ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Abdulkadir ÜRÜNVEREN

TÜRKİYE'DEKİ BAZI LİNYİT KÖMÜRÜ TOZLARININ PATLAMA TEHLİKESİNİN ANALİZİ VE KAMERA GÖRÜNTÜSÜ TABANLI PATLAYABİLİRLİK ÖLÇME SİSTEMİ İLE KONTROLÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2018

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ BAZI LİNYİT KÖMÜRÜ TOZLARININ PATLAMA TEHLİKESİNİN ANALİZİ VE KAMERA GÖRÜNTÜSÜ TABANLI PATLAYABİLİRLİK ÖLÇME SİSTEMİ İLE KONTROLÜ

Abdulkadir ÜRÜNVEREN

DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez / /2018 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

……	……	……...
Prof. Dr. Suphi URAL	Prof. Dr. Hasan ÇETİN	Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE
…….	……	
Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN	Dr. Öğr. Üyesi Bayram Ali MERT	
ÜYE	ÜYE	

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

ÖZ

DOKTORA TEZİ

TÜRKİYE'DEKİ BAZI LİNYİT KÖMÜRÜ TOZLARININ PATLAMA TEHLİKESİNİN ANALİZİ VE KAMERA GÖRÜNTÜSÜ TABANLI PATLAYABİLİRLİK ÖLÇME SİSTEMİ İLE KONTROLÜ

Abdulkadir ÜRÜNVEREN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Suphi URAL
Yıl: 2018, Sayfa: 223
Jüri : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ
: Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN
: Dr. Öğr. Üyesi Bayram Ali MERT

Bu çalışmanın amacı, yeraltı kömür madenlerinin, süreç ve depolama tesislerinin güvenli tasarımı ve işletilmesi için Afşin-Elbistan/Kahramanmaraş, Soma/Manisa ve Tunçbilek/Kütahya bölgelerinden temin edilen linyit kömür tozu örneklerinin patlayabilirlik özelliklerini belirleyerek iş güvenliği açısından toz patlamalarını önleyecek önerilerde bulunmaktır. Linyit kömürü toz örneklerinin patlama özelliklerinin incelenmesi 20-L Siwek küre test cihazı ile yapılmıştır. Maksimum Patlama Basıncı (P_{max}), Alt Patlama Limiti (LEL), Maksimum Patlama Basıncı Yükselme Oranı $(dp/dt)_{max}$ ve Toz Patlayabilirlik Sabiti ($K_{St)}$ değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar, incelenen linyit tozlarının uygun koşullar altında patlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca bu çalışma kapsamında, kömür tozlarının patlamalarını engellemek üzere uygulanmakta olan şistleme tekniğinin etkinliğini doğru ve hızlı bir şekilde ölçebilecek bir yöntem ve cihaz geliştirilmiştir. Geliştirilen kamera görüntüsü tabanlı sistemle yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla laboratuvarda elde edilen taş tozu-kömür tozu karışımlarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Cihaz %0,57 hassasiyetle taş tozu/kömür tozu oranını en geç beş dakika içinde belirleyebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kömür tozu, Patlama, Önleme, Patlayabilirlik Sabiti (K_{St}), Renk Ayrımı, Optik Yansıtma, Yapay Zekâ, GRNN, MLP

ABSTRACT

PhD THESIS

EXPLOSION HAZARD ANALYSIS OF SOME OF TURKISH COAL DUST AND USING CONTROLLING USING CAMERA IMAGE BASED EXPLOSIBILITY METER

Abdulkadir ÜRÜNVEREN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Suphi URAL
Year: 2018, Pages: 223
Jury : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Prof. Dr. A. Mahmut KILIÇ
: Assoc. Prof. Dr. Yasin ERDOĞAN
: Asts. Prof. Dr. Bayram Ali MERT

The aim of this study is to determine the explosive properties of lignite coal dust samples obtained from Afşin-Elbistan/Kahramanmaraş, Soma/Manisa and Tunçbilek/Kütahya regions for safe design and operation of underground coal mines, process and storage facilities and to make recommendations to prevent dust explosions in terms of safety. Investigation of explosion properties of lignite coal samples was done with 20-L Siwek sphere chamber. Maximum Explosion Pressure (P_{max}), Lower Explosion Limit (LEL), Maximum Explosion Pressure Rise Rate $(dp/dt)_{max}$ and Dust Explosion Constant (K_{St}) values were measured. The results suggest that the lignite dusts examined can explode under suitable conditions.

In addition, in the scope of this study, a method and device have been developed that can accurately and quickly measure the effectiveness of the schist technique applied to prevent the explosion of coal dust. The results obtained from the experiments with the developed camera image based system were compared with the results of the stone dust and coal dust mixtures obtained in the laboratory. The device is able to determine the rate of stone dust / coal dust by 0.57% at the latest within five minutes.

Key words: Coal Dust, Explosion, Prevent, Explosion Constant (K_{St}), Color Separation, Optic Reflection, Artificial Intelligence, GRNN, MLP

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Gelişmişlik düzeyi, ekonomik anlamda refah olarak algılanmaktadır. Ekonominin en büyük kaynağı ise enerjidir. Dünyada ve ülkemizde enerji ihtiyacı gelişmeye paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Ortaya çıkan bu enerji ihtiyacının karşılanması iki şekilde olabilmektedir; yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemez kaynaklardır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının en önemlileri fosil kökenli yakıtlar olan petrol, doğal gaz ve kömürdür. Elektrik üretimi, demir-çelik ve çimento imalatında, endüstri süreçlerinde buhar elde etmek, kimya sanayisinde ve ısınmada kömür kullanılmaktadır. Kömür oluşumu ile birlikte bünyesinde biriken hidrokarbon bileşikleri üretim sırasında ortaya çıkarak patlama ve zehirleme gibi olumsuz olaylara neden olabilmektedir. Kömür üretiminin ekonomik ve güvenli bir şekilde yapılması için üretilecek kömürün tüm özelliklerinin belirlenmesi ve buna uygun bir üretim şeklinin belirlenmesi gerekmektedir.

Maden işletmelerinde, kazı, nakliyat ve depolama işlemleri sırasında oluşan tozlar üretilen kömürün yapısına bağlı olarak bazı tehlikeler arz etmektedir. Yeraltı kömür işletmelerinde meydana gelen kömür tozu, ocak gazı yangını veya grizu patlaması sonucunda daha geniş alanlara yayılan kömür tozu patlamalarını meydana getirir. Madencilik faaliyetleri sırasında meydana gelmiş olan kömür tozlarının havalanarak toz bulutu oluşturması ve bu toz bulutunun bir ateş kaynağıyla karşılaşması durumunda toz patlamaları meydana gelmektedir. Normal şartlar altında yanıcı özellikte olan bu tozların patlaması durumunda yaratacakları yıkıcılık etkisi oldukça fazladır. Araştırmalar maden ocaklarında metan-hava karışımını patlatabilen her tür kaynağın toz bulutunu da patlatabileceğini göstermiştir. Patlama nedeniyle oluşacak basınç dalgaları alevin gidiş yönünde sürekli bir girdaplanma oluşturabilmekte ve havada askıya geçen bu toz yığınları ile patlamalar bütün ocağı etkileyebilir.

Kömür tozlarının patlamalarını önlemek için yeraltında alınması gereken tedbirler dört başlıkta incelenebilir:

- Kömür tozlarının birikiminin engellenmesi,
- Alınan önlemlere rağmen birikmiş tozların patlamasını engellemek,
- Patlamaların yayılımını asgariye indirgemek için kömür tozlarını güvenli şartlarda tutmak,
- Patlamaların etkisini azaltmak için patlama yerinin izolasyonu.

Alınan önlemlere rağmen kömür tozunun birikiminin engellenememesi durumunda alınacak en önemli tedbir, kömür tozunun yanma özelliğinin değiştirilmesi, yani yanabilme özelliğinin azaltılmasıdır. Bu ise, kömür tozuna rutubet veya inert maddelerin eklenmesiyle yapılabilmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'deki üç linyit sahasından temin edilen linyit tozlarının patlayabilirlik özellikleri belirlenerek patlamaların engellenmesi için gerekli şistleme miktarının belirlenmesi için bir yöntem ve cihaz geliştirilmiştir. Linyit kömürü toz örneklerinin patlama özelliklerinin incelenmesi 20-L Siwek küre test cihazı ile yapılmıştır. Maksimum Patlama Basıncı (Pmax), Alt Patlama Limiti (LEL), Maksimum Patlama Basıncı Yükselme Oranı (dp/dt)max ve Toz Patlayabilirlik Sabiti ($K_{St)}$ değerleri ölçülmüştür. 20-L Siwek küre test cihazı ile yapılan analizler sonucunda üç sahadan alınan linyit kömür tozlarının patlayıcı özellikte olduğu tespit edilmiştir. Kömür tozu patlamalarını önlemek üzere, "Şistleme" adı verilen bir yöntemle kömür tozu birikmesi muhtemel yerlere kireçtaşı tozu serpilerek ortamdaki kömür tozu konsantrasyonu patlayabilirlik seviyesinin altına düşürülmektedir. Uygulamanın etkinliğini ölçmek üzere gerçekleştirilen geleneksel yöntemde, Şistleme işlemi sonrası, ocak yollarından alınan tozlar laboratuvara gönderilerek 500-530 ºC' de 4 saat süreyle yakıldıktan sonra geriye kalan kısmının taş tozu oranını temsil ettiği kabul edilmektedir (Ellis,

1999). Laboratuvarda kül analizi ile elde edilen sonuçlar için 4 ile 8 saat arasında bir süre gerekmektedir. Madenlerdeki iş güvenliğinin sağlanması ve kömür tozu patlamalarının önlenmesi bakımından bu süre oldukça uzundur. Yeraltı ocak yollarından alınan toz numunelerinin patlayabilirlik derecelerini hızlı bir şekilde ve yerinde (ocak içerisinde) belirleyebilmek için optik yansıtma esasına göre ölçüm yapan, taşınabilir cihazlar geliştirilmiştir (Kızıl ve ark., 2001). Bu çalışmada, maden ocağı içerisinden alınan toz örneklerindeki taş tozu/kömür tozu oranlarının belirlenmesini hızlı bir şekilde mümkün kılan ve kullanıcısını yönlendirerek kömür tozu patlamalarının engellenmesi için gerekli önlemlerin alınmasında önemli bir rol oynayan, kendisine ait kamera, ışıklandırma, mikroişlemcili sistem, dokunmatik ekran, kablolu ve kablosuz çevresel haberleşme ve besleme ünitelerinden oluşan, Alev Sızdırmaz özelliğine sahip ve kamera görüntüsü tabanlı bir ölçme sistemi geliştirilmiştir. Yeraltında üretim, nakliye ve depolama işleri sırasında biriken kömür tozlarının patlama sınırlarını belirleyerek patlamanın önlenmesi amacıyla serpilecek taş tozu miktarının belirlenmesi için geliştirilen kamera görüntüsü tabanlı sistemle yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla laboratuvarda elde edilen taş tozu-kömür tozu karışımlarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneyler ile geliştirilen cihaz ve yöntemin oldukça başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Türkiye'deki diğer sahalardan alınacak numunelerle yapılacak çalışma sonucunda bütün sahalara uygun bir kalibrasyon ile patlamaların engelleneceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu doktora çalışması, 2011-2018 yılları arasında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Suphi URAL yönetiminde "DOKTORA TEZİ" olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasının her aşamasında bilgisi ve görgüsüyle beni yönlendiren ve yardımcı olan tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Suphi URAL hocama teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmaların sağlıklı devam etmesi için gerekli olanakları sağlayan Bölüm başkanları Sn. Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ ve Sn. Prof. Dr. Özen KILIÇ hocalarıma da çok teşekkür ederim. Tez İzleme Jürisinde yer alarak her konuda yardımcı olan Sn. Prof. Dr. Hasan ÇETİN'e teşekkür ederim. Bu çalışma kapsamında fikirleri ile yol gösteren ve bir cihaz üretme fikrine bizi inandıran Sn. Doç. Dr. Mutlu AVCI'ya ve Sn. Dr. Öğr. Üyesi Buse Melis ÖZYILDIRIM'a çok teşekkür ederim. Verilerin değerlendirilmesi sırasında yol gösteren ve yardımcı olan Kimya bölümü öğretim üyeleri Sn. Prof. Dr. Halime PAKSOY ve Sn. Prof. Dr. Elife Sultan GİRAY'a teşekkür ederim. Bölümde aynı mesaiyi paylaştığım ve yardımlarını esirgemeyen tüm Maden Mühendisliği Bölümü Hocalarıma, Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve idari personeline teşekkürü bir borç bilirim. Tezi bitirmem için gayret gösteren oda arkadaşım, kardeşim Arş. Gör. Dr. Mahmut ALTINER'e ayrıca teşekkür ederim.

Çalışma hayatım boyunca sabrını ve anlayışını esirgemeyen sevgili eşim Fatma ÜRÜNVEREN'e ve motivasyon kaynağım oğlum Muhammed ÜRÜNVEREN'e teşekkür ederim.

Çalışma boyunca her türlü imkânlarından faydalandığım Türkiye Taş Kömürü Kurumu yetkililerine, AR-GE şube Müdürü Sn. Zeynel Abidin ZEYNELOĞLU, Maden Müh. Sn. Müzeyyen KARA, Kimya Müh. Sn. Volkan KARA ve özellikle TTK/Kozlu müessese müdürlüğünde görevli Maden Mühendisi Osman SOYLU'ya ve ailesine çok teşekkür ederim. Yine bu süreçte olanaklarından faydalandığım EÜAŞ Genel Müdürlüğü ve AEL İşletme Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederim. Ayrıca Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğüne, ELİ ve GLİ yetkili personeline teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen ve her türlü özveriyi gösteren aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR VII
İÇİNDEKİLER VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ XII
ŞEKİLLER DİZİNİ XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR XX
1. GİRİŞ 1
1.1. Amaç 6
1.2. Afşin – Elbistan Linyit Havzası Hakkında genel bilgi 7
1.2.1. Sahanın Tanımı 7
1.2.2. Sahanın Genel Jeolojisi 8
1.2.3. Sahanın İşletme Yöntemi 9
1.3. Soma Linyit Havzası Hakkında Genel Bilgi 10
1.3.1. Sahanın Tanımı 10
1.3.2. Sahanın Genel Jeolojisi 11
1.3.2.1. Soma Formasyonu 12
1.3.3. Soma İmbat Sahası İşletme Yöntemi 13
1.4. Tunçbilek Havzası Linyitleri Hakkında Genel Bilgi 14
1.4.1. Sahanın Tanımı 14
1.4.2. Sahanın Genel Jeolojisi 14
1.4.3. Tunçbilek Ömerler Sahası Üretim Yöntemi 16
1.5. Zonguldak Havzası Hakkında Genel Bilgi 16
1.5.1. Kozlu Sahasının Tanımı 17
1.5.2. Kozlu Sahası Genel Jeolojisi 17
1.5.2.1. Stratigrafi 18

1.5.2.1.(1). Vizeen (Kokaksu Formasyonu) 18
1.5.2.1.(2). Namuriyen (Alacaağzı Formasyonu) 18
1.5.2.1.(3). Westfalien A (Kozlu Formasyonu) 18
1.5.2.1.(4). Westfalien BCD (Karadon Formasyonu) 19
1.5.3. Kozlu Sahası Üretim Yöntemi 19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 21
2.1. Toz Patlaması İle İlgili Yapılan Çalışmalar 21
2.2. Şistleme İle İlgili Yapılan Çalışmalar 66
3. MATERYAL VE METOT 73
3.1. Materyal 73
3.1.1. Afşin-Elbistan Linyitleri Genel Özellikleri 74
3.1.2. Soma Linyitleri Genel Özellikleri 76
3.1.3. Tunçbilek Linyitleri Genel Özellikleri 80
3.1.4. Zonguldak-Kozlu Kömürleri Genel Özellikleri 83
3.2. Metot 85
3.2.1. Kömür Numunelerinin Hazırlanması ve Analizleri 86
3.2.1.1. Elek Analizi 86
3.2.1.2. Kömürün Kısa Analizi, Isıl Değer Analizi ve Kükürt Analizi 86
3.2.1.3. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi 87
3.2.1.4. X- Işını Difraksiyon (XRD) Analizi 87
3.2.1.5. X-Işını Floresans (XRF) 87
3.2.1.6. FTIR Analizi 87
3.2.1.7. TGA-DSC Analizi 88
3.2.1.8. Yüzey Alanı Ölçme (BET) Analizi 88
3.2.2. Toz Patlayabilirliğinin ve Şiddetinin Ölçülmesi 88
3.2.2.1. Maksimum Patlama Basıncı (P_{max}) 91
3.2.2.2. Toz Patlama Sabiti (K_{St}) 91
3.2.2.3. En Düşük Patlayıcı Konsantrasyon (MEC) veya Tozun Alt Patlama Limiti (LEL) 92

3.2.2.4. Üst Patlama Sınırı Konsantrasyonu (UEC) 92
3.2.2.5. Minimum Oksijen Konsantrasyonu (LOC) 92
3.2.2.6. Minimum Tutuşma Sıcaklığı (MIT) 93
3.2.3. Kamera Görüntüsü Tabanlı Kömür Tozu Patlayabilirlik Ölçme Sistemi Yardımıyla Şistleme Miktarının Belirlenmesi 94
3.2.3.1. Sistemin Kısa Açıklaması 94
3.2.3.2. Sistemin Detaylı Açıklaması 95
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 119
4.1. Afşin-Elbistan Kömür Numuneleri Deney Sonuçları 119
4.1.1. Elek Analizi 119
4.1.2. Kimyasal Analiz 120
4.1.3. Kısa Analiz, Kükürt Analizi ve Alt Isıl Değer Analizi 120
4.1.4. XRD Analizi 121
4.1.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi 122
4.1.6. TGA-DSC Analizi 124
4.1.7. FTIR Analizi 126
4.1.8. Yüzey Alanı Analizi 127
4.1.9. Toz Patlama Küresi Analizleri 127
4.2. Soma Kömür Numuneleri Deney Sonuçları 131
4.2.1. Elek Analizi 131
4.2.2. Kimyasal Analiz 131
4.2.3. Kısa Analiz, Kükürt Analizi ve Alt Isıl Değer Analizi 132
4.2.4. XRD Analizleri 133
4.2.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi 134
4.2.6. TGA-DSC Analizi 137
4.2.7. FTIR Analizi 138
4.2.8. Yüzey Alanı Analizi 139
4.2.9. Toz Patlama Küresi Analizleri 140
4.3. Tunçbilek Kömür Numuneleri Deney Sonuçları 143

