyük miktarlarda yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle, kömür üretiminde tam mekanize kazı sistemine geçiş süreci hızlanmış, hatta otomasyon sistemi kullanımına doğru bir eğilim gelişmiştir.

Ülkemizin enerji alanındaki dışa bağımlılığı yüksek orandadır ve cari açığın negatif yönde çıkmasında önemli rol oynamaktadır. Kömür üretimi ise bu açıdan bakıldığında sadece ekonomik değil, stratejik önemi bağlamında da değerlendirilmelidir.

Bazı işletmeler eski orta Avrupa ülkelerinden ikinci el tahkimatlar ya da Çin malı ürünlere yönelmektedir. Bu ürünler dünya genelinde revaçta olmayan eski tip ürünlerdir. Sonuçta, bu ürünlerin alımı neticesinde ülkemizden çok fazla döviz çıkışı olmakta buna karşın ürünlerden istenilen performans alınmamakta hatta bazen atıl olarak kalmaktadır.

Oysa “teknoloji” Türkiye maden işletmeciliğinin de en önemli konu başlığıdır. Üretim verimliliği, ekonomik kazanç ve iş güvenliği doğru, güncel ve ülke şartlarına uygun teknolojik yeniliklerle gerçekleştirilebilir. Bu nedenle ülkemizde maden makinalarının üretilmesi ve bu teknolojilere yapılan yatırımların desteklenmesi ülkemiz madenciliğinin gelişimine önemli katkılar sağlayacaktır.

Bu çalışmada tamamen yerli imkanlarla 7 adet üretilen tahkimatın testleri yapılmış ve yeraltına yerleştirilmeden önce Savana Madencilik’te deneme yapılacak panonun tavan yük hesapları yapılmıştır. Yapılan bu tavan yükü hesaplamalarının ardından tahkimatın bu yükü taşıyıp taşıyamayacağı testleri yapılmış, tahkimatların bu yükleri taşıyacağına kanaat edildikten sonra yerleştirileceği panoda incelemeler yapılmasının ardından denemelere geçilmiştir. Ocak galerileri mekanize sistemde çalışılacağı hesaplanarak açılmadığından panoya götürüp yerleştirme işleri çok uzun sürmüştür.

Ocak mühendisleriyle 4 aylık bir çalışma sonucunda yürüyen tahkimatların çalıştırılacağı pano seçilmiştir. Seçilen panonun yürüyen tahkimat ünitelerinin

galerilerden geçmesi için yapılan tarama çalışmalarının ardından vagon yollarının bakımları yapılmıştır. Taşıma işinde kullanılacak vagon yapıldıktan sonra taşıma işleri başlamıştır. Ocak ağzından yeraltında çalışacağı ayağa götürme işleri yaklaşık 90 gün sürmüştür. Ayak içerisine yerleştirilen tahkimatların hidrolik sistemleri bağlandıktan sonra kazı işleri başlamıştır. İlk dört metrelik ilerleme yapıldıktan sonra arka tavan taşının geçirmek için yürüyen tahkimatların arasındaki boşluklardan arkalara delikler delinerek dinamitle patlatma yapılmış ve arka tavan taşının göçertilmesi sağlanmıştır.

Yürüyen tahkimat üniteleri tek vardiya olarak çalıştırılmış ve ayakta 30 günlük bir çalışma sonunda 25 metre ilerleme sağlanmıştır. Çalışmaların ilk on günlük kısmında arka tavan taşının oturmaması ve tahkimat ünitelerinin ilk kez yeraltında deneniyor olmasından dolayı iki vardiyada bir metrelik ilerleme yapılabilmiş, daha sonraları tahkimat ünitelerinin kullanımı ve çalışma prensibine alışıkça vardiyada bir metrelik ilerleme sağlanmıştır. Bu çalışma tamamen ithal edilen yürüyen tahkimatların yerli imkanlarla üretilebileceğini göstermektedir.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışma kapsamında bahsedilen yürüyen tahkimat gibi sistemlerin geliştirilmesi ve ülke olarak maden makinaları üreticisi konumuna gelmemiz gerekmektedir. Bu bilgi birikimi, tecrübe ve yeterlilik ülkemizde bulunmakta olup geliştirilmesi ve üretilmesi için tüm paydaşların çaba göstermesi gereklidir. Son yıllarda, ülkemizde maden makinalarının üretimi hızlanmış olup bu hız kesilmeden devam ettiği sürece istenilen seviyelere ulaşılabacaktır.

Yeni teknolojinin elde edilme yolu Ar-Ge çalışmalarıdır. Bu nedenle kamu kurumlarının hem de özel teşebbüslerin Ar-Ge bütçeleri oluşturmaları ve destek almaları çok önemlidir.

