

# YÜKSEK BASINÇLI HAVA İLE KÖMÜR KAZISI

Nuri Ali AKÇIN  
Tuncer ÖZKAN

## ÖZET

Yüksek basınçlı hava ile kömür kazısı, özellikle kalın ve dik damarlarda uygulanan bir üretim yöntemidir. Bu tür damarlarda arakatlı göçertme yöntemiyle ekonomik ve güvenli olarak üretim yapılabilmektedir. Sistem; 6 kademeli pistonlu bir kompresör, yüksek basınca dayanıklı boru şebekesi ve delme-patlatma donanımından oluşmaktadır. Kompresörden elde edilen 845 bar (84,5 MPa) basınçtaki hava kömür damarı içinde açılan deliğe yerleştirilen delme-patlatma donanımından şok bir şekilde delik civarına verilmektedir. Bu şokun etkisiyle kömür damarında çatlaklar meydana gelmekte ve basınçlı havanın bu çatlaklar boyunca serbest yüzeye doğru ilerlemesiyle kömürün parçalanması sağlanmaktadır. Bu sistem altı yıldan beri Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda başarıyla uygulanmaktadır.

## 1. GİRİŞ

Yüksek basınçlı hava ile kömür kazısının tarihçesi 1930-1950'li yıllara dayanmaktadır. Bu yıllarda; ABD, Fransa ve İngiltere'de yatay ve kalınlığı fazla olmayan kömür damarlarında üretim yapmada kullanılmıştır. 1960'lı yıllarda bu tür damarlarda yüksek verimde ve daha ekonomik üretim yapma olanağı sağlayan mekanize kömür üretim yöntemlerinin (kesici-yükleyici ve sabanlar gibi) geliştirilmesiyle bu sistem terk edilmiştir. Ancak, Macarlar bu sistemi dik ve kalın damarlarda arakatlı-göçertme yöntemiyle üretim yapabilecek bir duruma getirmişlerdir. Sistem halen Macaristan, Slovenya, G. Kore, İspanya ve Ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizdeki uygulamalar, ülkemizin tek taşkömürü üreticisi konumunda olan Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) yeraltı ocaklarında yapılmaktadır. Sistem, Yeni Çeltek Kömür İşletmesi ocaklarında da denenmiş ancak sonuç alınamayınca terk edilmiştir.

TTK'nın üretim yapmakta olduğu Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda 1,4 Milyar tonluk bir kömür rezervi mevcuttur. Bu rezervin 1/3'ü kalın ve dik damarlarda toplanmaktadır. 1992 yılına kadar bu damarlarda emek yoğun, yüksek maliyetli ve üretim kayıplarının çok yüksek olduğu karatumba ve dişli ayak gibi klasik yöntemlerle üretim yapılmıştır. 1992 yılında havzanın yeniden yapılanması ve modernizasyonu çalışmaları doğrultusunda bu tip damarlarda kazı yapmak üzere Hava Patlatmalı Kazı Sistemi (HPKS) pilot olarak denenmiştir. Macar bir ekip tarafından yapılan bu ilk uygulama Mart 1992'deki grizu patlaması nedeniyle sonuçlandırılmamıştır. Sistem daha sonra TTK'ya bağlı Karadon, Üzülmüş ve yeniden Kozlu Müesseselerinde uygulamaya konulmuştur. Halen 11 üretim panosunda bu yöntemle çalışılmaktadır. TTK'nın 1998 yılı toplam üretimi 2,8 Milyon tondur. Bunun %12,1'lik kısmı hava patlatmalı kazı sistemiyle gerçekleşmiştir. Önümüzdeki beş yıllık dönemde bu payın %40-45'e çıkartılması hedeflenmektedir.

## 2. HAVA PATLATMALI KAZI DONANIMI

Bu sistem basınçlı hava ile kömür parçalama esasına dayanmaktadır. Hem delik delme ve hem de patlatma işleminde kullanılan özel tijler içinde depolanan yüksek basınçlı hava şok bir şekilde kömür damarına verilmektedir. Kömür damarında bu şokun etkisiyle çatlaklar meydana gelmekte ve basınçlı

havanın bu çatlaklar boyunca serbest yüzeye doğru ilerlemesiyle kazılacak kömürün parçalanması (gevşemesi) sağlanmaktadır.

Hava patlatmalı kazı donanımı;

- 6 kademeli özel bir kompresör,
- boru şebekesi ve aksesuarları,
- delme / patlatma donanımından oluşmaktadır (1).

## 2.1. Yüksek Basınç Kompresörü

Sistemde kullanılan kompresör, dakikada 84,5 MPa (845 bar) basıçta 2,5 m<sup>3</sup> havayı şebekeye beslemektedir. Kompresör 6 kademeli ve pistonludur (Şekil 1.). Kademelerle ilgili bazı veriler Tablo 1'de verilmiştir. Kompresörün politropik P - V diyagramı da Şekil 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Altı Kademeli Kompresörün Verileri

Kademe	1	2	3	4	5	6
Silindir Çapı (mm)	254	146	117	66	38	22
Piston Yolu (mm)	114	114	63	63	63	63
Sıkıştırma Segmanı (ad.)	8	3	4	5	10	25
Normal Çalışma Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )	1,9	8,1	27	77	267	775
Max. Çalışma Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )	2,2	9,5	31,7	91,5	316	845

Krank mili devir sayısı 415 d/dak'dır ve sıkıştırma için gerekli güç 31 kW'dır. P - V diyagramına göre herbir kademe için gerekli güç; 3,5 - 7,0 - 5,5 - 6,63 - 5,63 ve 4,4 kW'tır. Kompresörün gerçek gücünü belirleyebilmek için randımanlarını gözönünde bulundurmak gerekir.

$$N_{ef} = \frac{N_T}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_d} \quad (1)$$

Burada;

- $N_{ef}$  : Kompresörün efektif gücü (kW),  
 $N_T$  : Toplam güç gereksinimi (31 kW)  
 $\eta_i$  : İndis randımanı (0,85 kabul edildi),  
 $\eta_m$  : Mekanik randıman (0,80 - 0,85; 0,82 kabul edildi),  
 $\eta_d$  : Çift helisel dişli çark randımanı (0,98 kabul edildi)'dir.

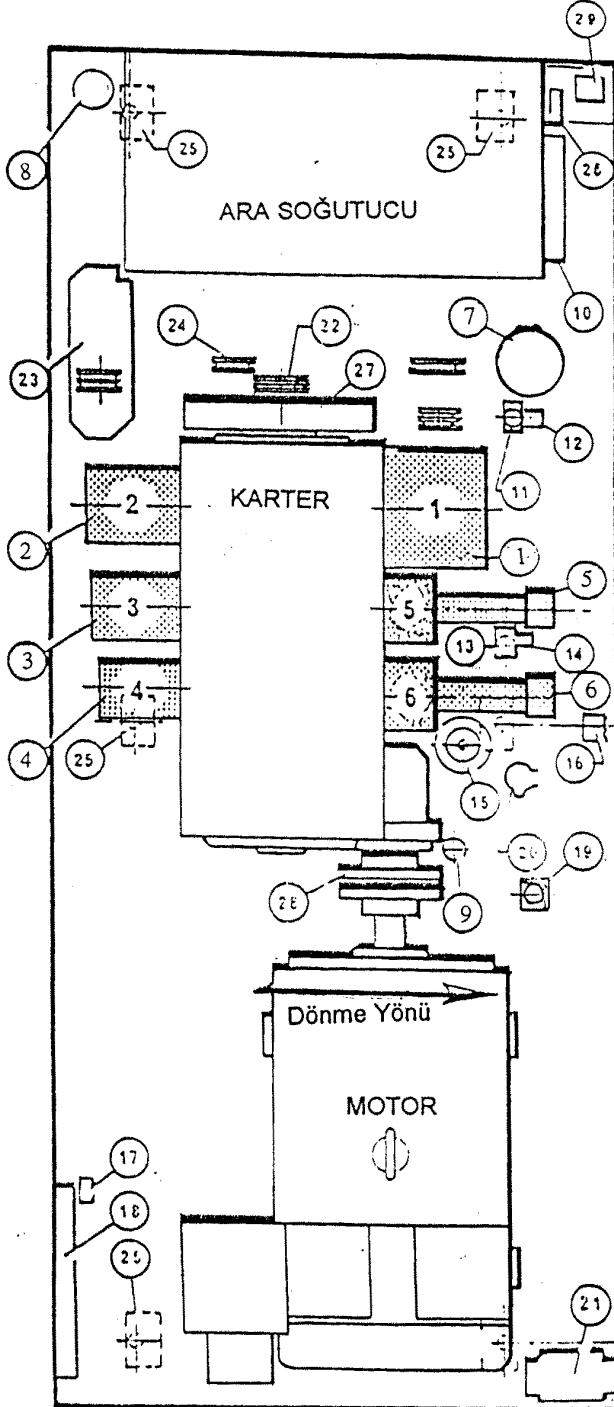
Bu formüle ve kabullere göre yapılan hesaplama ile kompresörün efektif gücünün 45,4 kW olduğu bulunmuştur.