4.3.1. Elek Analizi 143
4.3.2. Kimyasal Analiz 143
4.3.3. Kısa Analiz, Kükürt Analizi ve Alt Isıl Değer Analizi 144
4.3.4. XRD Analizi 145
4.3.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi 146
4.3.6. TGA-DSC Analizi 148
4.3.7. FTIR Analizi 150
4.3.8. Yüzey Alanı Analizi 151
4.3.9. Toz Patlama Küresi Deneyleri 151
4.4. Kamera Görüntüsü Tabanlı Kömür Tozu Patlayabilirlik Ölçme Sistemi Analizleri 154
4.5. Taş Kömürü ve Linyitlerin Patlayabilirlik Özelliklerinin Karşılaştırılması 175
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 181
KAYNAKLAR 185
ÖZGEÇMİŞ 201
EKLER 202

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Afşin-Elbistan sahası kömürlerinin genel özellikleri 74
Çizelge 3.2. Afşin-Elbistan Petrografik özellikleri 75
Çizelge 3.3. Afşin-Elbistan Kömürleri Majör elementler 75
Çizelge 3.4. Afşin-Elbistan Kömürleri XRD Analizi 75
Çizelge 3.5. Afşin-Elbistan Kömürleri İz Element İçerikleri ve Dünya Ortalamaları 76
Çizelge 3.6. Soma sahası kömürlerinin genel özellikleri 77
Çizelge 3.7. Soma Petrografik özellikleri 78
Çizelge 3.8. Soma Kömürleri Majör elementler 78
Çizelge 3.9. Soma Kömürleri XRD Analizi 78
Çizelge 3.10. Soma Kömürleri İz Element İçerikleri ve Dünya Ortalamaları 79
Çizelge 3.11. Tunçbilek-Ömerler sahası kömürlerinin genel özellikleri 80
Çizelge 3.12. Tunçbilek-Ömerler Petrografik özellikleri 81
Çizelge 3.13. Tunçbilek-Ömerler Kömürleri Majör elementler 81
Çizelge 3.14. Tunçbilek-Ömerler Kömürleri XRD Analizi 81
Çizelge 3.15. Tunçbilek-Ömerler Kömürleri İz Element İçerikleri ve Dünya Ortalamaları 82
Çizelge 3.16. Zonguldak-Kozlu sahası kömürlerinin genel özellikleri (TTK sektör raporu 2016, Buzkan 1992) 83
Çizelge 3.17. Zonguldak-Kozlu Petrografik özellikleri 84
Çizelge 3.18. Zonguldak-Kozlu Kömürleri Majör elementler 84
Çizelge 3.19. Zonguldak-Kozlu Kömürleri XRD Analizi (Erol 2012) 84
Çizelge 3.20. Zonguldak-Kozlu Kömürleri İz Element İçerikleri ve Dünya Ortalamaları 85
Çizelge 3.21. Toz Patlama Sabiti Sınıfları (OSHA, 2009) 92
Çizelge 4.1. Afşin-Elbistan Brüden kömürü elek analizi 119

Çizelge 4.2. Afşin-Elbistan toz patlama küresinde deney yapılan numunenin elek analizi (DEKRA, 2016) 119
Çizelge 4.3. Afşin-Elbistan külü XRF sonucu 120
Çizelge 4.4. Afşin-Elbistan numunelerinin kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analizi sonuçları 120
Çizelge 4.5. Afşin-Elbistan kömürü ve külüne ait yüzey alanları 127
Çizelge 4.6. Afşin-Elbistan numunelerinin toz patlayabilirlik testi sonuçları (DEKRA, 2016) 128
Çizelge 4.7. Soma doğal ocak tozu elek analizi sonucu 131
Çizelge 4.8. Soma toz patlama küresinde deney yapılan numunenin elek analizi (DEKRA, 2016) 131
Çizelge 4.9. Soma numunelerinin XRF analiz sonuçları 132
Çizelge 4.10. Soma doğal toz numunelerinin XRF analiz sonuçları 132
Çizelge 4.11. Soma numunelerinin kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analizi sonuçları 132
Çizelge 4.12. Soma doğal toz numunelerinin kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analizi sonuçları 133
Çizelge 4.13. Soma kömürü ve külüne ait yüzey alanları 139
Çizelge 4.14. Soma Numunelerinin Toz Patlayabilirlik Testi Sonuçları (DEKRA, 2016) 140
Çizelge 4.15. Tunçbilek Doğal Ocak Tozu Elek Analizi Sonucu 143
Çizelge 4.16. Tunçbilek Toz Patlama Küresinde deney yapılan numunenin elek analizi (DEKRA, 2016) 143
Çizelge 4.17. Tunçbilek Numunelerinin XRF analiz sonuçları 144
Çizelge 4.18. Tunçbilek Numunelerinin XRF analiz sonuçları 144
Çizelge 4.19. Tunçbilek Numunelerinin Kısa Analiz, Kükürt Analizi ve Alt Isıl Değer Analizi Sonuçları 144
Çizelge 4.20. Tunçbilek Doğal Toz Numunelerinin Kısa Analiz, Kükürt Analizi ve Alt Isıl Değer Analizi Sonuçları 145

Çizelge 4.21. Tunçbilek kömürü ve külüne ait yüzey alanları 151
Çizelge 4.22. Tunçbilek numunelerinin toz patlayabilirlik testi sonuçları (DEKRA, 2016) 152
Çizelge 4.23. Taş tozu kömür tozu karışım oranları 163
Çizelge 4.24. 9 Volt gerilimde ölçülen %100 taş tozu ve %97,5 taş tozu kömür tozu karışımı 165
Çizelge 4.25. 9 Volt gerilimde ölçülen %100 taş tozu ve %50 taş tozu kömür tozu karışımı 166
Çizelge 4.26. 7,8 Volt gerilimde ölçülen %100 taş tozu ve %97,5 taş tozu kömür tozu karışımı 166
Çizelge 4.27. 7,8 Volt gerilimde ölçülen %100 taş tozu ve %50taş tozu kömür tozu karışımı 167
Çizelge 4.28. Soma kömür tozlarına ait hata payları oranları 172
Çizelge 4.29. Tunçbilek kömür tozlarına ait hata payları oranları 174
Çizelge 4.30. Tunçbilek kömür tozlarına ait hata payları oranları 175

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 2.1. Patlama Beşgeni (Amyotte, 2014) 22
Şekil 3.1. Çalışma Alanlarına Ait Yer bulduru Haritası 73
Şekil 3.2. 20 L patlama küresi (ANKO) 89
Şekil 3.3. 20 L patlama küresi parçaları ve kesit görünüşü 90
Şekil 3.4. Basınç grafiği (HSE) 90
Şekil 3.5. Çalışma kapsamında geliştirilen hızlı taş tozu-kömür tozu oranı ölçme cihazının genel görünümü ve önemli parçalarının kesit görünüşü. 96
Şekil 3.6. Çalışma kapsamında geliştirilen hızlı taş tozu-kömür tozu oranı ölçme cihazının genel görünümü 97
Şekil 3.7. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminin blok diyagramı 98
Şekil 3.8. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi ile birlikte kullanılan 355 μm elek 99
Şekil 3.9. Moleküler Elek Granül Yapısı 99
Şekil 3.10. Kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımının akış şeması 101
Şekil 3.11. Kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımının akış şeması 102
Şekil 3.12. Aydınlatma sisteminin devresi 103
Şekil 3.13. Devrenin genel çalışmasına ait blok diyagram 105
Şekil 3.14. RGB renk uzayında alınan kömür tozu görüntüsü 106
Şekil 3.15. Balıkgözü etkisinden arındırılmış bölge 107
Şekil 3.16. HSL uzayına dönüştürülmüş olan örnek görüntü 108
Şekil 3.17. Görüntülerden elde edilen on iki farklı özellik 108
Şekil 3.18. GRNN ağ mimarisi 109
Şekil 3.19. MLP ağ mimarisi 111
Şekil 3.20. Üyelik fonksiyonlarının grafikleri 115
Şekil 4.1. Elbistan kömürüne ait XRD grafiği 121

Şekil 4.2. Elbistan kömüründen elde edilen külün XRD grafiği 122
Şekil 4.3. Afşin-Elbistan kömür tozuna ait SEM fotoğrafları 123
Şekil 4.4. Afşin-Elbistan kömür külüne ait SEM fotoğrafları 123
Şekil 4.5. Afşin-Elbistan kömürü uçucu külüne ait SEM fotoğrafları..... 124
Şekil 4.6. Afşin-Elbistan kömürüne ait I. Metot TGA-DSC analizi grafiği 125
Şekil 4.7. Afşin-Elbistan kömürüne ait II. Metot TGA-DSC analizi grafiği.... 126
Şekil 4.8. Afşin-Elbistan Kömürlerine ait FTIR grafiği 127
Şekil 4.9. Afşin-Elbistan numunelerinin toz patlama basıncı süre değişim grafiği 129
Şekil 4.10. Afşin-Elbistan numunelerinin toz konsantrasyonu-P_{max} değişimi grafiği 129
Şekil 4.11. Afşin-Elbistan numunelerinin toz konsantrasyonu-dp/dt değişimi grafiği..... 130
Şekil 4.12. Afşin-Elbistan numunelerinin toz konsantrasyonu-K_{St} değişimi grafiği 130
Şekil 4.13. Soma kömürüne ait XRD grafiği..... 133
Şekil 4.14. Soma kömüründen elde edilen külün XRD grafiği 134
Şekil 4.15. Soma kömür tozuna ait SEM fotoğrafları 135
Şekil 4.16. Soma kömür külüne ait SEM fotoğrafları 135
Şekil 4.17. Soma kömürü uçucu külüne ait SEM fotoğrafları..... 136
Şekil 4.18. Soma kömür tozlarının patlatılması ile elde edilen küllere ait SEM fotoğrafları..... 136
Şekil 4.19. Soma kömürüne ait I. Metot TGA-DSC grafiği..... 137
Şekil 4.20. Soma kömürüne ait II. Metot TGA-DSC grafiği..... 138
Şekil 4.21. Soma kömürüne ait FTIR analizi grafiği..... 139
Şekil 4.22. Soma kömür tozlarına ait patlama basıncı zaman grafiği..... 141
Şekil 4.23. Soma numunelerinin toz konsantrasyonu-P_{max} değişimi grafiği 141
Şekil 4.24. Soma numunelerinin toz konsantrasyonu-dp/dt değişimi grafiği..... 142
Şekil 4.25. Soma numunelerinin toz konsantrasyonu-K_{St} değişimi grafiği 142

Şekil 4.26. Tunçbilek kömürüne ait XRD grafiği 145
Şekil 4.27. Tunçbilek kömüründen elde edilen külün XRD grafiği 146
Şekil 4.28. Tunçbilek kömür tozuna ait SEM fotoğrafları 147
Şekil 4.29. Tunçbilek kömür külüne ait SEM fotoğrafları 147
Şekil 4.30. Tunçbilek kömürü uçucu külüne ait SEM fotoğrafları 148
Şekil 4.31. Tunçbilek kömürüne ait I. Metot TGA-DSC analizleri 149
Şekil 4.32. Tunçbilek kömürüne ait II. Metot TGA-DSC analizleri 150
Şekil 4.33. Tunçbilek kömürüne ait FTIR analizi grafiği 151
Şekil 4.34. Tunçbilek kömür tozları patlama basıncı zaman grafiği 152
Şekil 4.35. Tunçbilek numunelerinin toz konsantrasyonu-P_{max} değişimi grafiği 153
Şekil 4.36. Tunçbilek numunelerinin toz konsantrasyonu-dp/dt değişimi grafiği 153
Şekil 4.37. Tunçbilek numunelerinin toz konsantrasyonu-K_{St} değişimi grafiği 154
Şekil 4.38. Kireç taşı tozu moleküler elek karışımı 155
Şekil 4.39. Kömür tozu moleküler elek karışımı 155
Şekil 4.40. 355 mikrometre elekten numunenin elenmesi 156
Şekil 4.41. Toz numunesinin numune kabına yerleştirilmesi ve preslenmesi 156
Şekil 4.42. Numune kabına yerleştirilmiş toz numunesi 157
Şekil 4.43. Kömür tozu numunesi ile doldurulmuş numune kabının ölçme cihazına yerleştirilmesi 157
Şekil 4.44. Ölçme cihazının açılması 158
Şekil 4.45. Raspitest programının çalıştırılması 158
Şekil 4.46. Ölçüm başlatma ekranı 159
Şekil 4.47. Çalışma grubu ve numune adının ekrana giriş ekranı görüntüsü 160
Şekil 4.48. Oluşturulan çalışma grubuna ait klasör görüntüsü 161
Şekil 4.49. Çalışma grubu klasöründeki görüntü ve veri dosyaları görüntüsü 161

Şekil 4.50. Ölçüm sonunda elde edilen RGB ve HSL değerleri 162
Şekil 4.51. Voltaj güç regülatörü 163
Şekil 4.52. %100 taş tozunun 9 volt gerilimdeki görünümü 164
Şekil 4.53. %100 taş tozunun 7,8 volt gerilimdeki görünümü 164
Şekil 4.54. %50 taş tozu ve %50 kömür tozu karışımının 9 volt gerilimde görüntüsü 165
Şekil 4.55. MATLAB programı ana ekran görüntüsü 167
Şekil 4.56. MATLAB programında test edilecek dosya giriş ekranı 168
Şekil 4.57. MATLAB programında veri girişi ara yüz ekranı 169
Şekil 4.58. Hesaplama sonunda elde edilen MLP grafiği 170
Şekil 4.59. Eğitilmiş verilerin ekran görüntüsü 170
Şekil 4.60. Soma kömür tozuna ait MLP sonuç grafiği 171
Şekil 4.61. Soma kömür tozuna ait GRNN sonuç grafiği 172
Şekil 4.62. Tunçbilek kömür tozuna ait MLP sonuç grafiği 173
Şekil 4.63. Tunçbilek kömür tozuna ait GRNN sonuç grafiği 173
Şekil 4.64. Zonguldak kömür tozuna ait MLP sonuç grafiği 174
Şekil 4.65. Zonguldak kömür tozuna ait GRNN sonuç grafiği 175
Şekil 4.66. Linyit kömürleri ile taş kömürlerinin toz konsantrasyonuna bağlı dp/dt değişim grafiği 176
Şekil 4.67. Linyit kömürleri ile taş kömürlerinin konsantrasyonuna bağlı K_{St} değişim grafiği 177
Şekil 4.68. Linyit kömürleri ile taş kömürlerinin konsantrasyona bağlı P_{max} değişim grafiği 178
Şekil 4.69. Linyit kömürleri ile taş kömürlerinin uçucu madde oranına bağlı dp/dt değişim grafiği 179

SİMGELER VE KISALTMALAR

(dp/dt)ex : Patlama ivmelenmesi
(dp/dt)max : Maksimum basınç yükselme hızı
° : Derece
°K : Derece Kelvin
°C : Derece Celcius
µm : Mikrometre
ASTM : American Society for Testing and Materials
CaC03 : Kalsiyum karbonat
CDEM : Coal Dust Explosibility Meter
CFR : Code of Federal Regulations (US)
CH4 : Metan
cm : Santimetre
cm^3 : Santimetreküp
CSB : Kimyasal Güvenlik Kurulu
Cucm : Olay şiddeti
ÇSGB : Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
D : Doğu
DESC : Dust Explosions Simulation Code (Toz Patlama Simülasyon Kodu)
DKE : Döner Kepçeli Ekskavatör
DME : Department of Mines and Energy (Australia)
Eucm : Patlayıcı ortamlara maruz kalma süresi
GRNN : Generalized Regression Neural Network (Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı)
H2 : Hidrojen
HSL : Hue, Saturation and Lightness (renk doygunluk ve parlaklık)
IEC : Uluslararası Elektronik Komisyonu

J : Jul
K : Kelvin
Kcal : Kilokalori
KCl : Potasyum klorür
KD : Kuzeydoğu
kg : Kilogram
KHK : Kanun Hükmünde Kararname
Kj : Kilojul
KSt : Toz patlama Sabiti
KTİ : Kozlu Taşkömürü İşletmeleri
LED : Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LEL : Lower Explosion Limit (En düşük patlama limiti)
LOC : Limit Oxigen Concentration (Oksijen Konsantrasyon Limiti)
L : Litre
LTA : Low Temperature Ash (düşük sıcaklık külü)
m : Metre
m^3 : Metreküp
MAPE : Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzde Hata)
MEC : Minimum Explosible Concentration (Minimum Patlama Konsantrasyonu)
MIT : Minimum Ignition Temperature (minimum tutuşma sıcaklığı)
MLP : Multi Layer Perception (Çok Katmanlı Algılayıcı)
mm : Milimetre
MOC : Minimum Oxigen Concentration (minimum oksijen konsantrasyonu)
MPa : Megapascal
MSE : Mean Squared Error (Ortalama Karesel Hata)
MSHA : Maden İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Dairesi
MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

MW	: Megawatt
NFPA	: National Fire Protection Associaton (Amerika Birleşik Devletleri'nin Milli Yangından Korunma Kurumu)
NIOSH	: Amerikan Ulusal Mesleki ve Sağlık Enstitüsü
OMSHR	: Maden Güvenliği ve Sağlık Araştırması Ofisi
Pa	: Pascal
PBT	: Patlama bastırma tozu
Pex	: Patlama basıncı
Pmax	: Maksimum patlama basıncı
PPC	: Pittsburgh kömür tozu
Pucm	: Olay sıklığı
QRA	: Kantitatif risk analizi
RGB	: Red Green Blue color space (kırmızı yeşil mavi renk uzayı)
SCRAM	: Kısa vadeli risk analizi yöntemi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
St	: Staub (toz)
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TIC	: Toplam yanmaz içeriği
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü
UEC	: Upper Explosible Concentration (üst patlama konsantrasyonu)
UEC	: Upper Explosible Concentration (üst patlama konsantrasyonu)
USBM	: United States Bureau of Mines (Amerian Ulusal Maden Bürosu)
XRD	: X-Işını Difraktometresi
XRF	: X-Işını Floresans Spektrometresi
σD	: Boyut dağılımı
τ2	: Zaman aralığı

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişmişlik düzeyi, ekonomideki refah olarak algılanmaktadır. Ekonominin en önemli kaynağı ise enerjidir. Dünyada enerji ihtiyacı gelişmeye paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Ortaya çıkan bu enerji ihtiyacının karşılanması iki şekilde olabilmektedir; yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemez kaynaklardır. Yenilenemez yani tükendiğinde bir daha oluşması milyonlarca yılı bulan enerji kaynaklarından birisi fosil kökenli yakıt olan kömürdür. Elektrik üretimi, demir-çelik ve çimento imalatında, endüstri süreçlerinde buhar elde etmek, kimya sanayisinde ve ısınmada kömür kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bitki maddesi kömürleşme sürecinde hidrokarbon gazları ve karbon üretmektedir. Madencilik sırasında kömür gazların salınımı, patlama ve patlayıcı gaz mekanizmaları aracılığıyla ciddi güvenlik sorunları oluşturabilir. Kömür üretiminin ekonomik ve güvenli bir şekilde yapılması için üretilecek kömürün tüm özelliklerinin belirlenmesi ve buna uygun bir üretim şeklinin belirlenmesi gerekmektedir.