Günümüz şartlarında yeni yatırımcıların ve mevcut işletmelerin kömür üretimi yapabilmelerinin neredeyse tek yolu tam mekanize sistemlerinin ülkemizde geliştirilmesinden geçmektedir. Teknoloji geliştikçe güvenli çalışma ortamı ve karlılık artmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Uzun Ayaklarda Tahkimat Esasları II- Çelik Tahkimat. (19-22 Şubat 1975). *Türkiye Madencilik Bilimsel Ve Teknik 4. Kongresi* .
- Ahıska, T., & Esen, H. (1987). Uzunayaklarda Yürüyen Tahkimat Sistemlerinin Gelişmesi ve Dizayn Karakteristikleri. *Madencilik, XXVI*, 5,18.
- Göçük, Ö. (1978). *Yozgat- Sorgun Linyit Sahası Fizibilite Etüdü*. Ankara: MTA Rezerv ve Jeoloji derleme No:6243.
- Kocaman, R., & Kocaman, B. (2015). Soma Eynez Bölgesindeki Yeraltı Ocaklarında Kullanılan Tahkimat Sistemlerinin Karşılaştırılması. *Türkiye 5. Uluslararası Maden Makinaları Sempozyumu ve Sergisi*. Eskişehir.
- Nakoman, E. (1975). *Bilfer Tic.San.LTD.ŞTİ'nin Sorgundaki ruhsatlı sahalarının jeolojik etüdü*. Ankara: MTA Kömür Arşivi No:106.
- (tarih yok). *OAL Ocaklarında Mekanize Tahkimat Esasları ve OAL'deki uygulamalar*. Ankara.
- Öğretmen, S. (2015). *Kalın Kömür Tabakalarında Yürüyen Tahkimatlardaki Basınçların Analizi ve Yük Tahminleri*. Eskişehir: Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi.
- Tatar, Ç., & Özfirat, M. (2003). *Uzunayaklarda Çelik Tahkimat*. İzmir: D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları No:3.
- Ünver, Ö., & Ersen, A. (1985). *Bey pazarı Tam Mekanize Yeraltı Linyit Projesi*. Türkiye Madencilik ve Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi, Ankara, 163-178
- Öğretmen, S. (2003), Ömerler mekanize uzunayakta yürüyen tahkimatlar üzerindeki basınçların analizi, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, s126.
- Şimşir, F., 2015, Underground mining methods. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Basımevi (DEU Publications).
- Tianhe, K., and Zhongming, J., 1999, Laws of coal-rock movement and derived support parameters for a fully mechanized sub-level caving face in a gently inclined seam. *International Mining & Minerals*, pp255-286.
- Peng S.S., 1998, What can a shield leg pressure tell us. *Coal Age*, 103, 3, pp54–57.
- Peng, S.S., Wu, J., Li, H.C. and Chen, S.L., 1986, How to determine yield load of longwall roof supports, *Coal Mining*, October, pp40-43.
- Peng, S.S., 2006, *Longwall Mining Second edition*, West Virginia University, USA.
- Peng, S.S., and Chiang, H.S., 1984, *Longwall Mining*, Jon Wiley & Sons Inc., USA.
- Trueman, R., v.d. 2009, Longwall roof control through a fundamental understanding of shield-strata interaction, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, V46, pp371-380.
- Wilson, A.H., 1975, Support requirements on longwall faces, *Min. Eng.*, pp479-488.
- Wittek, M., and Prusek, S., 2015, Numerical calculations of shield support stress based on laboratory test results, *Computers and Geotechnics*, 2016, V72, pp74-88.



- Konak, G., 1995, Measurements and evaluations of loads and convergences in underground coal mines with regard to roof control, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, İzmir.
- Birön, C., ve Arıoğlu, E., 1980, Madenlerde tahkimat işleri tasarımı, Birsen Kitapevi, İstanbul.
- Barczak, T.M. and Schwemmer, D.E, 1989, Two-Leg Longwall Shield Mechanics, Bureau of Mines report of investigations; 9220, USA



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Umut ÇETİNKAYA  
**Uyruğu** : TC  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Pınarbaşı 1978  
**Telefon** : 0 506 407 61 31  
**Faks** :  
**E-Posta** : umut@muda.com.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Pınarbaşı Lisesi	Pınarbaşı	KAYSERİ	1995
Üniversite	: Cumhuriyet Üniversitesi		SİVAS	2009
Yüksek Lisans	:			
Doktora	:			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2009	Az-yak linyit işletmeleri	Vardiya mühendisi
2013	İmbat madencilik	Vardiya mühendisi
2014	Muda Mühendislik	Ar-Ge mühendisi

### UZMANLIK ALANI

Yer altı kömür işletmeleri için tam mekanize,yarı mekanize sistem tasarımı.  
 Yeraltı üretim yöntemi seçimi,  
 Yeraltı Tahkimat tasarımı ve uygulanması  
 Maden ekonomisi

### YABANCI DİLLER

Orta düzey İngilizce

### YAYINLAR

ÜLKEMİZDE YERLİ İMKÂNLARLA ÜRETİLEN İLK KALKAN TİPİ YÜRÜYEN TAHKİMATIN ÜRETİMİ VE UYGULAMASI (IMCET 2019),