Ara-kademelerdeki soğutma işlemi her birinin debisi 140 m<sup>3</sup>/dak. olan iki adet paralel vantilatör tarafından sağlanmaktadır. Vantilatörler için gerekli güç 2x3,8 kW'tır. Arasoğutucuların boruları bakır tüplerden yapılmıştır.

Kompresörde toplam gücü 2 kW olan dişli bir yağlama pompası ve bir mekanik yağlayıcı vardır. Dişli pompa karterden emdiği yağı 5,6 - 7,0 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişen basınçlarda yağ filtresinden geçirek krank miline, 1., 2., 3., 4. kademe pistonlarına ve 5. ile 6. kademe kroslarına pompalamaktadır. Mekanik yağlayıcı da 5. ve 6. kademe silindirlerini birbirinden bağımsız olarak direkt yağlamaktadır.

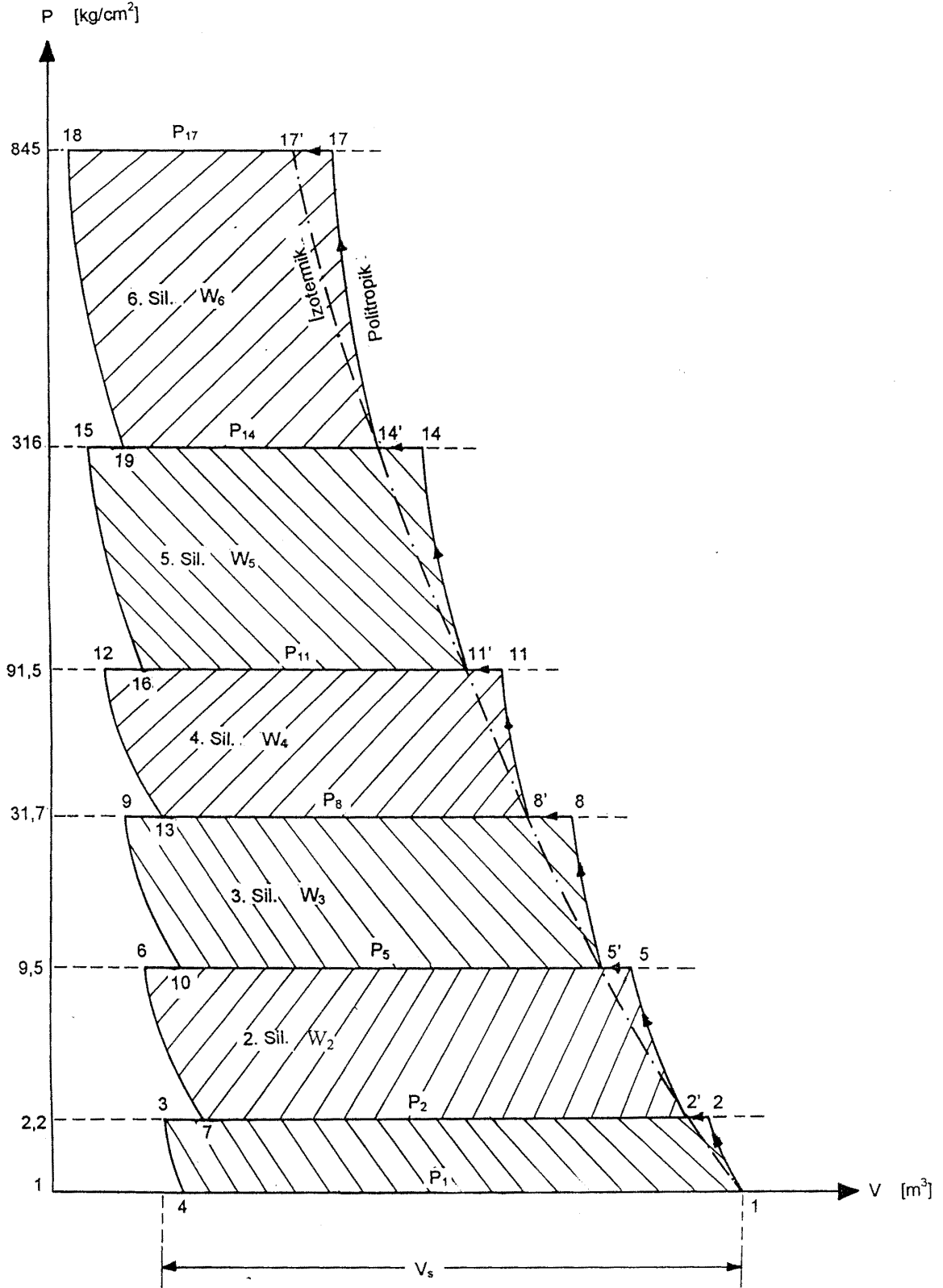
Tüm sistemi besleyen elektrik motorunun bazı verileri aşağıda verilmiştir:

Gücü; Kompresör için	= 45,4 kW
Soğutma için	= 7,6 kW
Yağlama Sistemi için	= 2,0 kW
Toplam	= 55,0 kW
Devir Sayısı	= 1450 d/dak.
Çalışma Gerilimi	= 550 V
Tipi	= Alsz (alev sızdırmaz)



1. 1. Kademe
2. 2. Kademe
3. 3. Kademe
4. 4. Kademe
5. 5. Kademe
6. 6. Kademe
7. Hava emme filtresi
8. 2. Kademe ayırıcı (Ayırma düzeni)
9. 3. Kademe kollektörü
10. 3. Kademe alıcı deposu (silindiri)
11. 4. Kademe emniyet valfi
12. 4. Kademe manometre damperi
13. 5. Kademe emniyet valfi
14. 5. Kademe filtresi (süzgeci)
15. 6. Kademe ayırıcı (Ayırma düzeni)
16. 6. Kademe filtresi (süzgeci)
17. 5. ve 6. Kademe manometre damperleri
18. Gösterge paneli
19. Çek-valf
20. Selenoid (Bobinli) valf
21. Boşaltma (Tahliye) düzeni
22. Yağ pompası tahrik kasnağı
23. Yağlayıcı ve yağ pompası
24. Vantilatör kasnağı
25. Temel plakaları
26. Disk patlatma ünitesi
27. Volan
28. Elastik kaplin
29. Çıkış valfi

Şekil 1. Kompresörün Genel Görünüşü



Şekil 2. Kompresörün Politropik P - V Diyagramı

Sisteme sürekli olarak yüksek basınçta hava verebilmek için kompresör otomatik şekilde kontrol edilmektedir. Basınçlı hava üretimi; basınç anahtarı ile çalışan ve özellikleri aşağıda verilen bir “Bourdon Tüpü” ne (kontaklı manometre) bağlıdır.

#### **Kontaklı Manometrenin Özellikleri :**

Üretici	: BOURDON SEDEME
Model	: MIX - 100 - d / CES 2 (alt ve üst kontaklı, ayarlanabilir)
Ölçüm Aralığı	: 0 - 1000 bar
Koruma	: IP65 (6: basınçlı suya duyarlı; 5: toza ve kimyasallara duyarlı)
Hassasiyet	: % 1,0
Kontakt Hassasiyeti	: % 2,3

Kompresörün çıkış basıncı önceden belirlenen bir seviyeye eriştiğinde (Max. 845 bar), Bourdon Tüpü elektrik motorunu durduran mikro anahtarı çalıştır. Basınç gene önceden belirlenen bir değer altına düştüğünde (genellikle 70 bar kadar) ikinci bir mikro anahtar da motoru yeniden çalıştırır.

Kompresörün otomatik olarak veya elle durdurulması durumunda; silindirler ve basınç borularında bulunan sıkışmış hava otomatik bir valf sistemi yardımıyla dışarıya bırakılmaktadır. Selenoid valf sisteminin enerjisi kesilince arakademelere bağlı valfler otomatik olarak açılmakta ve kompresör yeniden devreye girinceye kadar açık kalmaktadır.