Madenciliğin diğer dallarından farklı olarak kömür işletmelerinde, üretilen kömürün yapısına bağlı olarak bazı tehlikeler mevcuttur. Kömür işletmelerinde meydana gelen kömür tozu, ocak gazı yangını veya grizu patlaması sonucunda daha geniş alanlara yayılan kömür tozu patlamalarını meydana getirir. Kömür tozunu meydana getiren kaynaklar, kaya basıncı, üretim işleri, nakliyat ve kömürün yeryüzüne çıkarılması işlemidir. Kaya basıncının etkisiyle kömür damarında, henüz üretime geçilmeden önce toz meydana gelir. Üretimde; özellikle mekanize ayaklarda, fazla toz meydana gelmektedir. Ayrıca, kömürün taşınması sırasında sürtünmeden dolayı ve işçilerin ocak yollarında yürümesi sonucunda meydana gelen kömür tozu oldukça fazladır. Kömürün toz meydana getirme eğilimi ve toz miktarı, kömür cinsleri ve damarlarda farklılık göstermektedir. Bunlar genellikle kömürün sertliğine ve içindeki madde miktarına bağlıdır.

Toz; işyeri havasına yayılan veya yayılma potansiyeli olan parçacıklardır (Tozla Mücadele Yönetmeliği, 2013).

Madencilik faaliyetleri dolayısıyla madenin çeşitli yerlerinde birikmiş kömür tozu, bir şekilde havalanarak toz bulutu oluşturması durumunda, bu bulutun ateşlenmesi için gerekli şartlar oluşmuş ise, kömür tozları patlayabilmektedir. Ocaktaki yanıcı özellikteki tozlar, madencilikte sebep olduğu hasarlar göz önüne alındığında oldukça önemli bir sorun teşkil etmektedir. Tozlar, ortamdaki fiziksel şartlar açısından da çalışmalara engel teşkil edebilmektedir. Görüşü engellemesi, gözü tahriş etmesi, çalışanların psikolojisini de olumsuz olarak etkilemekte ve çalışmanın verimini düşürmektedir. Çalışılan makine ve ekipmana nüfuz ettiğinde çalışmasına mani olmaktadır. Tozlar, cinsine göre; patlayıcı, zehirleyici veya radyoaktif olabilir. Bunların dışında bazı tozlar belli sürelerde belli konsantrasyonlarda solunduğunda hastalıklara sebep olabilmektedir.

Normalde katı haldeki büyük boyutlu kömür parçaları yanıcı iken, boyutları küçülüp belli bir boyutun altına indiğinde patlayabilmektedir. Değişik araştırmacıların kömür tozlarının patlayabilmesi konusunda yaptığı çalışmalardan aşağıdaki bulgular ortaya çıkmaktadır (Ergin, 1978., Ediz ve ark., 1993., ÇSGB, 2009., Eckhoff ve ark., 2009., Amyotte ve ark., 2010):

- Ortamda bulunan toz, düşük çaplı bir grizu patlamasını çok daha büyük bir patlamaya dönüştürebilir.
- Ortamdaki metan azlığı veya olmaması durumunda bile kömür tozları yeterli koşullar oluştuğunda kendi kendine patlayabilmektedir.
- Yanmakta olan toz bulutunun alevli gaz birikintisi ile yakınlaşması durumunda gaz patlatabilir.
- Kömür tozlarının kuru olması ve tanecik boyutunun küçülmesi grizunun patlama sınırını daha da düşürebilir.

- Patlamaların kömür tozu içermesi durumunda ortama büyük oranda CO gazı çıkarabilmektedir.

Tozların patlayabilmesi için yanıcı tozların havada toz bulutu oluşturması ve bu toz bulutunun bir ateş kaynağıyla karşılaşması gerekmektedir. Çalışmalar maden ocaklarında metan-hava karışımını patlatabilen her tür kaynağın toz bulutunu da patlatabileceğini göstermiştir. Dahası patlamaların olabilmesi için yerde birikmiş tozların girdaplanması ile toz bulutu oluşturması ve bir ısı kaynağıyla karşılaşması gereklidir. Kısacası patlamanın gerçekleşmesi için çeşitli yerlerde biriken tozların havalandırılması için bir etken ile toz bulutunu ateşleyebilecek etkenin bir arada olması gereklidir.

Kömür tozları, genelde üretim sırasında kazılma, taşınma ya da aktarmalar sırasında büyük kömür parçacıklarının darbe ve çarpmalara maruz kalmasıyla ufalanarak oluşmaktadır. Özellikle kömür nakliyesinin arabalarla yapıldığı durumlarda boşaltma sırasında çok fazla toz ortama karışmaktadır. Bu tozların havaya karışması sebebiyle tozlar uzun süre askıda kalabilmektedir. Askıdaki bu tozların da gerekli şartlar oluşması durumunda patlama riski oldukça fazladır. Girdaplanan tozlar yeterli şartlar oluştuğunda ve tutuşturacak kaynakla karşılaştığında kömürlerin tozları gazlaşabilir ve H_2, CH_4 vb. gazlar oluşabilir patlama meydana gelebilir. Patlama nedeniyle oluşacak basınç dalgaları alevin gidiş yönünde sürekli bir girdaplanma oluşturabilmekte ve Girdaplanan bu toz yığınları ile patlamalar bütün ocağı etkileyebilir. Ülkemizde taş kömürü tozlarının patlayabilirliği üzerine 1970 yılında kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür (Saltoğlu, 1971). Ancak ülkemizdeki linyit tozlarının patlayabilirliğini inceleyen herhangi bir çalışmaya tarafımızca ulaşılamamıştır.

Kömür tozlarının patlamalarından sonra, bacaların dönüş kısımlarında, bilhassa tahkimatların üstünde koni biçiminde koklaşmalar görülebilmektedir. Bu özellik patlamanın başlama noktasının tespit edilmesinde çok önemlidir. Kömür tozlarının patlayabilirliği şu faktörlere bağlanabilmektedir:

- Tozların tanecik boyutu ve konsantrasyonu
- Tozların içindeki uçucu madde oranları
- Kimyasal yapı
- Havada ve yerde bulunan tozların konsantrasyonu
- Yeterli miktarda oksijen ve/veya metan gazı bulunması
- Tozların ortamdaki bulunma şartları (tavan, tahkimat üzeri, yan duvarda, tabanda)
- Tutuşturucu kaynaklar
- Çevrenin şartları (taş veya kömür galeride olmak, nem vb.)

Kömür tozlarının patlamalarını önlemek için yeraltında alınması gereken tedbirler dört başlık olarak ayrılabilir:

- Kömür tozlarının birikiminin engellenmesi,
- Alınan önlemlere rağmen birikmiş tozların patlamasını engellemek,
- Patlamaların yayılımını asgariye indirgemek için kömür tozlarını güvenli şartlarda tutmak,
- Patlamaların etkisini azaltmak için patlama yerinin izolasyonu.

Kömür tozu patlamasının meydana gelmesi için elverişli bir konsantrasyonda yanıcı toz, hava ve yeterli bir ateş kaynağının, aynı zamanda ve aynı yerde olması gereklidir. Patlamaların önüne geçilmesi, bu üç faktörden en azından birinin bertaraf edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Bu hususlar; tozun yanma özelliğinin değiştirilmesi, toz/hava konsantrasyonu oranının azaltılması, tozun meydana gelişine mani olmak veya ateş kaynaklarının bertaraf edilmesi ile elde edilir. Bu tedbirlerin hepsinin bir arada kullanılması halinde elde edilecek emniyet çok daha fazla olacaktır (ÇSGB, 2009).

Patlama tehlikesini önlemek için en başta uygulanabilecek metot, kömür tozunun yanma özelliğinin değiştirilmesi, yani yanabilme özelliğinin azaltılmasıdır. Bu ise, kömür tozuna rutubet veya inert maddelerin eklenmesiyle yapılabilir.
Kömür tozu patlamalarının önüne geçilmesi için uygulanan tedbirlerden biri ve en önemlisi taş tozudur. Taş tozunun bilinen etkileri şunlardır:

- Isı radyasyonunu absorbe etmesi
- Belirli hallerde endoterm etki göstermesi
- Alev söndürücü nitelikte olmasıdır.

Taş tozu, kömür tozu ile karıştığında, bunun ateş alma kabiliyetini düşürmekte, mevcut olan ateş kaynağını soğutmakta ve dolayısıyla söndürmektedir (Agarwal,1966).

Kömür tozu patlamalarına karşı kullanılan en elverişli toz, kalker tozudur. Yapılan çalışmalarda kalkerin pozitif yüklendiği görülmüştür. Kalker tozunun, kömür tozuna göre karşıt bir yüklenme göstermesi, bu iki tozun birbirlerini çekmesini ve kolayca yere çökmesini meydana getirir. Ayrıca kalkerin silikojen etkisi olmadığından, sağlık bakımından da tercih edilmektedir (Bauer, 1968).

İki kömür tozu taneciği arasındaki ateşlenme, ışınım yoluyla meydana gelir. Kömür tozları arasına, ışınımı önleyici bir taş tozu girecek olursa bu, sıcaklığı tutacak ve ısı iletimine engel olacaktır. Bu ise, patlamanın önlenmesi anlamını ortaya çıkarır (Fischer, 1955 ve Schulte 1963). Bundan ayrı olarak meydana gelen taş tozu bulutu, bir baraj gibi etki ederek hava akımını ve dolayısıyla kömür tozunun girdaplanmasını önler.

Bir kömür tozunun taş tozu ile önlenmesinde metot, kömür tozunun ne kadar taş tozu miktarı ile patlayamaz hale geldiğinin tespitidir. Bunun için kömür tozu/taş tozu karışımındaki yanmayan madde miktarının hesabı, yapılan araştırmalarda esas alınmaktadır (Cybulski, 1956). Kömür tozundaki uçucu madde

miktarına, tozun inceliğine ve konsantrasyonuna göre, ilave edilecek taş tozu miktarı fazla veya az olabilir (WINTER, 1969).

Yeraltında meydana gelen kömür tozlarının patlayabilirliğini ortadan kaldıran inert toz (taş tozu) serpme işlemine şistleme denilmektedir. Taş tozunun en önemli etkinliği karışım içindeki yanmayan madde oranını arttırarak tutuşma sıcaklığını yükseltmesidir. Yeraltında galerilerde toz patlamalarının seviyesinin tespiti amacıyla örneklemelerin düzenli ve sık aralıklarla yapılması gereklidir. Toz karışımının içindeki taş tozu oranını iki şekilde belirlenebilmektedir;

- ✓ Kimyasal analiz / laboratuvarda yapılan analizler
- ✓ Taşınabilen cihazlar ile yapılan analizler

Bu ikisinden kimyasal analiz en doğru sonucu vermektedir. Bununla beraber bu işlem uzun zaman almakta ve daha pahalı bir işlemdir. Karışım içindeki yanmayan madde oranını renk veya herhangi bir diğer değişkenden bağımsız direkt vermektedir. Taşınabilen cihazlar iki çeşittir. Bunlardan birincisi, radyoaktif gama ışınlarını emme esasına dayanan cihazlar olup ikincisi de optik yansıtma esasına göre çalışan sistemlerdir. Optik yansıtma esasına göre çalışan cihazlar taşınabilir ve hızlı sonuç verebilen cihazlardır.

1.1. Amaç

Bu çalışmanın amacı, ülkemizdeki bazı linyit kömürlerinin patlayabilirlik özelliklerini inceleyerek, yeraltı linyit ocaklarında toz patlamalarını engellemek üzere uygulanmakta olan şistleme tekniğinin etkinliğini doğru ve hızlı bir şekilde ölçebilecek bir sistem geliştirmektir.

Bu çalışma kapsamında Manisa/Soma ve Kütahya/Tunçbilek yeraltı işletmelerinden ve Kahramanmaraş/Afşin-Elbistan açık ocak işletmesinden alınan linyit numuneleri çalışılmıştır. Bu numunelerin toz patlayabilirlik özelliklerini ortaya koyan Maksimum patlama basıncı (P_{max}), minimum patlama konsantrasyonu

ve Toz patlama Sabiti (K_{St}) 20 litrelik test küresinde yapılan deneylerle belirlenmiştir. Ayrıca şistleme (taş tozu serpme) tekniğinin ne ölçüde uygulandığını (taş tozu/kömür tozu oranını) hızlı ve güvenilir bir şekilde ölçebilecek ve ülkemiz kömürlerine uygun bir sistem geliştirilmiştir.

1.2. Afşin – Elbistan Linyit Havzası Hakkında Genel Bilgi

1.2.1. Sahanın Tanımı

Kahramanmaraş ili Afşin ve Elbistan ilçeleri kuzeyindeki Afşin-Elbistan linyit havzasında ilk çalışmalar, 1936'da Önen tarafından yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında Sivas, Malatya, Kahramanmaraş ve Gaziantep illerinin civarında muhtemel linyit yatak oluşumları incelemiştir. Çalışma sonucunda Kahramanmaraş çevresinde dört farklı bölgede kömür oluşumu tespit edilmiştir (Önen, 1936). Sonrasında MTA ve Alman şirketi birlikte 1966 yılında daha ayrıntılı bir çalışma başlatmış, 1967 yılından itibaren havzada düşük kalorili büyük bir linyit rezervi tespit edilmiştir. 1968 yılında yapılan yatırım programıyla Elbistan linyitlerinin kullanılabilmesi için bir termik santral yapılmasına karar verilmiştir. 1973'te inşaatına başlanan termik santral 344 MW'lık dört üniteden oluşmaktadır ve ilk ünite 1984'ün Temmuzunda üretime geçmiştir.

Havzada toplam 4,50 milyar ton linyit rezervi tespit edilmiştir. Ortalama 120 km^2'lik ruhsat alanı; Kışlaköy (A), Çöllolar (B) ve Afşin (C) adlı üç ana sektörden ve D, E ve F alt sektörleri olarak ayrılmıştır. Havza fizibilite raporları 1969'da hazırlatılmıştır. Açık işletme derinliği bakımından Kışlaköy sektörünün kuzey kısmı daha düşüktür. Geri kalan sektörlerde de santral kurulabileceği ihtimalinden hareketle kazılar öncelikli olarak Kışlaköy sektöründe başlatılmıştır. Havzada kuzey doğu kesiminde bulunan Kışlaköy açık işletmesinde, Bager diye adlandırılan altı adet döner kepçeli kazıcı, 55 km uzunluğa sahip bant taşıyıcı sistemi ve beş adet dökücü ile donatılmış, ortalama 55 milyon m^3/yıl örtü kazı ve 20 milyon ton/yıl linyit üretilebilecek şekilde tasarlanmıştır (Yörükoğlu, 1991).

1.2.2. Sahanın Genel Jeolojisi

Havza Alp Orojenezinin sonunda Toros Dağları yükselirken oluşan kapalı bir basendir. Bölge tabanında Permo-Karbonifer yaşa sahip kireçtaşları mevcuttur. Kışlaköy sahası Kuzeydoğu–Doğu'sunda bulunan Kızıldağda ise Üst Kretase yaşa sahip grimsi ve beyaz renklerdeki kireçtaşları yüzeylenmiştir (Gökmen ve ark., 1993).

Kızıldağ'ın güneyinde Neojen formasyonlar mostra vermiş olup geri kalan yerlerde Kuvaterner yaşlı çökeller tarafından örtülmüştür. Genel olarak kalınlık 300-400 m'dir. Neojen formasyonları alttan üste doğru şöyle sıralanmaktadır;

- Kırmızı, kahverengi iri taneli klastik çökeller,
- Kızıl kahverengi, kumlu, marnlı sedimentler,
- Yeşilimsi, mavimsi-plastik kömür altı kil ve marnları,
- Kömür,
- Gidya,
- Yeşilimsi, mavimsi, plastik kömür üstü kil ve marnları.