Kompresör, ocak koşullarına göre yeraltına ya da yerüstüne yerleştirilebilir. Yeraltına yerleştirilecek kömpresörün elektirik donanımının alev sızdırmaz olması gerekir. Kompresör kuru ve soğuk havanın geçtiği temiz hava yollarına kurulmalıdır.

#### **2.2. Boru Şebekesi ve Aksesuarları**

Boru şebekesi; Cr - Mo alaşımlı özel çelikten yapılmıştır. Borular; Ø 25,4 mm x Ø 12,7 mm x 6 m boyutundadır. Boru şebekesi aynı zamanda depo görevi görür. Etkin bir patlatma için şebekenin 1100 -1200 m uzunluğunda olması tavsiye edilmektedir. Borular 140 MPa basınçta test edildikten sonra şebekeye takılır. Kompresör - şebeke bağlantısı uzunluğu en az 10 m olan Cu - Ni alaşımlı ve kolayca şekil verilebilen bir boruyla yapılmaktadır. Bu borunun dış çapı Ø 9,55 mm ve iç çapı Ø 4,7 mm'dir. Bu borular şebekedeki keskin dönüşlerde ve pano girişlerindeki kesit daralan yerlerde kullanılmaktadır (2).

Yapılan hesaplamalara göre kompresör, 1100 m uzunluğundaki bir boru şebekesini ortalama 54 dakikada doldurabilmektedir. 84,5 MPa basınçta hava ile dolu olan şebekede bir patlatma yapılırca basınç 50 MPa'la kadar düşmektedir. Kompresör 22 dakikalık bir çalışmayla basıncı tekrar 84,5 MPa basınca çıkartmaktadır.

Şebekede boru hatlarını bölümlendirmek ve kollara ayırmak için vidalı kapama valfleri mevcuttur. Ayrıca; özel boru bağlantıları, 30, 45, 60 ve 90<sup>0</sup>'lik özel dirsekler ile su ayırıcısı gibi elemanlar şebekeye takılmaktadır.

Şebekenin sonunda bir patlatma valfi ile şebekeyi delme-patlatma donanımına bağlayan bir patlatma hortumu mevcuttur. Patlatma valfi, patlatma işlemi sırasında delme-patlatma donanımına hava doldurulmasında kullanılır. Valfin üzerinde otomatik emniyet mandalı vardır. Eğer operatör elini valften çekerse valf kendiliğinden kapanmaktadır. Valfle, patlatma donanımı arasındaki bağlantı 98 MPa basınca dayanıklı, iki kat çelik tel örgülü Ø 16 x Ø 5 mm'lik kauçuk bir hortumla sağlanmaktadır.

#### **2.3. Delme - Patlatma Donanımı**

Uzun ve kısa olmak üzere iki tip delme - patlatma donanımı vardır. Her ikisinin de kullanım alanı ve uygulaması birbirinden farklıdır.

### 2.3.1. Kısa Patlatma Donanımı

Kısa üniteler 1,5 - 2,5 m uzunluğundadır (Şekil 3.). Bu üniteler uzun ayaklarda, taban yolu ve başyukarı ilerlemelerinde ve uzun patlatmadan sonra bırakılan topukların alınmasında kullanılır. Ayrıca; üretim sırasında tavandan gelen büyük kaya bloklarının parçalanmasında (patatlanmasında) kısa ünitelerden faydalanılır. Kısa ünitelerin parçalama etkisi içinde depolanan havanın basıncı ve hacmine bağlıdır. Basınç, tijin içine yerleştirilen ve kesildiği anda sistemi harekete geçiren kare kesitli plakanın kalınlığına bağlıdır. Kısa patlatmada kullanılan kesme plakalarının özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Kısa ünitelerin yerleştirileceği delikler kömür burgusu veya martoperforatörlerle önceden delinir. Ünite deliğe yerleştirildikten sonra bir valf yardımıyla yüksek basınçlı hava verilir ve bu esnada plakanın kesilmesiyle boşaltma penceresinden çıkan şok bir basınç dalgası parçalanmayı gerçekleştirir.

**Tablo 2.** Kısa Patlatma Ünitesi Kesme Plakasının Özellikleri (1)

Plaka No	Plaka Kalınlığı (mm)	Kesilme Basıncı (MPa)
1	1,8	60
2	1,5	53
3	1,2	36

### 2.3.2. Uzun Delme - Patlatma Ünitesi

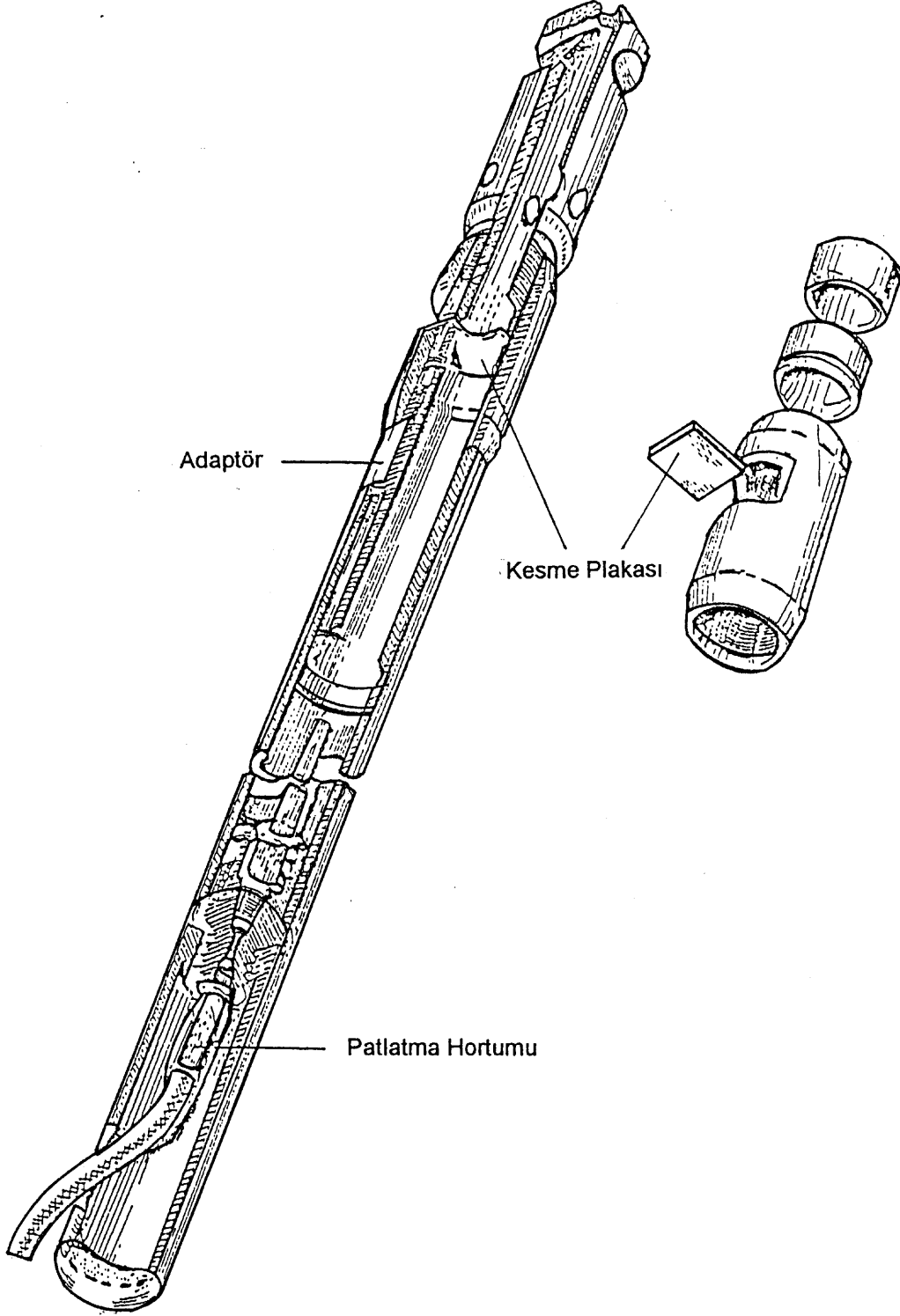
Bu ünite ile 20 - 30 m'ye kadar varan uzunlukta patlatma hatları oluşturulabilmektedir. Deliğin delinmesi ve patlatma işlemi aynı ekipmanla yapılmaktadır. Bir uzun delme - patlatma ünitesi aşağıdaki elemanlardan meydana gelmektedir (Şekil 4.):

- adaptör başlık ve delici uç
- delik boyuna göre yeterli sayıda patlatma (kırma) tiji
- başlatma tiji
- delik boyuna uygun yön ve uzatma tijleri
- hortum koruyucu
- diğer yardımcı elemanlar.

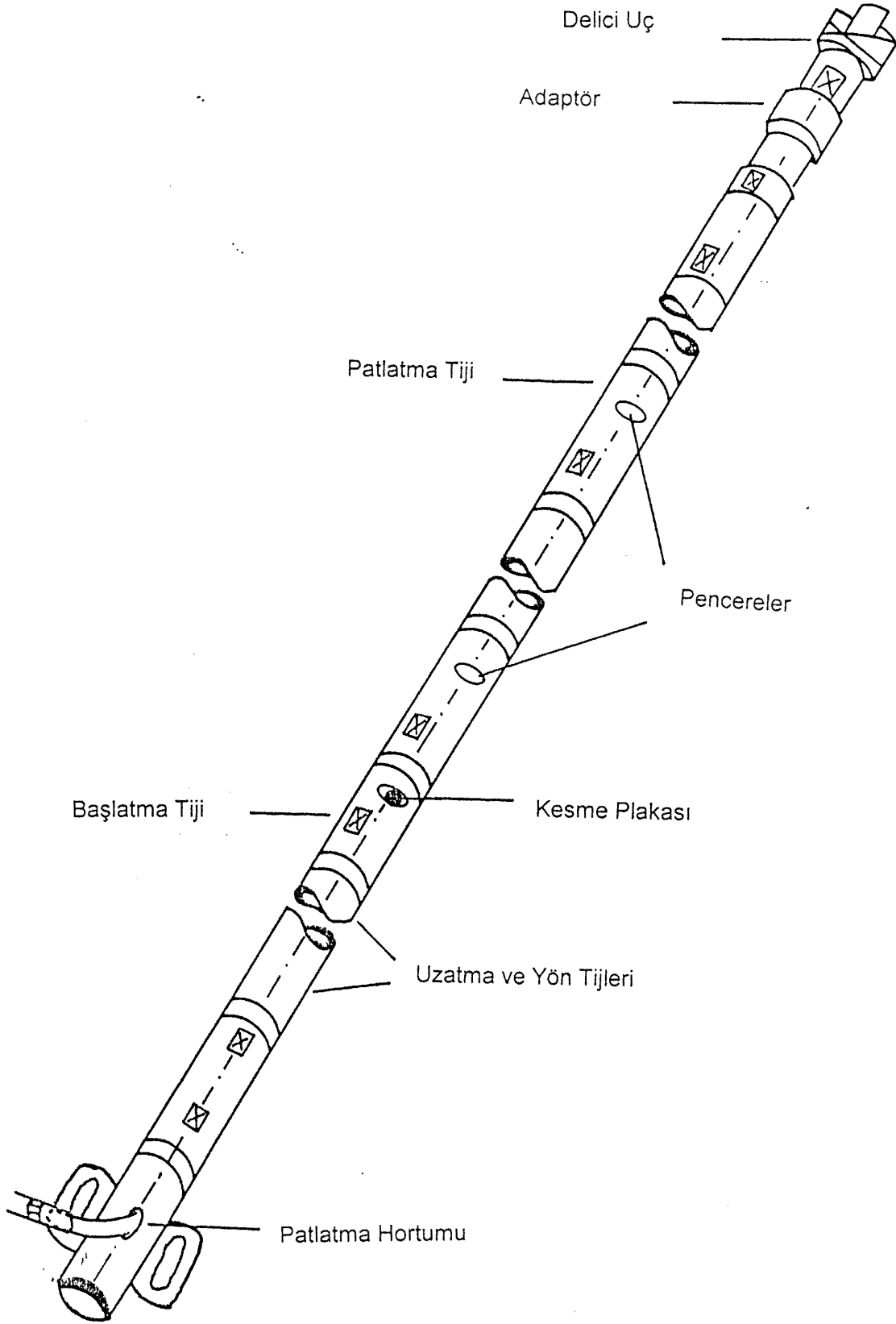
Uzun delme - patlatma donanımının yerleştirilebilmesi için basınçlı hava ile çalışan MAZ II / 2 - 5 Tipi bir sondaj makinası kullanılmaktadır. Delici uç 64 mm çapındadır ve bir adaptör başlıkla patlatma tijlerine bağlanmaktadır. Adaptör başlıkta bir yüksek basınçlı hava ve bir de kapama valfi vardır. Yüksek basınçlı hava valfinin birinci pozisyonunda delme işlemi yapılmakta ve ikinci pozisyonunda da patlatma işlemine geçilmektedir. Bu pozisyonda iken patlatma tijlerinin içine hava depolanmaya başlanmaktadır. Başlıktaki kapama valfi, sistemin döndürülmesiyle kumanda edilmektedir. Delme işlemi tamamlandıktan sonra patlatma işlemine geçileceği zaman delik içindeki donanım sağa doğru çevrilerek delikten 20 cm kadar geriye çekilmektedir. Bu esnada kapama valfi sistemi kapatmakta ve dolmuş için hazır hale getirmektedir. Kapama valfinin bir diğer görevi patlatma esnasında delik çevresinde oluşan basınç dalgasının etkisiyle donanımın geri hareketini önlemek ve başlığı korumaktır.

Patlatma (kırma) tijleri; 1,1 m boyundadır ve delik uzunluğuna göre peşi peşine takılmaktadır. Delik uzunluğunun 3/4'lük kısmı bu tijlerle geçilmektedir. Bu tijlerin içinde yaylı bir mekanizma yardımıyla hareket eden bir piston ile hava deposu ve bir de tijin üzerinde 800 mm<sup>2</sup> kesitinde patlatma penceresi vardır. Delik delinmesi sırasında yaylı piston pencereyi sızdırmaz bir şekilde kapatmaktadır. Her bir tij deliğe verilmeden önce sızdırmazlık testinden geçirilmelidir. Sızdıran bir tij patlatma verimini düşürmektedir. Tijler delme sırasında delme tiji görevini görmektedir. Patlatma işlemine geçilip adaptör başlık kapatıldıktan sonra tijlerin içine yüksek basınçlı hava depolanmaktadır. Başlatma tiji içindeki plaka kesilince sistemden bir miktar hava boşalmakta ve bu esnada patlatma tijleri içinde bulunan yaylı pistonlar yaklaşık 2 ms arayla geri çekilip pencerelerin sırayla açılmasını sağlamaktadır. Pencereler aniden açılınca da içeride depolanan basınçlı hava şok bir etkiyle delik çevresindeki kömürlerin parçalanmasını sağlamaktadır. Bu esnada, patlayıcı maddelerle kayacın parçalanmasında da bir patlama sesi ve sarsıntı meydana gelmektedir.

Başlatma tiji, patlatma işlemini başlatır. Tijin içindeki yuvaya yerleştirilen farklı kalınlıktaki kesme plakalarının basıncın etkisiyle kesilmesiyle sistem yukarıda belirtildiği gibi harekete geçer. Bir nevi kapsül görevini yerine getirir ve sistemi ateşler. Başlatma tiji, patlatma tijlerinin hemen arkasına takılır.



Şekil 3. Kısa Patlatma Ünitesi



Şekil 4. Uzun Delme – Patlatma Ünitesi



Plaka kesilince daha önce de belirtildiği gibi patlatma tijleri üzerindeki pencereler 2 ms arayla açılır. Çeşitli nedenlerle plaka kesilmediğinde sistem patlatma yapamaz ve tüm donanım delikten geri çekilerek yeniden yerleştirilir. Plaka kalınlığı; gevşetilecek kömürün özelliklerine, kazı kolaylığına, delik boyuna (tij sayısına) v.s. göre belirlenmektedir. St - 37 çelikten yapılmış olan dairesel kesitli plakaların özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Uzun Patlatma Ünitesi Kesme Plakasının Özellikleri (1)

Plaka No	Plaka Kalınlığı (mm)	Kesilme Basıncı (MPa)
1	1,2	65
2	1,3	70
3	1,4	75

Uzatma ve yön tijleri; patlatma tijlerini yeterince delik içine yerleştirebilmek ve patlatma pencerelerinin tümünün serbest yüzeye doğru yönlendirilmesini sağlamak için kullanılırlar. Delik uzunluğunun 1/3'ü bu tijlerle geçilir. Patlatma esnasında bu tijlerle geçilen kısımda herhangi bir parçalanma meydana gelmez. Bu kısım patlayıcı maddelerle yapılan patlatmadaki sıkılama görevini yapar. Topuk olarak (sıkılama olarak) kalan bu kısım daha sonra kısa patlatma ünitesi yardımıyla patlatılır. Zonguldak Havzası'nda bu kısmı parçalamak için sıvı karbondioksit tüpleri de (CARDOX) kullanılmaktadır.