Gidya bu formasyonlarda oldukça büyük önem taşımaktadır. Göl oluşumu Pliosen'de Torosların yükselmesi ve havzanın çökmesiyle olmuştur. Bol gastrapot fosilleri, bitki kalıntıları ve humuslu oluşları ile ayırt edilen Gidya formasyonu, gölde büyük bir kısma çökelmiş kömür ile ara tabakalanmalardır. Üst tarafa gidildikçe kömürlü gidya, humuslu gidya, killi ve kalkerli gidya şeklinde son bulmaktadır. Bunun üzerinde kömür üstü kil ve marnlar gelmektedir. Kalınlık 40-50 m'ye ulaşabilmektedir. Eğim 5° ile 10° arasında güneydoğuya doğrudur. Bu kalınlık sahada Kuzey ve Kuzeydoğuya doğru incelerek kaybolmaktadır (Yörükoğlu, 1991).

Pliyosende oluşmuş olan düşük kaliteli linyit, gidyanın alt kısmından başlayarak 10-80 m kalınlığına ulaşmaktadır. Havzada kömür kalınlığı kuzeyden

güneye ve doğudan batıya gittikçe artma eğilimindedir. Faylı yapı özellikle Kışlaköy sahası doğu kısmında görülmektedir. Kuvaterner, Neojen çökellerin üzerlerini tamamıyla örtmüştür. Kalınlık 15m-40m arasında değişebilmektedir. Kırmızı, kahverengi, kil, lehm, çakıl, kum, yamaç molozu, eski dere yatakları çökelleri ve tatlı su kalker horizonları şeklinde bulunmaktadır. Eski dere yatakları çökelleri Ca-CO_3'ün tabii çimento haline dönüşmesiyle sertleşmiş, konglomera ve kumtaşı haline dönüşmüşlerdir (Yörükoğlu, 1991).

Çalışma sahasında Pliyosen-Pliyostesen yaşlı gölsel çökellerle Kuvaterner yaşlı akarsu ve yamaç molozu ürünü olan litolojik birimler yer almaktadır. İnceleme alanındaki Neojen birimleri alttan üste doğru; kırmızı kahve renkli killi–kumlu–çakıllı birim, turkuaz renkli taban kili, linyit horizonu, gri gidya, bej gidya ve kireçtaşlarıdır. Kuvaterner yaşlı birimler; çalışma sahasının batısında akarsu çökeli doğusunda ise çoğunlukla yamaç molozu çökelleri şeklinde yer almaktadır.

1.2.3. Sahanın İşletme Yöntemi

Havza içerisinde mevcut iki linyit işletmesi vardır. Bunlardan bir tanesi Kışlaköy Açık Linyit işletmesidir. Sahadaki linyit tabakalanması havzanın ortasında yataya yakındır. Kenara doğru ise kömür tabakası 5º–20° arasında eğime sahiptir.

Kazı, Döner kepçeli ekskavatörler (DKE)'le yapılmaktadır. Sökülen örtü malzemesi ve kömür, bantlarla bant aktarma bölgesine sevk edilmektedir. Bant aktarma noktasında, kazı sahasından gelen bantlar, hareketli tamburlar aracılığıyla döküm sahasına giden uygun bir banta göre kolaylıkla ayarlanabilmektedir. DKE'ler yardımıyla kazılan linyitin tamamını stok sahasına gönderilmekte, örtü malzemesi ise dökücüler tarafından dış ya da iç döküm sahasına serilmektedir.

6 basamak halinde işletilmekte olan Kışlaköy Açık işletmesinde her bir basamakta bir adet olmak üzere, toplamda 6 adet döner kepçeli ekskavatör bulunmaktadır. DKE'ler yaklaşık 3000 m^3/saat yerinde kazma kapasitelidir. DKE'ler bulunduğu noktadan 30 m yüksekliğe ve yine bulunduğu noktadan 4 m

aşağısına kadar olan kesimde kazı yapabilme kapasitesine sahiptir. Duruma göre DKE'ler aynı basamakta istenilen yüksekliğe kadar kademeler halinde kazı yapabilmektedir. Kazı sahasındaki basamak yükseklikleri kazı verimi açısından kepçe çark yarıçapına (çark çapı=12,25 m) orantılı olarak en çok 18m-20m seviyelerinde tutulmaya çalışılmaktadır. Bant konveyörlerin genişliği 1800 mm, hızı 5,2 m/sn'dir. Basamaklar ilerledikçe kazıcıdan gelen örtü malzemesini taşıyan bantlar, ya açısal ya da paralel olarak bant kaydırma makineleriyle kaydırılmaktadır. Afşin – Elbistan İşletmeleri 260'ı memur, 104'ü sözleşmeli personel, 1551'i alt yüklenici ve sürekli işçi olmak üzere toplam 1915 çalışan ile faaliyetini sürdürmektedir.

1.3. Soma Linyit Havzası Hakkında Genel Bilgi

1.3.1. Sahanın Tanımı

Manisa İlinin Soma ilçesine yaklaşık 25 km mesafede bulunan Eynez Havzası; Eynez Köyünün Güneybatısında bulunmaktadır. Kömür havzasına, Soma-Bergama yolunun 16. Kilometresinde bulunan Cenkyeri kasabası içinden geçen ve yaklaşık 11 km'lik asfalt yolla ulaşılmaktadır. İşletme Eynez köyü Karanlıkdere mevkiindedir.

Uzun bir süre su üstünde kalan Paleozoik ve Mezozoik temel kayaları Alpin Orojenezi sırasında deforme olmuş ve metamorfizmaya uğramışlardır. Daha sonra temel üzerinde açılmış Neojen havzalarında linyitli Miyosen istif(ler)i çökelmiştir. Miyosen'de patlamalı volkanizma ile aynı zamanda akarsu ve göl ortamları gelişmiş ve havzaları temsil eden volkano-sedimanter istifler oluşmuştur. İlk aşamada, Soma Formasyonu temel kayaların üzerine çökelmiş, formasyonun alt kesimlerindeki Alt Linyit Seviyesi ise kömür oluşturan bataklık ortamını da içeren gölsel fan-delta'da birikmiştir. Orta Linyit Seviyesi marn oluşturan göl ortamının son evresinde gelişen ağızlaşmalı (örgülü) akarsu sistemindeki sığ tatlı su karbonat göllerine bitişik bataklık ortamlarında, Üst Linyit Seviyesi ise patlamalı volkanizma denetimli Deniş Formasyonu'nun alt bölümünde örgülü akarsu sistemi

taşkın düzlüklerindeki bataklık ortamında birikmiştir (İnci, 2002). Bataklık ortamlarında sık sık genişleyen karbonat göllerinin varlığı nedeniyle linyit katmanları kireçtaşlarıyla, Üst Linyit Seviyesi ise eş zamanlı volkanizma nedeniyle kiltaşı ve tüflerle ardalanmalıdır. Bu yüzden kömürleşme zayıf, linyitlerin kalori değerleri düşüktür (ortalama 1000 Kcal). Üst Linyit Seviyesi, sadece işletilmekte olan Deniş Köyü çevresinde çökelmiş, buna karşın Soma çevresinde çökelmemiş veya aşınmıştır.

Soma kömür havzası, rezervi ve kömür kalitesi bakımından Ülkemizin en önemli linyit havzalarından birisidir. Havzada 150 yıldan beri kömür madenciliği yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar sunucunda Alt ısıl değer 4000-5000 Kcal/kg arasında değişen yaklaşık 800 milyon ton linyit rezervinin bulunduğu tespit edilmiştir. Linyit oluşumlarının en alt seviyesi Eynez ocaklarından üretilmektedir. Kömür seviyesinin alt kesimleri çok killi ve bol fosil kavkılıdır. Ayrıca kireçtaşı, kumtaşı veya kiltaşından oluşan arakatkılar da sıkça bulunur. Seviyenin üst kesimlerine doğru gidildikçe kömürün kalorisi artar, rengi siyahlaşır, kömür daha sert ve camsı yapı kazanır; bu düzeylerde yer yer az miktarda kükürt de bulunur. Kalınlığı 15 ile 35 m arasında değişen kömür düzeyi, 08-25° eğime sahiptir.

1863 yılında Soma'da kömürün bulunmasıyla linyit madenciliği başlamıştır. Arama ve rezerv çalışmalarından sonra 1865 yılında bölgedeki çırçır fabrikalarının sahiplerine ihale edilerek yüzeydeki linyitlerin işletilmesine başlanmıştır. 1939'dan itibaren Etibank tarafından işletilmeye başlanan soma kömürleri 1957 yılında Türkiye Kömür İşletmeleri'ne (TKİ) devredilmiştir. 2005 yılında TKİ tarafından hazırlanan özelleştirme çalışmalarıyla 2006 yılında rödovans antlaşmalarıyla çeşitli firmalara ihale edilerek işletilmeye devam edilmiştir.

1.3.2. Sahanın Genel Jeolojisi

Soma Havzası içinde yer alan birimler günümüze kadar değişik araştırmacılar tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir (Chaput, 1936; Kleisorge,

1939, 1941; Arni, 1942; Brinkman vd. 1970; Nebert, 1978; Nebert-Göktunalı, 1978; Akyürek ve Soysal, 1990; İnci,1998a, 1998b, 2002; İnci vd. 2001, 2003; Arpalıyiğit, 2004; Dirik ark. 2009).

Soma havzasında Paleozoik-Güncel zaman aralığında oluşmuş kaya toplulukları ve alüvyal sedimanlar yüzlek vermektedir. Genel olarak havzada temeli Paleozoik grovakları ile Mezozoik kristalize kireçtaşları oluştururken, bu birimleri ekonomik linyit düzeylerini içeren Neojen sedimanları uyumsuz olarak örter. Kırkağaç, Soma ve Bakırçay grabenlerine ait Pliyo-Kuvaterner kaya toplulukları ile modern grabenleri dolduran alüvyonlar bölgedeki en genç jeolojik oluşumlardır (İnci ark., 2001 ve 2003).

Soma Eynez kömür havzasını oluşturan kaya topluluklarının stratigrafk dizilimleri alttan üste doğru şu şekildedir:

- Neojen öncesi kayaçlar
- Neojen çökelleri
- Neojen sonrası çökeller

1.3.2.1. Soma Formasyonu

Alt-Orta Miyosen Soma Formasyonu genellikle beyaz, sarı, boz, gri renkte, ince-orta-kalın tabakalanmalı çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, linyit, yaprak fosilli marn, kireçtaşı ve az miktarda tüfit ardalanmasından oluşur. Birimin kalınlığı 50-150 m arasında değişir. Soma Formasyonu ~4 km genişliğinde, ~25-30 km uzunluğunda yaklaşık KB-GB gidişli bir yapısal veya morfolojik çöküntü alanında birikmiştir. Birim, genellikle az eğimli olmasına karşın, deformasyonun etkin olduğu yerlerde kıvrımlı ve kırıklı yapı gösterir. Formasyon içerisindeki linyit oluşumları iki farklı seviyede gelişmiştir: (1) ~25-30 m kalınlığındaki Alt Linyit Seviyesi ile (2) kalınlığı 0.50-2.50 m arasında değişen kireçtaşı-marn kayaları ile ardalanan Orta Linyit Seviyesi. Alt Linyit Seviyesi günümüzde açık ve kapalı ocak sistemiyle

işletilen ekonomik linyit yatağıdır. Nebert (1978) Soma Formasyonu kaya düzeylerini tabandan tavana aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

- Çakıltaşı-kumtaşı-kiltaşı
- Alt linyit seviyesi (k_1)
- Marn
- Orta linyit seviyesi (k_2)
- Kireçtaşı

Soma Formasyonu alt linyit seviyesi (k1) geçici gölsel yelpaze deltası bataklık ortamında birikmiştir. Kömür oluşturan bataklık ortamı hızlı bir şekilde gölsel karbonat ve marn kayaları ile örtülmüştür. Günümüzde işletilmeyen orta linyit seviyesi (k2) ise ağızlaşmalı (örgülü) akarsu sistemindeki sığ karbonat gölü ve göl kenarı karbonat düzlüğü bataklık ortamlarında birikmiştir (İnci, 1998b ve 2002). Çökelme ortamlarının özelliklerine bağlı olarak, alt linyit seviyesi kalın ve/veya masif, çoğunlukla parlak ve yüksek kalorili (ortalama 4000-500 Kcal) linyitten oluşur. Orta linyit seviyesi (k2) ise ince veya kalın katmanlı, karbonat kayalarla ardalanmalı, orta veya düşük kalorili linyit içerir.

1.3.3. Soma İmbat Sahası İşletme Yöntemi

İşletmede geri dönümlü arkadan göçertmeli çok katlı Tam Mekanize Uzun Ayak yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Bant konveyör ve zincirli konveyör tamburların söktüğü kömürü uzun ayak boyunca taşınarak galerideki diğer bantlara aktarılmaktadır. Buraya aktarılan kömür ise bir başka bant vasıtasıyla yeryüzüne taşınmaktadır. Günlük ortalama 20000 ton kömür üretilmektedir. Soma İmbat sahasında 490 büro, 1000 yerüstü ve 4800 yeraltında olmak üzere 6290 personel çalışmaktadır.

1.4. Tunçbilek Havzası Linyitleri Hakkında Genel Bilgi

1.4.1. Sahanın Tanımı

Bölge olarak Tunçbilek, Tavşanlı-Domaniç karayolunun üzerinde bulunmaktadır. Tunçbilek havzası, Tunçbilek yerleşim yerinin çok yakınında olup Tavşanlı'ya yaklaşık 13 km mesafededir. Madencilik faaliyetleri ile ilgili saha, Yönetim, Sosyal tesis ve Sanayi tesisleri aynı bölgede bulunmaktadır. İşletme, Kütahya – Balıkesir demiryoluna yaklaşık 11 km mesafede bulunmaktadır.

1940 yılında Garp Linyitleri İşletmesi Etibank'a bağlı bir kuruluş olarak faaliyete başlamış, 1957'de TKİ'nin kurulmasıyla bu kurum bünyesine geçmiş ve halen faaliyetlerini TKİ bünyesinde sürdürmektedir.

Tavşanlı-Domaniç (Kütahya) ilçeleri sınırı içinde yer alan Neojen yaşlı volkanik kayaçlar Batı Anadolu'da geniş bir yayılım gösteren Senozoik yaşlı volkanitlerin bir bölümünü oluşturmaktadır. Tunçbilek alanında ve çevresinde özellikle kömür arama ve işletme amaçlı pek çok çalışma yapılmıştır, Maucher (1936), Pekmezciler (1953), Von der Breuer. (1955), Lebküchner (1957, 1959) Seyitömer kömür sahasının jeolojik etüdünü, Nebert (1960, 1962) Tunçbilek, Alabarda, Harmancık dolaylarının araştırmalarını yapmışlardır. Kaya (1972), Okay (1981) Tavşanlı yöresinin ofiyolitlerini; Akdeniz ve Konak (1979 a, 1979 b) çalışma alanının batı ve güneyinde yer alan sahaların, Akat ve ark. (1978), Konak (1982) çalışma alanı batısının genel jeolojisini incelemişlerdir.

1.4.2. Sahanın Genel Jeolojisi

Tunçbilek kömür havzasında en yaşlı birim olarak Paleozoik yaşlı metamorfik şist ve kristalize kireçtaşları ile Paleozoik üzerinde uyumsuz olarak Kretase yaşlı ultrabazik kayaçlar bulunmaktadır. Paleosende granit intrüzyonu görülmektedir (Ayaydın, 1987).

Tüm bu birimler Neojen yaşlı birimlerin temelini oluşturmaktadır. Temel üzerinde uyumsuz olarak bulunan Neojen; Miyosen (Tunçbilek Serisi) ve Pliyosen (Domaniç Serisi) ile temsil edilmektedir (Ayaydın, 1987).

Miyosen yaşlı birimler Alt Miyosen yaşlı genellikle taban kırıntılarından oluşan Beke formasyonu ile başlamaktadır. Bu birimin üzerine yanal düşey geçişli olarak Alt-Orta Miyosen yaşlı ve kömür içeren Tunçbilek formasyonu gelmektedir. Orta-üst Miyosen yaşlı Tavşanlı volkanikleri tüm bu birimleri keserek yüzeylenmektedir. Pliyosen döneminde ise Alt Pliyosen yaşlı Saruhanlar formasyonu, genellikle kırıntılı ve kısmen karbonatlı kayaçta temsil edilen Çokköy formasyonu tarafından örtülmektedir. Çokköy formasyonu ise Üst Miyosen yaşlı gölsel karbonatlı kayaçlardan oluşan Emet formasyonu ile yanal düşey geçişlidir. Pliyosen-Kuvaterner geçişinde yöredeki en genç volkanik faaliyetin ürünü olan Taşlıtepe bazaltları gözlenmektedir. Yörede en üstte ise yine Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal kırıntılar ve en son olarak güncel alüvyonlar yüzeylenmektedir (Arık, 2002)

Neojende yapısal olarak önemli olabilecek fay ve kıvrım eksenlerine rastlanmamaktadır. Genelde havzanın belirli aralıklarla çökmesine bağlı olarak eğim atımlı normal faylar (gravite fayları) gelişmiştir. Bu gravitasyonel hareketler sonucunda havza içinde bazen senklinal yapılar gelişmiş olup kıvrım eksenlerinin kanat açıları 10-30° arasında değişmektedir.

Sahanın tektoniğine yönelik jeofizik-rezistivite ve kömürlü zonun tavan kotuna göre yapılan yapı-kontur haritalarında fayların genelde kuzey-güney doğrultusunda geliştikleri gözlenmiştir. Tabaka eğimleri genelde 5-20º kuzeydoğuya doğrudur. Başlangıçta Neojen havzasında sakin olan tektonik faaliyet, marn birimin çökelmesinden sonra Miyosen sonlarına doğru biraz hareketlenmiştir. Miyosen sonlarındaki hareketler ise, Tunçbilek serisi tabakalarının eğim açılarını yükseltmiş, yeni faylanmalar meydana gelmiştir. Miyosen sonlarındaki hareketler ise; Tunçbilek serisi tabakalarının eğim açılarını yükseltmiş, yeni faylanmalar meydana gelmiştir. Miyosen sonlarında başlayan volkanik faaliyet nedeniyle genişleyen havzada Domaniç serisi birimleri çökelmiştir. Kuyu sistemi ile üretim yapılacak sahada mevcut sondajlar ile kömür tavan kotuna göre yapılan yapı-kontur çalışmalarında birkaç eğim atımlı normal

faylar ve ufak çaplı dalgalanmalar (kıvrım) haricinde ortamın daha az tektonik hareketlere maruz kaldığı görülmektedir (Ayaydın, 1987).