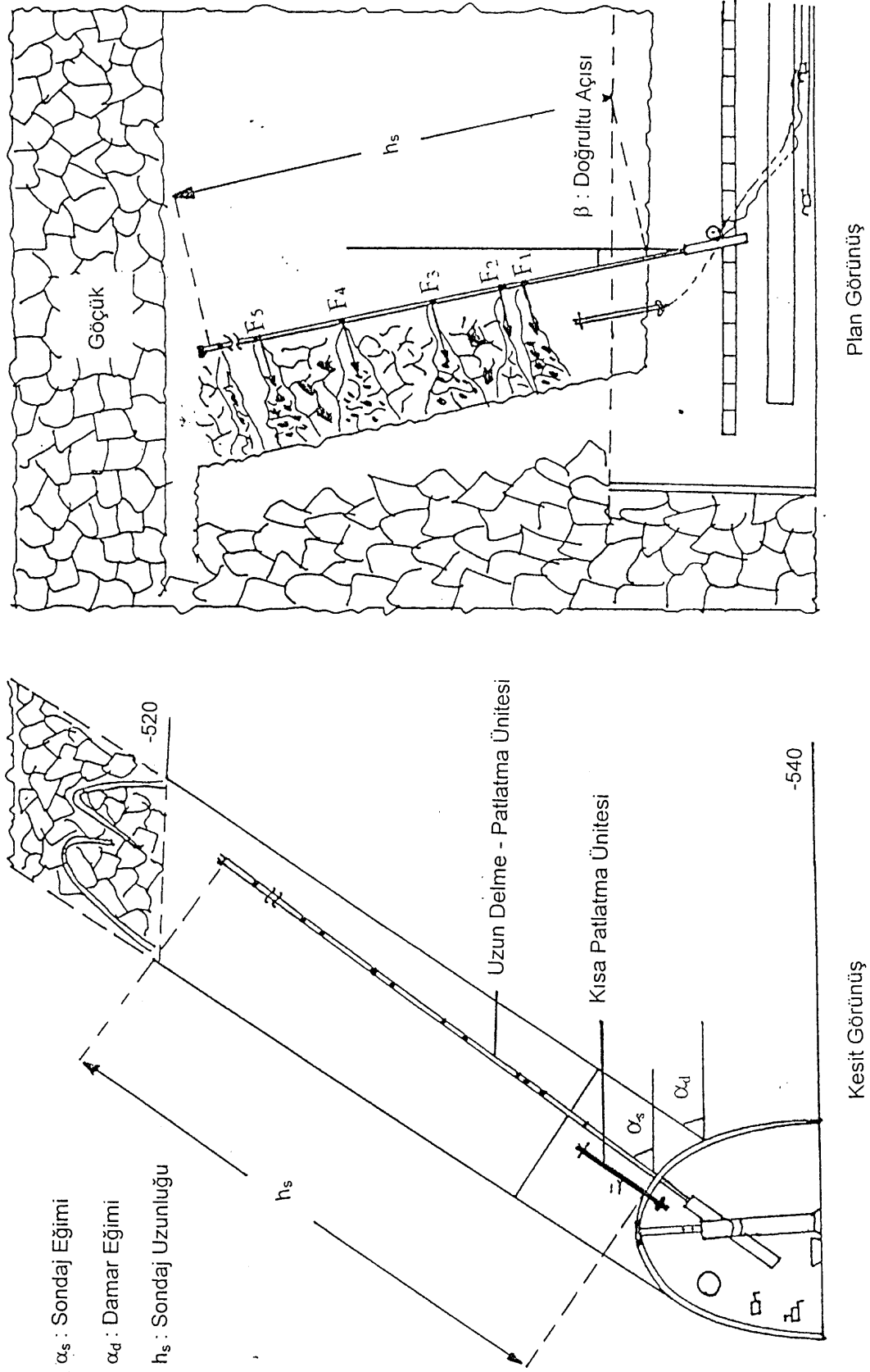
Hortum koruyucu; şebekeden gelen yüksek basınçlı havanın delme - patlatma ünitesine verilmesini sağlar. Patlatma valfinden gelen hortum, bu tijin üzerinde bulunan hortuma bağlanır. Bu tij delme - patlatma donanımının en sonuna takılır ve üzerinde bulunan iki halka yardımıyla tüm sistemin tahkimat elemanlarına asılması sağlanır. Sabitleme işleminden sonra patlatmaya geçilir.

### 3. SİSTEMİN KURULMASI VE PATLATMA İŞLEMİ

Uygulanacak üretim yöntemine göre; delik doğrultusu ve dilim genişliği belirlendikten sonra sondaj makinasının yerleştirileceği kızak kılavuz içince sabitlenir. Kızak üzerine monte edilen sondaj makinası da en az 3 noktadan zincirli gerdirmeler yardımıyla tahkimat elemanlarına bağlanır. Sondajın yönü ve doğrultusu belirlendikten sonra patlatma (kırma) tijlerinden birisi sondaj makinasına takılır ve bu tijin ucuna delici uçla adaptör başlık takılır. Sondaj makinası yardımıyla belirli sayıda patlatma tiji delik içine yerleştirilir.

İstenilen sayıda patlatma tiji deliğe verildikten sonra, başlatma tiji ve yön tijleri delik içine yerleştirilir. Tüm bu işlemler yapılırken bağlantılardan ve pencerelerden hava kaçığı olup olmadığı kontrol edilir. Delik delme işlemi bittikten sonra, sondaj makinasına bağlı tüm tijler yaklaşık 20 cm kadar geri çekilir ve delme yönünün tersi yönde bir tur döndürülür. Bu esnada adaptör başlıktaki kapatma valfi kapanır ve patlatma tijleri hava depolayacak konuma gelir. Adaptör başlık kapatıldıktan sonra hortum koruyucu en sondaki uzatma ve yön tijine bağlanır ve tüm pencerelerin serbest yüzeye (göçüğe) gelmesi için yönlendirme yapılır. Sistem halkalar yardımıyla tahkimat elemanlarına bağlanır.

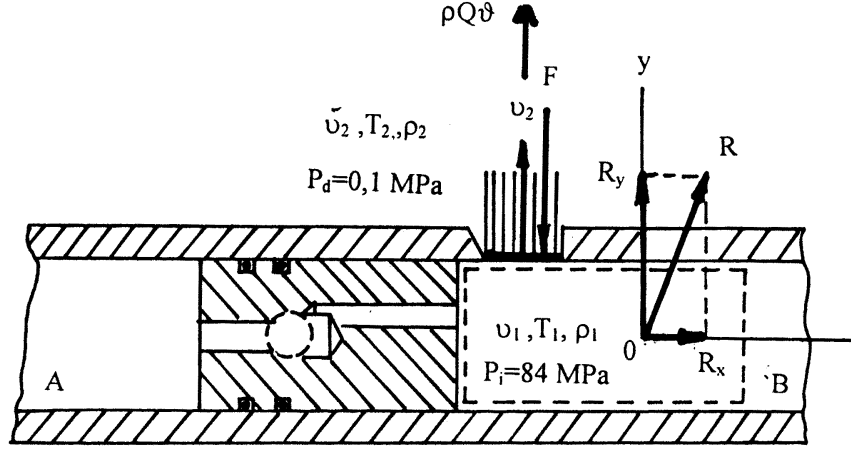
Patlatma yapılacak kısımda kimsenin kalmadığından emin olunduktan ve gerekli kontroller yapıldıktan sonra patlatma valfi ile bağlantı yapıp, patlatma işine geçilir. Valfin kolu aşağıya doğru çekilirken bir yandan da manometreden hava basıncı izlenir. Başlatma ünitesi içindeki kesme plakası, basıncın etkisiyle kesildiği anda patlatma işlemi başlamış olur. Tijlerin üzerindeki pencereler sırayla açılıp delik hattı boyunca kırılmayı sağlar (Şekil 5.). Patlatmadan sonra kol yavaşça bırakılır. Bağlantı hortumu ve delik içindeki tijler sırayla sökülür. Daha sonra da yön tijleriyle geçilen ve topuk olarak bırakılan kısımda kısa patlatma yapılır ve gevşeyen kömür kılavuzdan alınmaya başlanır.