1.4.3. Tunçbilek Ömerler Sahası Üretim Yöntemi

Tunçbilek bölgesinde halen işletmekte olan ana Linyit damarının kalınlığı 4-12 m arasında değişmekte olup, damar içerisinde muhtelif kalınlıkta ara kesmeler bulunmaktadır.

Ömerler yer altı işletmeciliği dışındaki sahalar çeşitli nedenlerden dolayı üretime açılamamıştır. Şu anda faaliyette olan Ömerler yer altı işletmeciliği ise klasik ve mekanize üretim yöntemlerini kullanarak çalışmaya devam etmektedir.

Ömerler yer altı mekanize üretim sisteminde iki ayrı tahkimat sistemi mevcuttur. Bunlardan birincisi galeri ve bacalarda kullanılır, diğer tahkimat sistemi ise üretim yapılan ayakta ayak içi tahkimatı olarak kullanılır.

Tunçbilek sahasında Şilt tipi tahkimatların kullanıldığı tavandan göçertmeli mekanize üretim yöntemi ile kömür üretimi yapılmaktadır. Tunçbilek Ömerler yer altı işletmesinde 57'si yerüstü ve 570'i yeraltı olmak üzere toplam 627 personel çalışmaktadır.

1.5. Zonguldak Havzası Hakkında Genel Bilgi

Taşkömürünün Zonguldak Havzasında, Ereğli ilçesi Kestaneci Köyünden Uzun Mehmet tarafından 1829 yılında bulunduğu kabul edilir. 1848 yılında havza sınırları ilk kez belirlendi. Hazine-i Hassa adına taşkömürü işletmeciliği başlatıldı. (Taşkömürü işletmeciliğinin başlandığı yıl kabul edilen 1848 yılına TTK ambleminde yer verilmiştir.) 10 Ekim 1983 yılında 96 sayılı KHK ile Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü kuruldu. TTK, Zonguldak ve Bartın il sınırları içinde olmak üzere 5 müessese de üretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Bunlar, Armutçuk, Kozlu, Üzülmez, Karadon ve Amasra Taşkömürü İşletme Müesseseleridir. Bu çalışmada kullanılan numuneler Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesinden alınmıştır.

1.5.1. Kozlu Sahasının Tanımı

Zonguldak ilinin 8 km batısında ve 12 km^2' lik bir alanda üretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Ülkemizin denizaltında taşkömürü üretimi yapan tek müessesesidir. Koklaşabilir özellikte taşkömürü üretimi, İhsaniye-İncirharmanı İşletmesinde yapılmaktadır. Üretim ve hazırlık çalışmaları +155/-555 kotları arasında kalan panolarda 1-3 m arasında değişen kalınlıklardaki 5 ayrı kömür damarında sürdürülmektedir. Üretilen kömürler 2006 yılında müessese bünyesinde ihale ile hizmet alımı kapsamında yüklenici firma tarafından yaptırılan lavvarda ton bedeli karşılığında yıkattırılmaya başlanmıştır (TTK 2010).

1.5.2. Kozlu Sahası Genel Jeolojisi

Jeolojik istiflenme Mezozoik yaşlı örtü formasyonları ve Paleozoik yaşlı Karbonifer formasyonlarından oluşmaktadır. Üretim faaliyetleri tamamen Westfalien A yaşlı Kozlu formasyonunda devam etmekte olup, bu formasyonda kalınlıkları 0.80-8.00 m arasında değişen 22 adet kömür damarı mevcuttur (KTİ, 2005). Bunlar sırasıyla Çay, Eski Çay, Acılık, Büyük ve Büyük Piç, Kesmeli, Sulu, Sülman, Büyük Eski, Hacı Memiş, Domuzcu, Milopero (Kurul), Acenta, Hacıpetro (Akalın), Rabut (Karagöz), Papas, Taşbaca, Civelek, Lükuça (Dibek), Leonidas, Piriç ve Ali Molla'dır. Tavan ve taban taşı olarak, değişik kalınlıklarda (0.02 m-4.55 m) gre, şist konglomera, şist gre, konglomera gre kesilmektedir. Kozlu Müessesesi, doğuda Damlar, batıda Karadon, kuzeyde Şimal fayı ve güneyde Midi fayı ile sınırlanmıştır. Kozlu serisi kömür damarları kuzeye eğimli olarak (40°-70°) deniz altına doğru devam etmekte olup, Midi fayının güneyinde ise Kılıçlar serisi (80°-90º) yer almaktadır (KTİ, 2005).

2015 yılında hazırlık çalışmaları kapsamında 43 6, 5 m taşta ve 2.771,2 m kömürde ilerleme yapılmıştır (TTK, 2015).

1.5.2.1. Stratigrafi

Kozlu Müessesesi'nde Devoniyen kuvarsitleri taban birimini oluşturmaktadır. Kuvarsitler üzerine uyumlu olarak Karbonifer birimleri gelmektedir. Karbonifer, Vizeen yaşlı Kokaksu formasyonu ile başlayıp Namuriyen yaşlı Alacaağzı formasyonu ve Westfalien A yaşlı Kozlu formasyonu ile devam etmekte ve Westfalien BCD yaşlı Karadon formasyonu ile sona ermektedir. Karbonifer üzerine diskordans olarak Kretase yaşlı örtü tabakaları gelmektedir. Adı geçen formasyonlara ait özet bilgiler aşağıda sıralanmaktadır.

1.5.2.1.1. Vizeen (Kokaksu Formasyonu)

Kozlu Müessesesi'nin güneyinde mostra vermektedir. Oluk yanı ve Kılıç Mahallesinin güneyinde kuzeye doğru eğimli olarak görülmektedir. Litolojik olarak gri-bej renkli dolomitik kireç taşlarından oluşmaktadır. Kalınlığı 400 m kadardır.

1.5.2.1.2. Namuriyen (Alacaağzı Formasyonu)

Kozlu Müessesesi'nin güneyinde mostra vermektedir. Tabakalar kuzeye doğru eğimli ve litolojik olarak kumtaşı, silt taşı ve ince kömür damarlarından oluşmaktadır. Denizel fosilli olup dereceli geçişli karasallaşma belirtileri gösterir. İçerisindeki bol miktarlarda bitki, şap ve yaprak fosilleri sığlaşmanın yavaş yavaş denizel şartlardan delta ortamına ve çökellerine geçişini gösterir. Kalınlığı 800 m'dir.

1.5.2.1.3. Westfalien A (Kozlu Formasyonu)

Kozlu Müessesesi'nde kömür üretiminin yapıldığı bu formasyon derin yapı göstermekte olup, Kozlu merkezinde çok iyi mostra vermektedir. Kozlu formasyonu ile aynı yaşta bulunan Kılıçlar serisi de güneyde yer almaktadır. Kozlu formasyonu litolojik olarak konglomera, kumtaşı, silt taşı ve verimli kalın damarlardan oluşmaktadır. Bu formasyon içinde toplam kömür kalınlığı 720-723

m'dir. Kozlu formasyonu ile yaş ve litolojik olarak aynı özellikleri gösteren Kılıçlar serisinin kendine has özelliği; tabakaların eğiminin fazla olması ve derinlere doğru S çizmesidir. Kılıçlar serisi içinde de verimli kömür damarları bulunmaktadır. Kömür damarlarının kalınlığı 11,5 m, serinin kalınlığı ise 230 m'dir.

1.5.2.1.4. Westfalien BCD (Karadon Formasyonu)

Kozlu Müessesesi'nin kuzeyinde, güneyinde ve doğusunda Kozlu formasyonunun üzerinde uyumlu olarak gelmektedir. Litolojik olarak konglomera, kumtaşı ve ince kömür damarlarından oluşmaktadır. Kozlu formasyonundan ayrılan özelliklerinden birisi konglomerasının çakıl taşlarının çok iri olmasıdır. Karadon formasyonunun kalınlığı yaklaşık 400 m'dir.

1.5.3. Kozlu Sahası Üretim Yöntemi

İşletmede üretim yapılan kömür damarları 40º altı ve 40-90º arasında olup; üretim yöntemi olarak ilerletimli göçertmeli uzun ayak, yangına yatkın panolarda dönümlü göçertmeli uzun ayak, eğimin fazla olduğu yerlerde ise 1991 yılında Macaristan ile işbirliği yapılarak temin edilen yüksek basınçlı hava patlatmalı kazı yöntemi uygulanmaktadır. Havzasının karmaşık jeolojik yapısı, tam mekanizasyona gidilmesini engellemekte, dolayısıyla taşkömürü üretimi büyük ölçüde insan gücüne dayalı, emek-yoğun sisteminde gerçekleştirilmektedir (TTK, 2015). Kozlu İşletmesinde Eylül 2016 sonu itibariyle çalışan işçi sayıları; 202 memur, 1452 yeraltı ve 212 yerüstü işçisi olmak üzere toplam 1866 personel çalışmaktadır (TTK, 2016).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Toz Patlaması İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Patlamalar, özel bir yanma olarak tarif edilebilir. Yanmanın çok hızlı gerçekleşmesi durumunda genleşecek gazlardan oluşacak basınç, içinde bulunduğu kapalı ortamın hacimsel olarak mukavemet değerini aşmasıyla meydana gelen çok büyük tahrip etkisine sahip yanma biçimidir.

NFPA 69'da yapılan tarifle patlamalar:

" Yanmalar sonucunda meydana gelen iç basınç nedeniyle kapalı ortamın veya kabın tahribe uğraması veya parçalara ayrılması, yada yüksek basınçlı gazın ortama çok hızlı bir şekilde yayılması durumudur ".

Yanabilir olan ve havada askıda olan katı her parçacık, şu reaksiyona göre toz patlamalarının nedeni olabilmektedir.

Yakıt + oksijen → oksidasyon + ısı

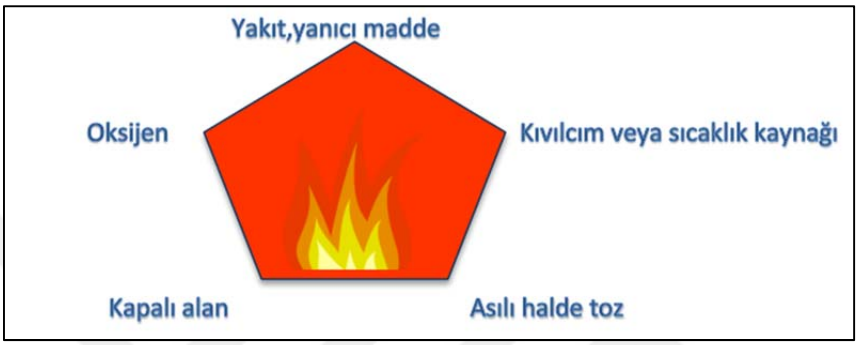
Normal şartlarda tüm katı maddeler bir şekilde ısıyı emmektedir. Lakin toz halde oksijen ile temas yüzeyi çok fazla ve parçacık hacmi çok küçük olmasından dolayı, çok kısa sürede sıcaklık artışına sebep olan ekzotermik bir reaksiyon oluşur. Bu artma aynı zamanda komşu taneciklerin yanması ile de desteklenir. Genellikle, toz patlaması, etrafı oksijenle çevrelenmiş taneciklerin alev alması ve bu alevlenmenin çok hızlı yayılması sonucunda o kadar hızlı meydana gelir ki, korunmak için zamanları kalmamaktadır.

Patlama, fiziksel veya kimyasal olarak iki şekilde olabilmektedir. Kimyasal şekildeki patlama, daha sonra parlama (deflagration) ve infilak (detonation) olarak iki kısma ayrılır. Parlamalar, endüstriyel alanlarda çok sık rastlanılan patlama türüdür ve yanıcı gazların alev hızları ses hızından düşük olduğu durumlarda meydana gelir.

İnfilakta ise, gazların alev hızları ses hızına eşittir ve genellikle buna bir şok dalgası eşlik etmektedir. Endüstriyel bir alandaki toz infilakının, gerçek bir

patlama olup olmadığının tespiti oldukça zordur. Bu sebeple toz patlamalarından korunmak için, daima parlamanın olduğu kabul edilmektedir.

Bilinen "yanma üçgeni", tozlar söz konusu ise ve kapalı ortam var ise "patlama beşgeni" şekline dönüşür (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Patlama Beşgeni (Amyotte, 2014)

Toz patlamasının meydana gelmesi için temel şartlardan birisi de kapalı ortamın olmasıdır. Toz patlamalarının kapalı kaplarda incelenmesi üzerine uzun zamandan beri uğraşılmaktadır. Toz patlamalarının simülasyonu için çeşitli zamanlarda patlama küreleri tasarlanmıştır. Bunların gelişiminden aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

1891 de Meyer, kömür tozu patlamaları için ilk patlatma odasını yapmıştır. 50 cm^3 büyüklüğündeki bir cam silindir içerisinde Linyit kömürü tozu ark şeraresi yardımıyla ateşlenmiştir. Alete bağlı bir U manometresi ile patlama şiddeti ölçülmüştür.

1911. de Frazer, 1,5 litre hacminde bir kap yaparak patlatmayı platin elektrotla sağlanmıştır. Tozun girdaplanması bir hava darbesiyle yapılmaktadır. Clement-Frazer'in bu aleti, diğer araştırmacıların daha sonradan başlangıç noktası alınmıştır.

1914 de Morgan, bir membran indikatörü yardımıyla, ilk olarak basınç/zaman eğrisini kaydedebilmiştir.

1918 de Bauer, tozu vantilatörle girdaplandırmıştır.

1925 de Steinbrecher, Hager ve Bouton, ölçülü bir hava darbesi ile toz/hava karışımının elde edilmesini geliştirmişlerdir. Patlama odasının havası boşaltılmış olup, bir vananın açılmasıyla içeri giren hava akımı, tozu girdaplandırmaktadır. Toz bir elekten geçirilmek suretiyle iyi bir dağılım sağlanmaktadır.

1931 de Griffin, ateşlemeyi kimyasal kapsül ile yapmıştır.

1936 da Gliwitzki, ilk olarak 43 lt hacminde, büyük bir patlatma odası imal etmiştir. Girdaplandırma, vantilatörle yapılmakta olup, ateşlemede zorluklar görülmüştür.

1943'te Dr. Hartmann ve arkadaşları tarafından 1,2 litrelik silindirik bir cihaz geliştirmişlerdir. Yanıcı tozların patlama özelliklerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen bu cihaz ABD'de uzun süre kullanılmıştır.

1953'te Brown ve Wordhead, bu donanımın saydam bir modelini yapmayı denemişlerdir. Yüksek sirkülasyon hızına rağmen, toz dağılımı iyi olmamıştır.

1954 de Wehner, 40 lt hacminde olan patlatma odasında, ateşlemeyi flaş yapmıştır. Tozun girdaplandırılması, serbest üflenen hava ile yapılmaktadır (Wehner, 1954).

1957'de Browning, Gliwitzki tarafından yapılan donanımı halka şekilli, kapalı bir, oda haline çevirmiştir. Fakat bunda da diğer donanımda olan ortadan kalkmamıştır.

1961'de Nagy ve Portman, ayarlı hava akımı olan ve devamlı ark şeraresi ile ateşlemesi sağlanan 7 lt hacminde bir oda yapmışlardır (Nagy & portman, 1961).

1968'de Amerikan Maden Dairesi tarafından yapılan deneyler sonucunda Hartmann cihazı geliştirilmiştir.

1971'de Barknecht deneysel araştırmalar sonucu $1m^3$'lük bir küre geliştirmiştir. Bu cihazla büyük boyutlu patlamaların tahmini daha da kolaylaştı.

1980'de Siwek küresel aparatın hacmi ile K_{St} değerleri arasındaki ilişkileri belirlemek için bir dizi deney yapmış ve minimum 16 litrelik bir test cihazıyla patlamaların yapılabileceği kanısına varmıştır. Bu amaçla 1988'de literatüre Siwek küresi olarak giren 20 litrelik test küresini tasarlamıştır (Wangsholm, 2012).

Türkiye'de maden kömür işletmelerinde bugüne kadar kömür tozunun patlayabilme özellikleri, patlama sınırları ve kömür tozlarının patlamasının taş tozu ile önlenesi konusunda tek araştırma Dr. Senai SALTOĞLU tarafından Zonguldak Havzası Kömür Tozlarının Patlama Karakteristiklerinin Tespiti üzerine yapılmıştır. Böyle bir araştırma gerek insan hayatını, gerekse madendeki donanımları koruyabileceği düşüncesinden, böyle bir çalışmaya gidilmiştir. Böyle bir etüdü yapabilmek için Zonguldak havzasının damarları içerisinde, patlamaya en müsait olan Kozlu bölgesinde Acılık, Çay, Sulu; Gelik bölgesinde Sulu; Kandilli bölgesinde Büyük damarlarından stamp numuneleri ayrıca galeri tahkimat üzerlerinde birikmiş tozlardan numune alınmıştır. Bu numuneler üzerinde, Almanya'daki Dortmund-Derne şehrindeki Berggewerkschaftliche Versuchsstrecke Araştırma merkezinde patlama odasında 180 ve 200 m uzunluğundaki galeride de 4 adet patlama ve patlamayı önleme deneyleri yapılmıştır. Bunlara ilaveten, patlama tehlikesini belirten kimyasal analiz, elek analizi, yerde birikmiş ve girdaplandırılmış kömür tozunun ateş alma derecelerinin tespiti üzerinde de deneyler yapılmıştır.

Rice ve ark. (1910) kömür tozlarının patlayabilirliği üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler ve bu çalışmayı bir rapor halinde Jeolojik Araştırmalar Merkezine sunmuşlardır. Bu rapor, kömür tozunun patlayabilirliğine olan inanıştaki büyümeyi ve bu inancı tesis eden deneyleri ve maden araştırmalarını özetler ve önleyici tedbirlerin mevcut durumunu verir. Maden patlamalarının nedenleriyle ilgili soruşturmalara izin veren Kongre eylemleri hükümlerine uygun olarak hazırlanmıştır ve Pittsburgh, PA'daki Birleşik Devletler Jeolojik Araştırması'nın test istasyonunda yapılan deneylere değinilmiş ve bunlara ilişkin açıklamalar içermektedir. Bu istasyon Maden patlamaları, yakıtlar ve yapısal

malzemelerle ilgili araştırma yapmak amacıyla kurulmuş ve donatılmıştır. Bitümlü ve linyitik kömürlerin kuru tozu, nispeten tehlikeli ve mineralliğe grizudan daha ölümcül bir patlayıcı madde olarak tanınmaktadır. Yangın söndürme lambası içindeki kapağı uyaran kendi işaretini taşır ancak kömür tozu görülebilir olmasına rağmen şimdiye kadar çok fazla dikkat çekmemiştir. Grizu lokal olarak ortaya çıkar ve dikkate değer ve çok istisnai durumlar haricinde havalandırma akımlarının dikkatli bir şekilde manipüle edilmesi ile kontrol edilebilir. Toz dağılma olayı sonucunda maden ocağında ateşlenirse patlama kuvveti müthiş olur, ancak kuru kömür tozu yoksa veya çok nadiren metan gazı ile patlayıcı bir karışım oluşturmuşsa madenin hemen her yerine yayılır. Kuru bir madende toz her yerde birikir ve ateşleme ve bitümlü tozun yanmasından kaynaklanan patlama, maden girişinde birkaç kilometre oda ve girişi ve enkaz yapılarını geçebilir. Gazın ve bitümlü tozun karşılaştırmalı potansiyel yıkıcılığı Pennsylvania antrasit madenlerinin tarihi tarafından çarpıcı bir biçimde gösterilir. Bu madenlerin az sıklıkla büyük miktarda gaz girişi oluşturması ve ortaya çıkan gaz ve hava karışımlarının bazen ateşlendiği halde, mükemmel derecede havalandırmalı bitümlü madenlerde olduğu gibi, kuru antrasit tozu olmasına rağmen geniş çaplı süpürme patlamaları gerçekleşmemiştir. Bu rapor, bünyesinde vurgulandığı gibi, kömür tozu sorununun bir ön çalışması olarak görülmelidir. Kömür madenlerinde kullanılan patlayıcıların göreceli güvenliğini araştıran önemli işler için Pittsburgh istasyonundaki diğer işçilerin baskısı ve patlayıcıyı test etme aparatının neredeyse sürekli kullanılması, azaltma yöntemleri ile ilgili yapılabilecek deneyleri sınırlamıştır Kömür tozu tehlikesi. Bununla birlikte, hem Pittsburgh istasyonunda hem de sahada, bu raporda sunulan sonuçların önerdiği sistematik deneylerin yapılması için gelecekte fırsat sağlanacaktır.

Nagy ve ark. (1969) küre test cihazında patlamanın gelişimi konulu bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Amerikan Maden Bürosu bünyesinde yapılan çalışmada, patlamanın gelişimini kapalı küresel bir kürede, basıncı ve zamanı matematiksel olarak birbiriyle ilişkilendirerek, ateşlenme reaksiyonunu tanımlayan

parametrelerle incelemiştir. Model, yanmış ve yanmamış bölgelerin ince, radyal olarak hareket eden bir alevin ön tarafı ile ayrıldığını varsayar. İzotermal ve adyabatik sistemler düşünülür. Gaz ve toz patlama verileri ile korelasyon, adyabatik sistem için daha iyi, daha basit ve makul derecede iyi bir kabuldür. Ancak izotermal gelişim Patlama olgularının yorumu, alev önündeki mol değişim oranını temel parametreler açısından ifade etmek suretiyle kolaylaştırılmıştır. Bu ifade alansal alev hızının bileşenlerini inceleyerek geliştirilmiştir.

Didari (1985) kömür tozu patlaması konusunda bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada kömürlerin tozlarının patlamalarının meydana gelmesi ve gelişimi konusunda kısaca bilgiler verilmektedir. Tozların patlayabilirliğine etki eden bazı etkenler irdelenmekte ve bilhassa patlayabilir tozlarla mücadele faaliyetlerinin yürütülmesinde yardımı olabilecek bazı güvenli kıstaslar izah edilmiştir. Dahası, patlayabilir tozlarla mücadelede alınabilecek tedbirler temel hatlarıyla ortaya konmuştur. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlardan en önemlisi günün şartlarındaki bilgi birikimine göre, ortamda %1-2 oranında metan bulunan tüm taşkömürü ocaklarında, toz, nem vb. şartlar her ne kadar olumlu da olsa, toz patlamasının tehlikesi tartışılamayacak derecede önemli bir olgu olarak görülmektedir.

Cashdollar ve ark. (1992) Tozlarda minimum patlayabilir konsantrasyon (MEC) konusunda Bureau madeninde 20 L deney küre cihazında ve Fike laboratuvarının 1 m^3'lük cihazında ölçümler yapmışlardır. MEC değerleri gilsonit ve bitümlü kömür tozları için aynı kürede değişik tutuşma sıcaklıklarında denenmiştir. Antrasit kömürlerinin patlayabilirliği her iki çemberde de denenmiştir. Güçlü kimyasal tutuşturucular ve 500 ile 10 kj enerji kullanılmıştır. Bu çalışmada toz dağılımının üniformluğu üzerinde de (optik toz probu kullanılarak) durulmuştur.

Bu araştırmanın bir amacı da 20 L kürede yüksek hız ve enerjideki davranışları da incelemektir. Tutuşma enerjisi 20 litrede 2,5 kj ile ve 1 m^3'te 10 kj

ile ölçülerek birbiri ile karşılaştırılmıştır. Yüksek tutuşma enerjilerinde 20 litrede sonuçlar çok güvenli bulunmamıştır.

Cashdollar (1996) yaptığı araştırmada 20-L test küresini kullanarak Minimum patlama konsantrasyonu, Maksimum patlama basıncını, Maksimum basınç artışı oranlarını, Minimum oksijen konsantrasyonunu ve patlamayı engelleyecek inert toz miktarını bulmaya çalışmıştır. Çalışmada uçucu madde miktarı ve parçacık boyutu incelenmiş ve parçacık boyutunun uçucu maddeye göre patlamada daha az etkili olduğu tespit edildi. Test edilen tüm kömürler için, boyut küçüldükçe patlama tehlikesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca kömür tozu patlamalarını daha iyi anlayabilmek için polietilen tozu ve metan gibi diğer hidrokarbonlarla da karşılaştırmalar yapılmıştır.

Chawla ve ark. (1996) tarafından toz patlamalarının minimum patlama konsantrasyonunun belirlenmesi için 20-L test cihazı kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada Amerikan ASTM ile IEC (Uluslararası Elektronik Komisyonu)'in karşılaştırması yapılmıştır. Bu amaçla gilsonit, Pittsburgh kömürü, petrol şeyli ve Pocahontas kömür tozlarının minimum patlama konsantrasyonu (MEC) değerleri belirlenmiştir. Dört toz numunesi ASTM ve IEC kriterlerine göre irdelendiğinde IEC'e göre MEC değerleri daha küçük çıkmıştır. Bunun başlıca nedeni olarak iki yöntem arasındaki tutuşma enerjisi farkı olarak düşünülmüştür. Çalışma sonunda uygun tutuşma enerjisinin Siwek küre cihazı için 2500 J olduğuna karar verilmiştir. Bu sonuçlar büyük ölçekli deneylerle kıyaslanabilir olarak ortaya çıkmıştır.

Holbrow ve ark. (1996) birleştirilmiş kaplarda toz patlamaları konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Patlama havalandırma, endüstriyel toz tutma tesisini, kazara meydana gelen toz patlamalarından kaynaklanan basınçlardan korumak için sıklıkla kullanılır. Güvenli bir havalandırma alanını hesaplamak için pek çok hesaplama yöntemi mevcuttur ancak bunlar tek kaplara uygulanabilir değildir. Endüstride, kaplar genellikle birbirine bağlıdır ve alevler, bir kaptan diğerine boru hattı bağlantısı yoluyla gidebilir. Bu tür konfigürasyonlarda alevlerin

davranışı iyi anlaşılamamıştır ve geliştirilebilecek baskılar bilinmemektedir. Sonuç olarak, havalandırma gereksinimlerinin tahmin edilmesi zordur. Bu raporda, bağlantılı havalandırılmış kap sistemlerinde toz patlamaları davranışının incelendiği bir proje açıklanmaktadır. Ebatları 2 ila 20 m^3 arasında değişen, 15 m uzunluğa kadar borular vasıtasıyla, 0,15, 0,25 ve 0,5 m çaplı bağlar kullanılmıştır. Testler kömür tozu, toner tozu ve antrakinon tozu kullanılarak gerçekleştirildi. İş, birincil ateşleme kabından alev geçmesinin, havalandırılan tek bir kaptan beklenenden daha yüksek bir basınç üreten bir ikincil patlamayla sonuçlanabileceğini göstermiştir. 6.2 bar'a kadar olan ikinci patlama basınçları kaydedildi. İlk kabın içindeki basınç da daha az oranda arttırıldı. Bu etkiler, boru çapına, boru uzunluğuna, damar hacim ve hacim oranına, patlamanın başladığı kap, tozun patlayabilirliği ve havalandırma alanına bağlıydı. Etkili bir şekilde, havalandırma alanının boyutlandırılması için K_{St} nomograph yaklaşımı, kömür veya toner tozu kullanılarak 0.15 m çapında boru yoluyla bağlanmış kaplar için uygun bulunmuştur. Bununla birlikte, kaplardaki patlamalar, daha büyük çaplara (0,5 ve 0,25 m) sahip borular ile birleşti. Uzunluğu üretilen arttırılmış patlama basınçları. Basınç arttırma, iki gemi büyüklüğünde birincil ateşleme oluştuğunda daha büyük oldu. Damar hacim oranı basınç artışı arttırma eğilimindeydi. Ayrıca, 1:1 hacim oranında kap hacmi ne kadar büyük olursa basınç artışı o kadar büyük olurdu. Daha reaktif tozlar, toner ve antrakinon, kömürle karşılaştırıldığında eşdeğer kap / boru konfigürasyonlarında genel olarak daha yüksek azaltılmış patlama basınçları üretti. Daha büyük havalandırma bölgeleri, daha küçük havalandırma bölgelerinden daha düşük mutlak basınç üretti.

Lunn ve ark (1996) tamamen kapalı ve birbirine bağlı kaplarda toz patlamaları konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bazı endüstriyel toz tutma tesisleri, bir patlama meydana gelmesi durumunda aşırı basınçların tamamen önlenebileceği şekilde tasarlanmıştır. Bu tesisin en az 10 bar aşırı basınca dayanacak şekilde tasarlanması gerekir. Bu, tek kompakt kaplar için yeterli olabilir, ancak deney, birbirine bağlı tesislerde patlama basıncının önemli ölçüde

artabileceğini göstermiştir. Bu etki, basınç kazıcı olarak bilinen bir işlemden kaynaklanmaktadır. Bu işlemin etkilerini nasıl hesaba katacağınıza ilişkin yeterli rehber yoktur. Bu makale, bağlı kapalı kapların sistemlerinde toz patlamalarının davranışının incelendiği bir projeyi anlatıyor. Kömür tozu ve toner tozunun patlaması, 2 ila 20 m^3 boyutlarında ve 15 cm, 25 cm ve 50 cm çaplarındaki boruların 5 m uzunluğunda boruları kullanarak bir dizi bağlantılı sistemde üretilmiştir. Kaplardan birinde toz patlaması ateşlendiğinde ve alev diğerine iletildiğinde oluşan basınç değişiklikleri ölçülmüştür. Baskılama etkileri nedeniyle basınç artırımı bazı sistemlerde gerçekleşir ve 20 bar'a yaklaşan basınçlar ölçülmüştür. Boru çapı, damar hacimleri ve hacim oranı önemli değişkenlerdir. Bu sonuçlar tartışıldı ve patlama basınç arttırma etkilerinin hesaplanması için basit bir yöntem anlatıldı. Maksimum patlama basıncının ve deneysel ölçümlerin model tahminleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneyler, bazı durumlarda, ikinci kapta bir patlama meydana getirmek için boru boyunca ilerleyen bir patlama ihtimalinin düşük olduğunu göstermiştir. Ateşin borudan geçmesine ve jet alevinin ikinci kaba girmesine rağmen etkili bir ateşleme kaynağı olarak işlev görmemektedir. Boru çapı ne kadar genişse, ikinci kap içindeki patlama sıklığı da o kadar yüksektir.

Yıldırım ve Saraç (1996) Kömür tozlarının patlama karakteristiklerini 20 l'lik küreyle belirlemeye çalışmışlardır. Yeraltındaki kömürlerin işletilmesinde karşımıza çıkan en önemli sorunlardan birisi de kömür tozlarının patlamasıdır. Toz patlamaları insan hayatı ve maddi yönden oldukça büyük kayıplara neden olmaktadır. Bundan dolayı kömür tozlarının patlama karakteristiklerini deneysel yolla belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yöntemlerden bir tanesi de toz patlama küreleridir. Bu çalışmada, kömür tozlarının patlama mekanizmaları, patlayabilirliği etkileyen etmenler, inertleştirme teknikleri, toz patlama kürelerinin gelişimi konularına değinilmiştir. Ayrıca bu amaçla geliştirilen 20 1 patlama küresi tanıtılmıştır. Bu çalışmada kömür tozunun patlamasını etkileyen faktörlerin yanında kömür tozunun inertlenmesi de incelenmiştir.

Dastidar ve ark. (1997) Kömür tozu patlamalarının bastırılmasını etkileyen faktörler konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 20-L Siwek küresel patlama odasında kömür tozu patlamalarının bastırılması üzerine ateşleme enerjisi, kömür tozu konsantrasyonu ve parçacık boyutundaki kaya tozunun etkilerini incelemek için laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. Bir patlamayı bastırmak için gerekli olan kaya tozu miktarı, patlamayı başlatmak için kullanılan ateşleme enerjisi arttıkça artmıştır. Yüksek ateşleme enerjileri kullanıldığında aşırı miktarda kaya tozu gerekmektedir. Bunun nedeni, patlamaya aşırı tepki verme olarak bilinen bir olgudur. Bu sonuçların diğer araştırmacılardakiyle karşılaştırılması, 5 ve 2,5 kj'ü ateşleme kaynaklarının, maden ölçekli deneylerde ve ABD Maden Ocaklarında 20-L patlama küresinde elde edilenlere benzer şekilde, inert seviyeleri verdiğini gösterdi. Sonuçlar, ateşleme kaynağı> 5 kj olan testlerin bir patlamayı bastırmak için gereken kaya tozu miktarını tahmin edilenden fazla olduğunu gösterdi. İstenilen kaya tozu miktarı, kömür tozu konsantrasyonu Stokiyometrik bir uçucu+hava karışımı üretmek için gerekli olandan daha fazla arttığı görüldü. Deney sonuçları ayrıca, partikül boyutu düştükçe patlamayı engellemek için daha az kaya tozu gerektiğini gösterdi. Pocahontas ve Pittsburgh kömür tozu incelenmiş, Pocahontas'ın Pittsburgh'tan daha düşük bir uçucu maddesine sahip olmasına rağmen, benzer bozucu seviyelere sahip olduğu görüldü. Bu, standart proximity analiz testinden daha fazla uçucu madde çeken kömürden 20-L Siwek küresindeki deneysel koşullara atfedilebilir.

Cashdollar (2000) toz patlamalarına bir bakış olarak bir çalışma hazırlanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı endüstride kullanılan veya üretilen tozların güvenlik içerisinde üretilmesi, taşınması ve kullanılması için gerekli şartların araştırılmasıdır. Toz patlamasının olabilmesi için: patlayabilen toz, havada dağılmış olması, tutuşma limitinin üzerinde bir konsantrasyon, tutuşturma için yeterli enerji kaynağı ve kapalı bir alan gerekmektedir. Havada yanıcı malzemenin hızlı bir şekilde oksitlenerek yanması anlık ısı ve basınç değerlerini arttırmaktadır. Patlama şiddetleri kimyasal reaksiyona göre değişiklik göstermektedir. Toz yanma

özellikleri fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlı olmakla beraber özellikle tane büyüklükleri oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada toz patlama karakteristikleri yanıcı gazlarla olan ilişkileri yönüyle de kıyaslanacaktır. Bu karakteristiklerden bazıları; minimum patlama konsantrasyonu, maksimum patlama basıncı, basıncın ulaşacağı maksimum değer, oksijen konsantrasyon limiti, tutuşma sıcaklığı ve patlamayı engelleyecek minimum inert toz konsantrasyonudur. Değerlendirilecek parametreler ise; tozun uçucu madde içeriği, toz tanecik boyutu, havada dağılımı (türbülans), giriş basıncı ve oksijen konsantrasyonudur. Hem karbon içerikli tozlar hem metal tozları bu çalışmada aynı testlere tabi tutulmuşlardır. Bu çalışmanın temel amacı toz patlamalarının temel nedenleri ve sonuçlarını ortaya koymaktır.