Şekil 5. Patlama Ünitelerinin Delik İçi Konumu ve Patlatma Açıları

#### 4. HAVA PATLATMALI KAZI SİSTEMİNİN MEKANIĞI

Başlatma tiji içindeki pul kesildiği anda açılan pencereden ne kadarlık bir tepki kuvvetinin ortaya çıktığı “**Hareket Miktarı Kuramı**” ile bulunabilir (3). Patlatma işlemine başlandığı anda tijlerin içinde kuramsal olarak 84 MPa ve pratikte 77,5 MPa basınçta hava dolmaktadır. Bu havanın  $v$  hızı ile kesit alanı  $A$  olan ( $800 \text{ mm}^2$ ) pencereden çıktığını ve kontrol yüzeyinin kesikli çizgi ile gösterildiğini kabul edelim (Şekil 6.). Basıncılı hava tarafından patlatma tijine verilen toplam kuvvet  $R$  ise tij içindeki kontrol yüzeyinden bu bölgeye  $R$  kuvveti etki eder.



Şekil 6. Basıncılı Havanın Pencereden Çıkışı ve Oluşan Kuvvetler (3)

Hareket Miktarı Kuramı'nın ifadesi; “**herhangi bir kontrol yüzeyi ile çevrili sabit ve imajiner bir kontrol bölgesine uygulanan dış kuvvetlerin toplamı bu bölge içinde birim zamanda hareket miktarındaki artma ile, birim zamanda bu bölgeden çıkan kuvvet miktarının toplamına eşittir**” şeklindedir (4,5). Bu kuram  $y$  eksenini boyunca yazılırsa kontrol bölgesine etki eden dış kuvvet;

$$\sum F_y = \sum (\rho v Q)_{ç_y} - \sum (\rho v Q)_{g_y} \quad (2)$$

bağıntısıyla bulunabilir.

Şekildeki kesikli çizgiyle çevrili kontrol bölgesine Hareket Miktarı Kuramı uygulanırsa;  $\rho v Q$  bölgeden birim zamanda çıkan hareket miktarını,  $F$  bölgeye tesir eden dış kuvveti gösterirse ve bölgeye birim zamanda giren kuvvet miktarı olmadığı için

$$F = A(P_i - P_d) \quad (3)$$

yazılabilir. Burada;

$A$  : kesit alanını,  
 $P_i$  : kontrol bölgesindeki iç basıncı,  
 $P_d$  : çevre basıncı (dış basıncı)

göstermektedir.  $F$  kuvvetinin yalnız basınçtan kaynaklandığı görülmektedir. Kontrol bölgesinde  $y$  eksenini boyunca oluşan tepki kuvveti için;

$$R_y - F = \rho v Q \quad (4)$$

yazılabilir. 3 nolu eşitlikteki  $F$  bu bağıntıda yerine konulursa

$$R_y = A(P_i - P_d) + \rho v Q \quad (5)$$

yazılabilir.

Kesit alanı A olan pencereden çıkan basınçlı havanın çıkış hızını bulmak için Bernoulli Eşitliğini oluşturmak gerekir. Bernoulli Eşitliği en genel haliyle;

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_d}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $v_1 = 0$  olduğu için çıkış hızı  $v_2$ ;

$$v_2^2 = \sqrt{2 \left( \frac{P_i}{\rho_1} - \frac{P_d}{\rho_2} \right)} \quad (7)$$

yazılabilir. Burada;  $\rho$  özgül küttedir. İdeal Gaz Kanunu'ndan hareket edilerek;

$$P_i \frac{1}{\rho_1} = RT \quad (8)$$

$$\rho_1 = \frac{P_i}{RT} \quad (9)$$

yazılabilir. Burada;

$$\begin{aligned} P_i &: 44 \text{ MPa} = 84.10^6 \text{ N/m}^2 \\ R &: 287 \text{ Nm/kg}^0\text{K} \text{ (gaz sabiti)} \\ T &: 273+20^0 \text{ C} = 293^0 \text{ K'dir (ortamın sıcaklığı)}. \end{aligned}$$

Değerler yerine konulursa;  $\rho \cong 1000 \text{ kg/m}^3$  olarak bulunur. Bu değer suyun özgül küttesine eşittir. 0,1 MPa olan çevre basıncı 84 MPa olan iç basınç yanında ihmal edildiğinde 7 nolu eşitlik;

$$v_2 = \sqrt{2 \left( \frac{P_i}{\rho_1} \right)} \quad (10)$$

şeklini alır. Değerler yerine konulursa  $v_2 \cong 410 \text{ m/s}$  olarak bulunur. Bu değer ses hızından yüksek olduğu için süpersonik bir hızdır.

Hız bulunduktan sonra patlatma ünitesinde oluşan tepki kuvveti  $R_y$  hesaplanabilir.

$$R_y = A(P_i - P_d) + \rho_1 v Q \quad (11)$$

Bu bağıntıdaki çevre basıncı  $P_d$  ihmal edilirse;

$$R_y = AP_i + \rho_1 v Q \quad (12)$$

yazılabilir.

Tij üzerindeki patlatma penceresinin alanı  $A = 800 \text{ mm}^2$  'dir. Q ise bu kesitten geçen havanın debisidir. Debi için;

$$Q = Av \quad (13)$$

yazılınca, bağıntı;

$$R_y = AP_i + \rho_1 v^2 A \quad (14)$$

şeklini alır. Değerler yerine konulunca;

$$R_y = (800 \cdot 10^{-6})(84 \cdot 10^6) + (1000)(800 \cdot 10^{-6})(410^2)$$

$R_y \cong 201,7$  kN olarak bulunur. 13 nolu bağıntı biraz daha geliştirilip  $v^2$  yerine 10 nolu bağıntıdaki değeri yerine konulursa, bağıntı;

$$R_y = AP_i + \rho_1 A \frac{2P_i}{\rho_1} \quad (15)$$

$$R_y = 3AP_i \quad (16)$$

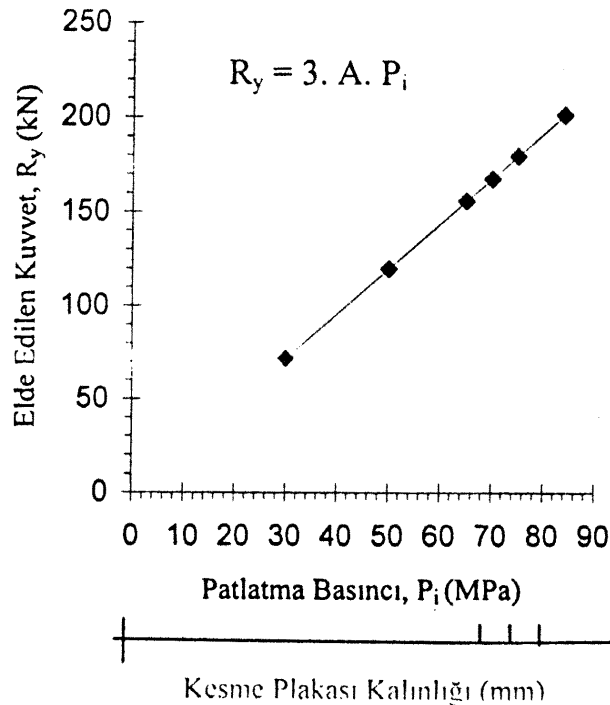
şeklinde yazılabilir. Tij üzerindeki pencerenin kesiti  $A = 800 \text{ mm}^2$  olarak sabit olduğu için bağıntı daha da basit bir şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$R_y = 0,0024AP_i \quad (17)$$

Bu hesaplamadan çıkartılan sonuçlar sistemin kullanımında yol gösterici ve yönlendirici olacaktır. Üretim yapılacak kömür damarının; eğimi, kalınlığı, tavan ve taban taşı özellikleri ile sertliği tesbit edildikten sonra nasıl bir patlatma düzeninin uygulanabileceği bu hesaplamayla ortaya konulacaktır. Sert kömürde kalın, yumuşak kömürlerde ise ince plakaların kullanılması söz konusudur. Bu hesaplamayla hangi plaka kullanılırsa ne kadarlık bir kuvvetin elde edilebileceği Tablo 4'de verilmiştir. Ayrıca, plaka kalınlığına göre olan değişim de Şekil 7'de gösterilmiştir (3).