Going ve ark. (2000) Çeşitli tozların tutuşma limitleri 1 m^3 ve 20 litrelik cihazlarda iki şekilde ölçülmüştür. İlk olarak minimum patlama konsantrasyonu (minimum explosible concentration (MEC)), çeşitli enerji değerlerinde ölçülmüştür. Daha önce çalışılan; bitümlü kömür, antrasit kömürü ve gilsonit'e ek olarak RoRo93, likopodyum (kibrit otu) ve demir tozu çalışılmıştır. Bu materyallerin seçilmesindeki amaç, kömür dışında metalik tozların özelliklerinin belirlenmesidir. Bulunan yeni MEC değerleri eski bilgileri doğrular yöndedir. Öneriler her iki test hücresini kapsayacak şekilde verilmiştir. Her iki cihazda patlama için gerekli oksijen limitlerini (LOC)belirlemek için de testler yapılmış olup farklı hacimlerde davranışları incelenmiştir. Sınırlı testler yüksek hızda gerçekleştirilmesi amacıyla 20 L hücrede yapılmıştır. LOC değerleri küçük hacimli test cihazlarında daha düşük değerler aldığı görülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki, küçük hacimli hücre için 2,5 kj iken 1 m^3'lük test cihazı için 10 kj enerjilerde LOC değerleri bulunmaktadır.

Sapko ve ark.(2000) tarafından kömür madenlerinde ve laboratuvarda 20 litre test cihazında yapılan deneyleri içeren bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı madenlerde güvenliği sağlamaktır. Ancak elde edilen veriler diğer endüstriler ve toz patlama riskinin olduğu diğer yerlerde de kullanılabilmektedir.

Maden endüstrisinde bulunan tozların minimum patlama konsantrasyonu ve patlamaya engel olabilecek minimum taş tozu (inert madde miktarı) gibi çeşitli karakteristiklerini belirlemek üzere ölçümler yapılmıştır. Bu tozlar bitümlü kömürler, gilsonit, petrol yatakları ve sülfürlü cevher tozlarını içermektedir. Bu testlerin tümü NIOSH'un Lake Lynn laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ölçekli testler, çeşitli enerjilerin ateşleyicilerini kullanarak 20-litrelik test aparatında yapılmıştır. Hem laboratuvar hem maden testlerinin yapılıp kıyaslanmasındaki amaç; yeraltı şartlarının en iyi şekilde simüle edilerek doğru sonuçlar alınması isteğidir. Yapılan çalışmalar sonucunda laboratuvar testlerinin paralel sonuçlar verdiği görülmüştür. Deneysel çalışmalar tozların patlama direncini ölçmek için yapılmıştır. Bu testlerin sonunda görülmüştür ki kömür tozunun patlaması çok büyük basınç artışlarına neden olmaktadır.

Dahoe ve ark. (2001) 20 l'lik patlama küresinde geçici akış üzerine bir çalışma yapmışlardır. Delikli Dispersiyon Halkası ile donatılmış 20 lt'lik patlama küresindeki türbülans seviyesi, lazer Doppler anemometre ile ölçülmüştür. Türbülansın uzamsal homojenliği, geçici akış alanında çeşitli yerlerde hız ölçümleri yapılarak araştırılmıştır. Yönlü izotropi anlık hızın iki bağımsız bileşenini ölçerek araştırıldı. Geçici türbülans seviyesi, üssünün, enjeksiyon işleminin başlangıcından sonra 60 ve 200 ms arasındaki dönemde 1,49 ± 0,02 sabit bir değere sahip olduğu formdaki bozunum yasasıyla ilişkilendirilebilir. Bu zaman aralığında, türbülansın da homojen ve pratik olarak izotropik olduğu gözlenmiştir. Bu araştırmanın sonuçları, öngörülen ateşleme gecikme zamanının ms'deki 20 lt'lik patlama küresindeki türbülans düzeyinin 1 m^3'lik kapta türbülans düzeyine eşit olmadığını ima etmektedir. Dolayısıyla, bu sonuçlar, küp kök kanunun, laboratuvar test kaplarında ölçülen toz patlama şiddetine dayanarak endüstriyel toz patlamalarının şiddetini öngörmek için kullanılabileceği yönündeki yaygın inançları sorgulamaktadır.

Dastidar ve ark. (2001) Laboratuvar ve orta ölçekli kürelerde kömür tozu patlamalarının etkisiz hale getirilmesi konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Orta ölçekli (1m3) ve laboratuvar ölçekli (20-L) kömür tozu inertizasyon sonuçlarını karşılaştırmak için deneyler gerçekleştirildi. Orta ölçekli inertizasyon seviyeleri, laboratuvar ölçekli değerlerden daha düşük gibi görünmektedir; bunun nedeni, testi başlatmak için güçlü bir ateşleme kaynağının kullanılması ve daha küçük test kürelerindeki patlamaya her zaman maruz kalabileceği düşünülebilir. Daha küçük test küresi ile alev ivmelenmesi nedeniyle tam ölçekli testler arasında önceden tahmin edilen değerler söz konusudur. Ek olarak, inertizasyon için kullanılan kaya tozu parçacık boyutunda bir azalmanın, 1 m^3 küresinde patlamayı önlemek için gereken miktarı etkilediği bulunmuştur. Bu daha küçük kürelerdeki daha önceki çalışmalarla da uyumludur.

Eckhoff (2004) Kısmen inert-toz patlamasına karşı korumada ilave bir özgürlük derecesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Kısmi inertleştirme uygulanırken patlayıcı tozun dağıtıldığı gaz (çoğunlukla havada) tamamen inert için gerekli gazdan (örneğin nitrojen) bir fraksiyon ile karıştırılır. Bu, toz bulutunun patlama ve ateşleme hassasiyetini azaltır. K_{St} (patlama şiddeti) ve MIE (minimum ateşleme enerjisi) üzerindeki etkiler özellikle telaffuz edilir. Aksi takdirde kullanımı zor olacak geleneksel koruyucu yöntemlerin uygulanmasını kolaylaştırabilir Bu çalışmanın amacı, toz patlamasının önlenmesinde kısmi olarak inert olma özelliğinin ilave derecesine dikkat çekmektir. Kömür tozu için yayınlanmış verileri ve havalandırma ebatlandırması için yeni Avrupa CEN standartları kullanılmıştır. Patlamalı havalandırma için minimum hava kirliliği gerekli alanlar, atmosferdeki oksijen içeriğinde bile ılımlı bir azalma ile azaltılmış K_{St} ve P_{max} değerlerinden dolayı belirgin bir şekilde azaltılır. Kalitatif bir olasılık argümanı kullanılarak, MIE'nin belirgin artışının Kısmi inertleme, minimum gerekli delik alanlarının daha da azaltılmasını haklı çıkaracaktır.

Amyotte ve ark (2005) Toz haline getirilmiş yakıt taşınmasında toz patlama tehlikesi konulu bir çalışma yapmışlardır. Bu makale, atık ürünlerin (uçucu kül ve kazan altı kül) toz haline getirilmiş yakıtlardan (kömür ve petrol kokundan) patlayıcı nitelikte olup olmadığını incelemek için yapılan deneylerin sonuçlarını

ortaya koymaktadır. Uçucu kül ve kazan altı kül için tek başına ve ayrıca yakıtlarla harmanlanmış seçilmiş uçucu küller için testler yapıldı. İlgilenilen patlama parametreleri patlama basıncı ve basınç artışı oranıydı. Uçucu küller patlama eğilimi göstermedi, Bununla birlikte kazan altı küllerden biri sınırlı patlayabilirlik gösterdi. Her iki bulgu da küllerin uçucu madde içeriğine atfen açıklanabilir. Kömür veya petrol kokunun uçucu kül ile karışması, uçucu içeriklerindeki patlayıcı karışımların %7-13 aralığında bulunmasıyla sonuçlanmış ve bu değer karışım bileşenlerinin bileşimine ve parçacık boyutlarına bağlı olarak ortaya çıkmıştır.

Eckhoff (2005) Toz patlama araştırmalarında mevcut durum ve gelecekte beklenen trendler konulu araştırma yapmıştır. Süreç endüstrilerinde toz patlamalarını önlemek ve azaltmak için 100 yılı aşkın süredir kapsamlı araştırma ve geliştirme yapılmasına rağmen, bu tehlike yanıcı materyallerin toz ve tozlarını üreten, kullanan ve/veya işleyen endüstrileri tehdit etmeye devam etmektedir. Gerçek toz bulutu yapılarını ve alev yayma süreçlerini tahmin etmenin yöntemlerinin olmaması, toz patlamalarının gidişatını ve sonuçlarını pratikte öngörmede önemli bir engel teşkil etmektedir. Bununla birlikte, bu problemleri çözmek için kapsamlı sayısal simülasyon modelleri geliştirmeye çalışılmaktadır. Bu, toz bulutu oluşumu ve yanmanın fiziği ve kimyası hakkında ayrıntılı deneysel ve kuramsal çalışmalar gerektirir. Bu çalışmada bu tür çalışmaların toz patlamalarını pratikte önleme ve azaltma araçlarının nasıl geliştirileceğini araştırılmıştır. Bununla birlikte, diğer alanlarda ilerleme de irdelenmiştir. Örneğin yanmayı önleme. Doğal olarak güvenli süreç tasarımının, toz bilimi ve teknolojisindeki bilgi birikimi ve personelin sistematik eğitim / öğretiminin önemi de vurgulanmaktadır.

Amyotte ve ark. (2006) Toz haline getirilmiş yakıt ve kül karışımları için patlama olasılığı parametrelerini incelemişlerdir. Bu çalışma, toz haline getirilmiş yakıt tozlarının (iki farklı kömür ve petrol kok) ve atık ürünlerinin (alt ve uçucu küller) patlayıcılığını incelemek için yapılan deneylerin sonuçlarını bildirmektedir. Testler sadece yakıt tozu için yapıldı ve ayrıca diğer yakıtlar ve küller ile

harmanlandı. İlgilenilen patlama parametreleri maksimum basınç ve basınç artışı hızı, ateşleme enerjisi ve sıcaklıktır. Petrol kokunun kömürlerden daha az patlama tehlikesi oluşturduğu bulundu. Kömür veya petrol kokunun uçucu kül ile karıştırılması, uçucu içeriğinde karışım bileşenlerinin bileşimine ve parçacık boyutlarına bağlı olarak patlayıcı karışımlar oluşturmuştur.

Amyotte (2006) Katı inertantlar ve toz patlamanın önlenmesi ve hafifletilmesinde kullanımı konusunda bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma toz patlaması riskini azaltmak için atıl tozların kullanımının hem önleme hem de azaltma planları yoluyla gözden geçirilmesidir. Fonksiyonel bir ayrım önce sırasıyla, patlama önleme ve patlama hafifletme bağlamlarında her terimi açıklayarak, inertizasyon ve bastırma arasında yapılır. Katı inertantların kullanımı daha sonra etkinliğini etkileyebilen çeşitli inhibitör ve duruma özgü parametreler bakımından tanımlanmaktadır. Son olarak, araştırma sonuçlarının uygulama örnekleri, araştırma laboratuvarları, test tesisleri, tasarım mühendisleri ve endüstriyel uygulayıcılar için verilmiştir.

Burada amaç, etkisiz hale getirme (yani patlama önleme) ve bastırma (yani patlama hafifletme) arasında açık bir şekilde tanımlamaktı. Bununla birlikte, belirli uygulamadan bağımsız olarak, etkinliğini etkileyen katı inertantların özelliklerini anlamanız önemlidir. Bu özellikler, atıl bileşimin kendisinin (ısınmanın, termal veya kimyasal yollarla veya bunların bir kombinasyonuyla oluşup oluşmadığını belirleyecektir) yanı sıra, özgül ısı, ısı ve bozunma hızı, ayrışma sıcaklığı ve parçacık boyutunu içerir. Göz önünde bulundurulması gereken önemli fiziksel parametreler yanıcı bir gazın, ateşleme enerjisinin ve ekipman ölçeğinin (hem boyut hem de geometri) birlikte bulunmasıdır. Makalenin son bölümü, katı inertantlar üzerine yapılan araştırma sonuçlarının pratikte uygulanması üzerine odaklanmıştır. İyi tanımlanmış cihazlar ve olgusal modelleme düşünülmesi gereken araştırma laboratuvarları için önemli faktörler olarak öne sürülmüştür. Daha ileri araştırma alanları hem deneysel hem de modelleme perspektifinden tespit edilmiştir. Test tesisleri, laboratuvar ölçekli sonuçların endüstriyel dünyaya

uygulanabilirliğini sağlamak için standart test yöntemleri ve en iyi uygulamaları benimsemeye teşvik edildi. Tasarım mühendisleri için minimum tutuşma enerjisinin önemi ve ayrıca yetersiz inertant ekleme etkilerinin anlaşılmasının önemi vurgulanmıştır. Hem patlama bastırma sistemleri hem de endüstriyel tesisler tasarlayan mühendisler için temel güvenlik önlemleri önem kazanmıştır. Endüstriyel uygulayıcılar için ihtiyati notlar, aktif koruma önlemlerinin kodlanmış devre dışı bırakma seviyeleri ve kurulum ve bakım gereksinimleri için bilimsel temel vurgulanması için sağlanmıştır. Son olarak, bu alandaki devam eden eğitim için bir vaka çalışması yaklaşımı önerilmiştir.

Krasnyansky (2006) Toz aerosol inhibitörü kullanarak gaz-hava ve toz-hava karışımlarında patlamaların önlenmesi ve bastırılması konusunda bir çalışma yapmıştır. Patlamaların önlenmesi ve bastırılması, çok araştırılan bir alan konusudur. Çünkü her yıl yüzlerce kömür madeni işçisi toz patlaması kurbanı oldu. Bu araştırmada patlamaların bastırılması için çok etkili bir toz "patlama bastırma için toz" (PBT) geliştirilmiş ve test edilmiştir. 'PBT' 'tozunu kullanarak laboratuvar koşullarında bir metan-hava karışımı patlamalarını bastırma deneyleri gerçekleştirildi. Bir " PBT " tozunun yardımı ile kömür tozu patlamasının gücünü düşürme olasılığı araştırıldı. Yapay oluşturulmuş mini-patlamalar (amonyak) kullanarak tozların neredeyse anında dağılmasının fizibilitesi araştırıldı. Deneysel tünel içindeki patlamanın varil-bastırıcısı incelendi ve deneysel tüneldeki metan hava karışımlarının patlamalarının bastırılması için geniş ölçekli testler de çalışma konuları oldu.

Abbasi ve ark. (2007) toz patlamaları nedenleri, sonuçları ve kontrolü ile ilgili detaylı bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada tozun tanımı, yanıcı olan ve olmayan tozların ayrımı, patlayıcı tozların sınıflandırılması, patlama için gerekli oksijen ve toz konsantrasyonları gibi konular incelenmiştir. Ayrıca yanıcı tozları yandığında ortaya çıkardıkları ısı enerjisine göre de sınıflandırmışlardır. Çalışma sonucunda metal tozları da dahil yeterli konsantrasyon ve şartlarda hemen her tozun patlayabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Dahası metal tozlarının yandığında

daha büyük ısıların ortaya çıkması sebebiyle bu tozların patlamalarının şiddetinin de daha büyük olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Amyotte ve ark. (2007) toz patlamalarının denetlenmesi konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İçsel güvenlik terimi tehlikelerin azaltılması ya da ortadan kaldırılması hususunda proaktif bir yaklaşımdır. İçsel güvenlik dört temel prensip üzerine kurulmuştur; minimizasyon, ikame, yavaşlatma ve sadeleştirme. Bu çalışmanın ana amacı da toz patlamalarının engellenmesi ve ya azaltılmasıdır. Tehlikenin azalması iki şekilde olabilir; çalışma hızının azaltılması ya da daha az tehlikeli malzeme ile çalışmadır. İkinci yaklaşımla ilgili olarak, iki şekilde mümkün olmaktadır. Birincisi inertizasyon (inert toz kullanarak), ikincisi ise tozların reaktivitesini düşürmek için tanecik boyutunun büyütülmesidir. Ayrıca, patlayıcı tozlar ve yanıcı gazların hibrit karışımların oluşturulması malzemelerin tehlikelerinden kaçınmak için iyi bir uygulamadır. Bu çalışmada yukardaki tehlike azaltma yöntemlerinden üçü için çeşitli örnekler sunulmaktadır. Katı malzeme karışımlarında aşağıdaki endüstriyel uygulamalardan örnekler içerir: (i) refrakter malzeme imalatı, (ii) gıda işleme, (iii) enerji üretimi, (iv) endüstriyel geri dönüşüm ve (v) dökümhane kaplama kalıp imalatı. Parçacık büyüklüğü ilk olarak Dow Fire & Patlama İndeksi ve mühendislik araçları açısından açıklanmıştır. Çalışma patlayabilirlik testi için toz ve uygun partikül büyüklükleri tanımı açısından profesyonel rehberlik gibi bir görev görmektedir. Endüstriyel örnekler aşağıdaki alanlarda ele alınmıştır: (i) Lastik geri dönüşümü ve tekstil imalatı, (ii) endüstriyel geri dönüşüm, (iii) ahşap işleme, (iv) kuru katkı işleme (polietilen tesisi), (v) polietilen imalatı, (vi) karbon blok geri dönüşümü ve (vii) kömür madenciliği.

Cashdollar ve ark. (2007) Pittsburgh araştırma laboratuvarıyla NIOSH'un ortaklaşa yürüttüğü bu çalışmada çeşitli metal tozları ve diğer tozların patlama sıcaklığı incelenmiştir. Elde edilen veriler toz bulutunun yanıcılık özelliğinin anlaşılabilmesi için oldukça kullanışlıdır. Toz çalışmaları boron, karbon, magnezyum, alüminyum, silikon, sülfür, titanyum, krom, demir, nikel, bakır, çinko, niyobyum, molibden, kalay, hafniyum, tantalyum, tungsten ve kurşun

minerallerini içermektedir. Tozların seçiminde fiziksel özellikler açısından mümkün olduğu kadar geniş bir aralık tercih edilmiştir. Uçucu madde oranlarına göre; magnezyum, alüminyum, sülfür ve çinko tercih edilirken yüksek refrakter özelliğine göre karbon, niyobyum, molibden, tantalyum tungsten ve kurşun tercih edilmiştir. Bu yanabilirlik çalışması için 20 litrelik test aparatı tercih edilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinde Çokdalgalı infrared pirometre kullanılmıştır. Çalışılan tüm elementel tozlar, nikel, bakır, molibden ve kurşun dışında tutuşma ve yanma sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçülen maksimum patlama sıcaklık Aralığı 1550 ºK ile kalay ve tungsten tozu ile 2800 ºK alüminyum, magnezyum ve titanyum tozu için ölçülmüştür. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerler kıyaslanmıştır.