**Tablo 4.** Patlatma Plakasının Kesilmesiyle Elde Edilen Kuvvetler (3)

Plaka No	Plaka Kalınlığı (mm)	Kesilme Basıncı (MPa)	Elde Edilen Kuvvet (kN)
1	1,2	65	156
2	1,3	70	168
3	1,4	75	180



**Şekil 7.** Patlatma Plakası Kalınlığı ve Kesilme Basıncına Göre Elde Edilebilecek Kuvvetler (3)

## 5. HAVA PATLATMALI KAZI SİSTEMİ İLE KÖMÜR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Hava patlatmalı kazı sisteminin çok yaygın bir uygulama alanı vardır. Bu teknoloji;

- taban yolu ve başyukarı ilerlemelerinde,
- oda-topuk yönteminde,
- uzun ayaklarda,
- kısa ayaklarda,
- mekanize ayaklarda, kalın damarlarda tavan kömürlerinin gevşetilmesinde ve kazı kolaylığı için ön gevşetme çalışmalarında,
- dik damarlarda arakatlı üretim yönteminde

kullanılmaktadır. Bunlardan uzun ayak ve arakatlı üretim yöntemleri daha yaygın ve daha etkin olarak uygulanmaktadır.

### 5.1. Uzun Ayak Uygulamaları

Sistemin uzun ayak uygulaması kısa patlatma üniteleri ile yapılmaktadır. Patlatma ünitelerinin yerleştirilme biçimine göre arına paralel ve arına dik olmak üzere iki farklı uygulaması vardır (Şekil 8.).

Arına dik uygulamada delikler, serbest yüzeye doğru  $60^{\circ}$ , tavan ve tabana doğru ise  $5 - 10^{\circ}$  'lik eğimle delinmektedir. Bir seferde yapılacak ilerleme miktarı 1 - 1,5 m arasında değişir. Delik delme işlemi arına dik olarak yapıldığı için daha kolaydır.

Arına paralel uygulama yapılabilmesi için arına paralel delik delmek üzere önceden cep hazırlanması gerekir. Bu yöntemde, daha geniş ve etkin bir serbest yüzey oluşturulabildiği için sert kömürlerde başarıyla uygulanmaktadır. Arına paralel uygulamada have genişliği 1,4 - 1,6 m olmakta ve delik boyları 1,6 - 1-8 m civarında tutulmaktadır. Uygulamanın en büyük dezavantajı yüklemde problemle karşılaşılması ve her patlatmadan önce delme malzemelerinin toplanması nedeniyle zaman kaybının çok olmasıdır. Bu yöntem Yeni Çeltik Kömür İşletmesi'nde denenmiş ancak kömür damarının yapısı nedeniyle başarılı olmamıştır (6). TTK'da uygulanmamaktadır.

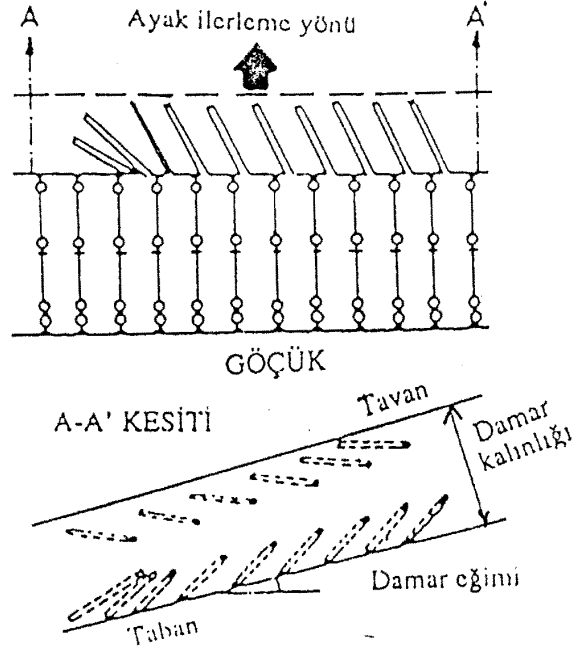
### 5.2. Arakatlı Üretim Yöntemi Uygulamaları

Kalın ve dik damarlarda arakatlı göçertme yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Arakatlar pano sınırlarına kadar sürüldükten sonra, arakatlar arasında askıya alınan kömür hava patlatmalı kazı sistemiyle gevşetilerek kazılmaktadır. Arakatlı göçertme yöntemi tek ve çift girişli olarak uygulanabilmektedir (Şekil 9.)(7).

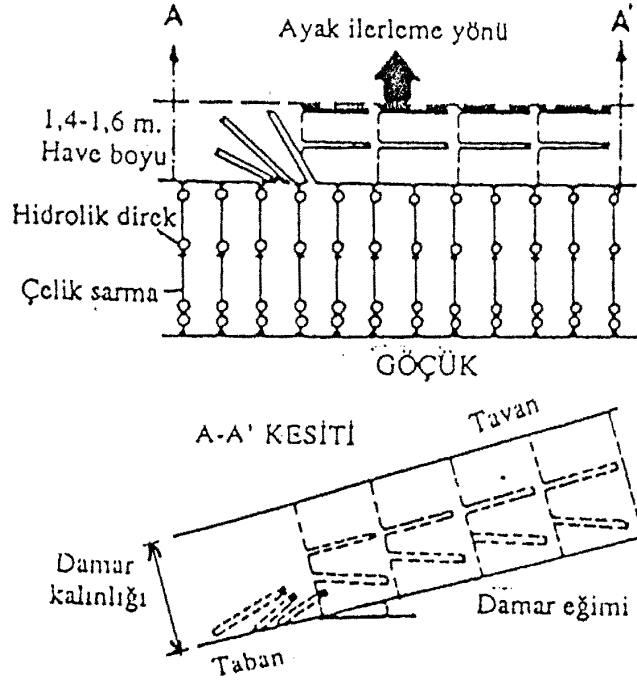
Tek girişli uygulamalarda, arakatlar pano sınırına kadar ulaştıktan sonra dönümlü olarak üretim yapılmaktadır. Bu sistemde havalandırma tali olarak gerçekleştirilmektedir. Arakatların uzunluğu 300 m kadar olabilmektedir. Tek kanattan veya çift kanattan üretim yapılması olanaklıdır. TTK'da tüm panolarda bu yöntemle üretim yapılmaktadır.

Çift girişli uygulamalarda, arakatlar pano sınırına kadar sürüldükten sonra, üretim yapılacak arakat bir alttaki arakatla pano sonunda bir başyukarı ile bağlanmaktadır. Bu başyukarı havalandırma ve herhangi bir kaza anında kaçamak yolu olarak kullanılmaktadır. İlerletimli, dönümlü veya bir kanat ilerletimli, bir kanat dönümlü çalışmak olanaklıdır.

Her iki tip uygulamada da pano sonundan bir serbest yüzey başyukarısı çıkılmakta ve basınçlı hava şebekesi döşenerek üretime geçilmektedir. Serbest yüzey başyukarısı geniş çaplı sondajla veya klasik baca tekniği ile açılabilir. Üretim, başyukarı kenarından başlamakta, arakatlar arasında askıya alınan kömür delme - patlatma üniteleriyle gevşetildikten sonra kontrollü olarak çekilmektedir. Patlatma yapılan yerdeki gevşeyen tüm kömürler çekildikten sonra yaklaşık 1 - 1,5 m geriden yeni bir patlatma yapılmaktadır. Bir arakattaki üretim faaliyetleri ana başyukarıya 15 m kalıncaya kadar sürdürülmektedir. Daha sonra da bir alt kata geçilmektedir.

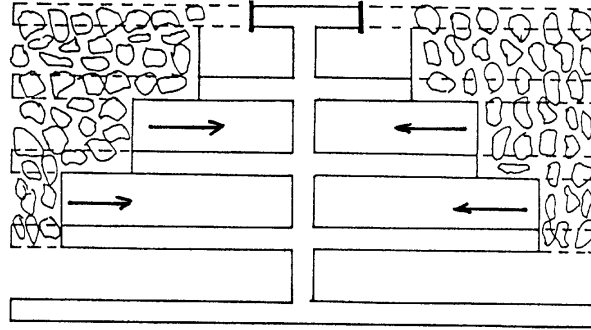
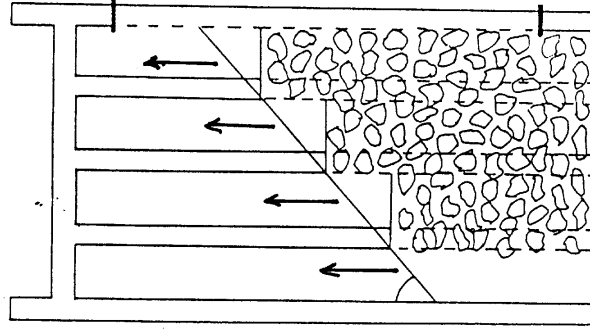


a). Arına Dik Uygulama

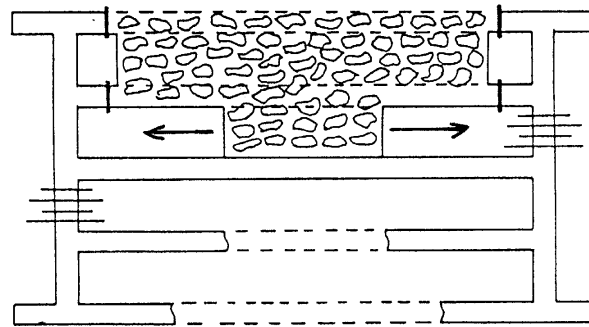
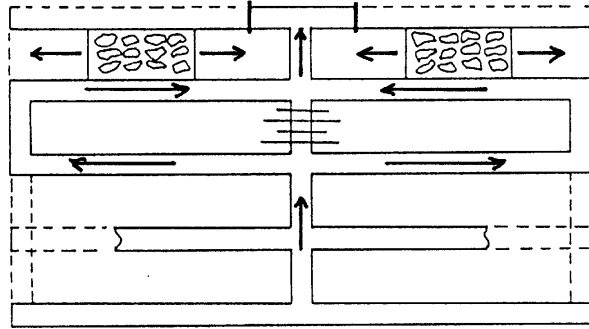


b). Arına Paralel Uygulama

Şekil 8. Hava Patlatmalı Kazı Sistemi Uzunayak Uygulamaları



a). Tek Girişli Pano Planı



b). Çift Girişli Pano Planı

Şekil 9. Tek ve Çift Girişli Arakartlı Göçertme Yöntemi Pano Planları



### 5.3. Hava Patlatmalı Kazı Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

Bu sistemin klasik yöntemlere göre sağladığı avantajlar aşağıda sıralanmıştır;

- üretim maliyetlerinde % 50'ye varan bir azalma söz konusudur,
- havada askıda kalan toz miktarı % 25 oranında azalmaktadır,
- ufalama oranı daha iyidir, parça kömür miktarı daha fazladır,
- % 2'ye varan metan oranlarında kullanılabilir, kullanılabilmektedir,
- patlayıcı madde olarak kabul edilmemektedir, bu da emniyet açısından olumludur,
- rezerv kazanma randımanı % 80'nin üzerindedir,
- işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından hiç bir sorun yoktur.

Sistemin en büyük dezavantajı, özellikle eski ocaklarda yeni yatırım yapılması zorunluluğudur. Bunun yanında klasik üretim yöntemlerine göre hazırlıkların daha uzun sürdüğü de bir gerçektir. 20 - 25 m aralıkta sürülen arakatlar ve başyukarılar bunda etken olmaktadır. İnce damarlarda arakatlar sürülürken taş kesilmesi, ilerlemeleri sınırlamakta ve maliyetleri artırmaktadır.

## 6. SONUÇ

Hava patlatmalı kazı sistemi eski bir teknolojidir. Ancak; tektonizma geçirmiş ve zor koşullarda üretim yapılan Zonguldak Havzası'nda başarıyla uygulanabilen bir sistemdir. TTK kömür üretiminin %12,1'ini bu yöntemle gerçekleştirmektedir ve önümüzdeki beş yıllık dönemde bu oranın %40-45'lere çıkartılması hedeflenmektedir. Damar koşulları nedeniyle Zonguldak Havzası'nda daha ileri kömür üretim teknolojilerinin uygulanma olasılığı oldukça sınırlıdır. Bu sistemin havza koşullarına göre gözden geçirilmesi ve daha verimli hale getirilmesi gerekir. Bu konudaki çalışmalar DPT tarafından desteklenen bir Teknolojik Araştırma Projesi kapsamında sürdürülmektedir. Bu proje kapsamında yapılan çalışmalar ve pilot uygulama sonucunda sistemin optimum uygulama koşulları ortaya konulmaya çalışılmaktadır. İşçi Sağlığı ve iş güvenliği açısından da çok büyük avantajları olan sistem çalışanlar tarafından da benimsenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Anon. Technical Documentation For The equipment For Breaking With High Pressure Air. 2M Mecsek Marketing Ltd., Hungary, 15 p. 1991.
- [2] Anon. General Mining Regulation Concerning Full Operation of The Know-How Equipment. 2M Mecsek Marketing Ltd., Hungary, 25 p. 1992.
- [3] AKÇIN, N. A. ve ÖZKAN, T. Hava Patlatmalı Kazı Sisteminin Mekaniği. 3. Delme ve Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.183-190., 1998.
- [4] ÖZGÜR, C. "Deneysel Hidromekanik", İTÜ Kütüphanesi, Sayı : 660, İstanbul, 1966.
- [5] ÖZGÜR, C. "Pratik Hidrolik Problemleri", İTÜ Matbaası, İstanbul, 1967.
- [6] ÜNVER, B. ve KARGI, M. A. Patlayıcılara Bir Alternatif, Yüksek Basıncılı Hava ile Patlatma ve Bir Uygulama, Türkiye 14. Madencilik Kong. Bil. Kitabı. s.107-114., 1995.
- [7] KEL, K. ve AKÇIN, N. A. Yüksek Basıncılı Hava Patlatmalı Kazı Sisteminin Optimum Uygulama Koşulları, Türkiye 15. Madencilik Kong. Bil. Kitabı, s. 45-52., 1997.

## ÖZGEÇMİŞ

### Nuri Ali AKÇIN

1954 yılı Karamanlı / BURDUR doğumludur. 1975 yılında İTÜ Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Maden Bölümü'nden Maden Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1977 yılında İTÜ Maden Fakültesi'nden Maden Yüksek Mühendisi ünvanını almıştır. 1977 - 1978 yıllarında Sümerbank Filyos Ateş Tuğlası Sanayi Müessesesi'nde işletme mühendisi olarak görev yapmıştır. 1978 yılı sonunda Zonguldak DMMA Maden Mühendisliği Bölümü'ne asistan olarak atanmıştır. Temmuz 1986'da İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Anabilim Dalı Maden İşletme Programından Doktor ünvanını almış ve halen Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Çalışmaları; Maden Makinaları, Mekanizasyon, Nakliyat, Hidrolik ve Pnömatik Kazı, Su Atımı alanlarında yoğunlaşmıştır. Bu alanlarda yayınlanmış eserleri bulunmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

### Tuncer ÖZKAN

1944 yılı Erzincan doğumludur. 1971 yılında İTÜ Makina Fakültesini Yüksek Mühendis olarak bitirmiştir. 1971 yılında EKİ Amasra Bölgesi yeraltı ocaklarına atanmıştır. Bu bölgede sırasıyla; bölge makina mühendisi, elektro-mekanik baş mühendisi ve müessese müdür yardımcılığı görevlerinde bulunmuştur. 1981 yılında EKİ Zonguldak Merkez Atelyeleri (MAZ) Şube Müdürlüğüne ve 1990 yılında da TTK Maden Makinaları Fabrika Müdürlüğüne atanmıştır. Halen aynı kurumda baş uzman olarak görev yapmaktadır. Makina Mühendisleri Odası Zonguldak Şubesi'nin ilk başkanlığını da yapmıştır. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Takım Tezgaahları, İmal Usulleri ve Proje dersleri vermektedir. Silindirik Sonsuz Vida - Çark Mekanizmaları, Helisel Alın Dişli - Çark Mekanizmaları ve Pelloid Spiral Konik Dişli Çarklar konusunda yayınlanmış üç kitabı vardır. Bir Dalgıç Elektro - Pompanın Hesabı ve Projelendirilmesi isimli kitabı da basım aşamasındadır. Hava Patlatmalı Kazı Sistemi konusunda da uzmandır.