Liu ve ark. (2007) Kömür tozu ve metan hibrit karışımında alev yayılımı konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yanma küresinde kömür tozu ve metan hibrit karışımı ile alev yayılımını araştırmak için alev yayılım sürecini kaydetmek ve direkt ışık emisyon fotoğraflar elde etmek için mikroskobik bir mercek ve Schlieren optik sistemli yüksek hızlı bir video kamera kullanıldı. Alev sıcaklığı ince bir termokupl ile tespit edildi. Metan ve hava karışımındaki askıda kalmış kömür tozu bir elektrik kıvılcımıyla yakıldı. Karışımın alev yayılma hızı ve maksimum alev sıcaklığı analiz edildi. Elde edilen sonuçlar, kömür tozu ve metanın birlikte bulunmasının, alev yayılma hızını ve maksimum alev sıcaklığını özellikle tek kömür tozu alevininkinden çok daha fazla arttırdığını göstermektedir. Alev ön sıcaklığı kömür tozu konsantrasyonuna göre değişir.

Sapko ve ark.(2007) tarafından yapılan bir araştırmada Amerikan ulusal mesleki ve sağlık enstitüsü (NIOSH) ve maden işlerinde iş sağlığı ve güvenliği dairesi (MSHA)'nın ortaklaşa yürüttüğü çalışmada çeşitli kömür ocaklarından toplanan toz numuneleri içindeki kömür tozu numunelerinin boyutunu belirlemeye çalışmışlardır. Bu konuda yapılan en son çalışma 1920 yılına aittir. Kömür tozunun boyutu inert toz miktarını belirlemede oldukça büyük önem arz etmektedir. Kömür tozu boyutu küçüldükçe içine karıştırılacak inert toz miktarının artmasına neden olacaktır.

Toz numuneleri MSHA yetkilileri tarafında on farklı bitümlü kömür ocağından toplanmıştır. Numuneler her bir madenden birkaç yerden alınmıştır. Laboratuvar analizleri asit liçi yardımıyla kireç tozlarının ortamdan uzaklaştırılmasını içermektedir. Sonik elek yardımıyla tane boyut analizi yapılmıştır. Düşük sıcaklık külü analizi ile de geriye kalan yanmaz malzeme miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki bulunan toz boyut değerleri 1920 de ölçülen değerlerden oldukça düşüktür. Tanecik boyutunun küçük olması giriş havasındaki inert madde miktarının %65'in üzerine çıkması için artması gerektiğini göstermiştir.

Dufaud ve ark. (2009) Buhar/toz hibrit karışımlarının patlaması: Belli bir sınıf üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın amacı, melez karışımların patlamasının özel yönlerini buhar ya da toz patlamalarına göre göstermektir. Bu çalışma, katkı maddelerinden aktif ilaç maddelerine ve bunlara bağlı solventlere yönelik farmasötik ürünler üzerine yoğunlaşmaktadır. Patlama küreli deneyler, tozların ve buhar konsantrasyonlarının patlama şiddeti (maksimum basınç P_{max} ve maksimum basınç yükselme hızı $(dp/dt)_{max}$) üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılmıştır. Sonuçlar, bu melez karışımların patlama davranışının ya buhar ya da toz patlamalarına göre önemli farklar ortaya koyduğunu açıkça göstermektedir; Özellikle yanma kinetiği ve zayıf karışımlar için basınç artışı oranı üzerine bir yükseltme etkisi yaratmaktadır. Az miktarda buharın minimum patlayıcı toz konsantrasyonu (MEC) ve alt patlama limitine (LEL) toz ilavesi üzerindeki etkileri dikkati çekmektedir.

Eckhoff (2009) Toz patlamalarını anlama. Toz bilimi ve teknolojisinin rolü üzerine bir araştırma yapmıştır. Süreç endüstrilerindeki toz patlamaları neredeyse her zaman değirmenler, kurutucular, karıştırıcılar, sınıflandırıcılar, konveyörler, depolama siloları ve hazneler gibi süreç ekipmanları içinde başlar. Herhangi bir toz türü için, toz bulutlarının tutuşabilme kolaylığı ve yanma hızı, toz bilimi ve teknolojisinde iyi bilinen faktörlerle önemli ölçüde değişir. Anahtar faktörler, tozun birincil partikül boyutu dağılımı, buluttaki toz partiküllerinin dağılma derecesi,

bulutta toz konsantrasyonu dağılımı ve bulut türbülansıdır. Son üç faktör tamamen toz bulutunun üretildiği ve sürdürüldüğü gerçek süreç durumuna bağlıdır. Bu çalışmada ilk önce bu faktörlerin toz bulutlarının ateşleme hassasiyeti ve patlama şiddeti üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. İkincisi, ihmal sonucu oluşan toz patlamalarını önlemek için doğal olarak daha güvenli işlem tasarımı kavramı, örnek olarak hazneler ve siloların tasarımı kullanılarak tartışılmaktadır. Sonra, patlama izolasyonu, patlama havalandırma ve otomatik patlama bastırma gibi hafifletici önlemlerin tasarımında bahsedilen faktörlerin bazı sonuçları tartışılmaktadır. Toz bilimi ve teknolojisinin ikincil toz patlamalarının gelişimini ve yayılımını anlamadaki rolü de değerlendirilmektedir.

Zheng ve ark. (2009) Çin'de kömür tozu patlamalarından kaynaklanan maden kazalarını istatistiksel olarak incelemiş ve bu sonuçları değerlendirerek alınması gereken önlemleri belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmada patlamada etkili; yeraltı boşlukları, zaman, kömür tozunun uçucu madde oranı, tutuşturma kaynağı ve kaza kategorileri gibi faktörler incelenmiştir. Yapılan bu çalışma sonunda toz kazalarının %94'ünün ihmal kaynaklı olduğu ve önlenebileceği sonucuna varılmıştır. Meydana gelen kazaların istatistiğinin çok iyi tutulması ve kaza sebeplerinin ortadan kaldırılması sayesinde daha güvenli bir çalışma ortamının oluşacağı gerçeği ortaya çıkmıştır.

Liu ve ark. (2010) kömür tozu–hava karışımlarının geniş ölçekli borularda patlamalarını incelemişlerdir. Zayıf ateşleme şartlarında Kömür tozu/hava karışımı patlamaları, çapı 199 mm ve uzunluğu 29,6 m yatay deney tüpü içinde incelenmiştir. Deney tüpünün üst ucu açık ve alt ucu kapalı durumdadır. Toz parçacıklarının deney tüpü içinde dağıtılması (dispersiyon) için 40 eşit aralıklı toz dağıtma sistemi kullanılmıştır. Kömür tozu–hava karışımları elektrik kıvılcımıyla tutuşturulmuştur. Sabit bir sıcaklıkta sıcak tel anemometre dispersiyon işlemi sırasında gaz hızının ölçülmesi için kullanılmıştır. Kistler piezoelektrik basınç sensörleri süreç boyunca basınç dalgasının yayılmasını ölçmek için kullanılmıştır. Tüp içinde zayıf ateşleme koşulları altında kömür tozu patlamasının maksimum

basıncı 70 kPa ve boru boyunca basınç dalgasının yayılma hızı yaklaşık 370 m/s idi. Tüp boyunca yayılan bir kömür tozu patlaması elde etmek için en düşük konsantrasyon 120 g/m^3 tür. Bu çalışmada toz bastırma faktörlerinin belirlenmesi için iki farklı kömür numunesi üzerinde çalışılmıştır.

Taveau (2010) Havalandırılmış toz patlamalardan patlama etkileri için korelasyonlar adlı bir çalışma yapmıştır. Ampirik korelasyonlar toz patlamaları durumunda güvenlik mesafelerini tahmin etmek için sıklıkla kullanılır. Avrupa'da, VDI 3673 ve EN 14491'de iki ana korelasyon mevcuttur. VDI 3673 korelasyonu, büyük damarlarda kullanan havalandırmalı toz patlamalarının deneysel araştırmalarına dayanmaktadır ve harici bir patlamaya tabidir. Mühimmat deposunda iç patlama testleri Skjeltorp ve ark. tarafından EN 14491 korelasyonuna göre oluşturulmuştur. Bu çalışma havalandırılmış gaz ve toz patlamasının deneysel çalışmalarına genel bir bakış sunmaktadır. Bu çalışmaların temel bulgularını vurgulamayı amaçlarken ikincil bir patlama için koşulları belirlemek ve deneysel verileri standartların uygulanması ile karşılaştırarak daha uygun korelasyon seçme öğelerini önermek amaçlanmaktadır.

Bai ve ark. (2011) Patlama basınç bölgesi ve metan-hava ve metan-kömür tozu-hava karışımlarının alev yayılımı konusunda bir çalışma yapmışlardır. Metan/hava karışımının ve metan/kömür tozu/hava karışımının 40 J merkezi kıvılcım ateşleme koşulu altında patlaması, büyük ölçekli 10 m^3'lük bir küre sisteminde deneysel olarak incelendi. Ateşleme noktasından farklı mesafelerle boşluklara beş basınç sensörü yerleştirildi. Alevin büyümesini kaydetmek için yüksek hızda bir kamera sistemi kullanıldı. Metan/hava karışımının maksimum aşırı basıncı, ateşleme noktasından 0,75 m uzakta göründü; Alevin kalınlığı yaklaşık 10 mm idi ve alev yayılım hızı yaklaşık% 2,5'luk bir dalgalanma gösterdi ve metan konsantrasyonu% 9,5 idi. Metan/kömür tozu/hava karışımının maksimum basıncı artışı 0,5 m'de belirdi. Alev, sırasıyla kırmızı bölge, sarı aydınlatma bölgesi ve parlak beyaz aydınlatma bölgesi dışında üç eş merkezli bölge yapısına sahipti;

Alev kalınlığı ve yayılma hızı kademeli olarak arttı, kırmızı bölge kalınlığı ve sarı ışıklı bölge 3,5 cm ve 1 cm'ye ulaştı, hız 28 saniyede 9,2 m/s'ye ulaştı.

Chunmiao ve ark. (2011) toz patlamalarından korunma ve toz patlamalarının önlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu konu dört ana temel üzerine dayanmaktadır. Toz patlaması koşulları ve sonuçları bir iskelete oturtulmuştur. Bunun sonucunda hâlihazırda Çin'de mevcut olmayan antigrizu sistemlerin acilen kurulması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çok yönlü koruma düşüncesinden hareketle toz patlamalarını kontrol altına alabilmek için teknik önlemler, mühendislik önlemler ve deneysel testler yapılmalıdır. İşçilerin doğal güvenlik şartlarını sağlamak için mühendislik ve teknik uygulamalar oldukça önemlidir. Geribildirim mekanizması ve özellikle de olumlu geribildirimler insanın olumsuz davranışlarının azaltılması için çok önemlidir. Örnek olay çalışmasında ortaya çıkan sonuca göre doğal güvenlik ilkeleri oluşturma toz patlaması riski olan bölgelerde risk azaltıcı kılavuz görevi görmektedir.

Davis ve ark. (2011) Tesisinizde toz sorunu var mı? Toz patlama tehlikelerinin değerlendirilmesi için yöntemler konulu bir çalışma yapmışlardır. Tesislerde meydana gelen toz patlamalarının tehlikeleri basınç, sıcaklık ve akış karakteristikleri gibi süreç parametrelerinin yanı sıra geometri yerleşimi, hareket eden elemanların varlığı, toz patlama özellikleri gibi ekipman özelliklerini içeren çok çeşitli etkenlere bağlıdır. İyi bir toz patlama riski değerlendirmesi, tüm tehlikelerin belirlenmesini, oluşma ihtimalini ve potansiyel sonuçların ciddiyetini içeren kapsamlı bir yöntemdir. Toz patlamalarının sonuçları hem birincil hem de ikincil olayların sonuçları dikkate alınarak personel ve ekipman için uygun bir sonuç olarak tanımlanmaktadır. Bazı standartlar patlama önleme ve korumanın tüm temel unsurlarını kapsarken, AB ATEX ve Seveso II direktiflerinin gerektirdiği gibi Avrupa'da sistematik risk değerlendirmeleri ve alan sınıflandırmaları zorunludur. Birleşik Devletler 'de, NFPA 654, yangın ve patlama güvenliği hükümlerinin tasarımının, tesisin, sürecin ve buna bağlı yangın veya patlama tehlikelerinin süreç tehlike analizine dayandırılmasını şart koşar. Bu çalışmada

SCRAM (kısa vadeli risk analizi yöntemi) gibi teknikleri potansiyel olarak tehlikeli koşulların belirlenmesine ve yüksek riskli alanları azaltmada önemli yardımların sağlanmasına nasıl yardımcı olabileceğini göstereceğiz. Bir toz patlamasının olasılığı, ateşleme ihtimaline ve yanıcı toz bulutlarının oluşma ihtimaline dayanır. Tüm olası ateşleme kaynakları gözden geçirilirken, en önemlileri açık alevler, mekanik kıvılcımlar, sıcak yüzeyler, elektrikli cihazlar, içten içe yanma, (kendiliğinden tutuşma) elektrostatik kıvılcımlar ve deşarjları içerir. Toz bulutlarının ortaya çıkma ihtimali hem süreç hem de toz dağılım özellikleriyle yakından ilişkilidir. Risk değerlendirme teknikleri, özellikle de ikincil toz patlamalarının büyük sonuçları nedeniyle (bunlar nispeten iyi olmasına rağmen) iyi bir temizlik hizmetinin önemini ortaya koyduğundan, toz patlamalarının sonuçlarını belirleyen faktörler, personel sıklığı, ekipman gücü, uygulanan sonuç azaltma önlemleri ve ortam temizliği gibi konuları içermektedir. Potansiyel toz bulutlarının tutuşabilirliği ve patlayabilirliği ayrıca genel risk belirlemede çok önemli bir rol oynar. Sınıflar, hem düşük olasılıklar hem de sınırlı yerel hasar ile yüksek olasılıklı oluşum ve katastrofik hasara kadar, toz patlamaları olasılığını ve bunların sonuçlarını tanımlar. Kabul kriterleri, olayların olasılığı ve sonucuna dayanarak belirlenir. Risk değerlendirme teknikleri aynı zamanda yeterli risk azaltma önlemlerini seçmeye de izin verir: hem önleyici hem de koruyucu. Tespit edilen patlama risklerini azaltmak için teknikler şunları içerir: Diskleri patlatma ve söndürme tüpleri, patlama bastırma sistemleri, patlama izolasyon sistemleri, hareketsizlik teknikleri ve sıcaklık kontrolü. Gelişmiş CFD araçları (DESC), yalnızca toz patlama tehlikelerini değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda bastırma ve havalandırma da dâhil olmak üzere koruyucu tedbirler konusunda önemli bilgiler sağlar.

Kuai ve ark (2011) Kömür tozu-inertant karışım patlama davranışlarının deneysel araştırmaları konusunda bir çalışma yapmışlardır. Patlama şiddeti ve yanma limiti Siwek 20 L küresi kullanılarak test edildi ve ateşleme enerjisi, kömür tozu kalorifik değeri, kömür tozu konsantrasyonu ve inert kompozisyonunun

etkileri göz önüne alındı. Ateşleme enerjisiyle sonuçların etkisiz hale gelmesi, ateşleme enerjisi 5 kj'ü aştığında yaklaşık bir stabilizasyon izler. 5-10 kj 'lik ateşleme enerjisi bölgesi inert testler için uygundur; oysa 5 kj'den daha düşük enerjili ateşleyiciler gerçekçi olmayan ısıl işlem sonuçları verir. Kötü toz kalorifik değerinin azaltılmasıyla atıl maddenin inert etkinliği artar. Stokiyometrik konsantrasyona yakın kömür tozu konsantrasyonları, patlamaları bastırmak için en fazla inertant miktarını gerektirir. Kömür tozu konsantrasyonu Stokiyometrik değerin ötesinde arttıkça, inert madde miktarı azaltılır. Etkin ayrışma ve özel alev söndürme mekanizması nedeniyle, monoamonyum fosfat, kalsiyum karbonattan daha etkili bir ıslah etkisini temsil eder.

Kuai ve ark. (2011) Magnezyum tozunun patlama karakteristiklerine ilişkin deneysel araştırmalar yapmışlardır. Magnezyum toz patlamaları üzerinde deneysel bir araştırma yapılmıştır. Siwek 20 L küresiyle patlama şiddeti, alevlenebilirlik sınırı ve katı inertizasyon testleri yapıldı ve toz konsantrasyonu, parçacık boyutu, ateşleme enerjisi, başlangıç basıncı ve ilave inertant etkisi göz önüne alındı. Araştırma ve karşılaştırmadan sonra magnezyum tozu, bir kömür tozundan daha fazla patlama tehlikesi oluşturduğu teyit edilmiştir. GB/T 16425 Çin prosedürü, LEL tespiti için aşırı derecede ölçülü iken, EN 14034-3 gerçekçi LEL verisi verir. Ayrıca, 2000-5000 J, magnezyum tozlarının LEL belirlenmesinde kullanılacak en uygun ateşleme enerjisinin, 20 L'lik kap kullanılması önerilir. Aşırı gerilme olgusunun, genellikle karbonlu ve daha az uçucu metal malzemeler için oluştuğunun, magnezyum tozları için dikkate değer olmadığına işaret etmek esastır. Daha hızlı yanma hızının eğilimleri ve daha verimli ve adyabatik alev yayılımı, yakıttan zengin toz bulutları, daha küçük parçacıklar ve hiperbarik koşullarla ilişkilidir. Dahası, $CaC0_3$'ın ıslatma etkinliği, termodinamik üzerinde KCl değerlerinden daha yüksek gibi görünürken, KCl, kinetik üzerine daha yüksek etkililiği temsil etmektedir. İnce inert toz, daha iyi bir içten yanma etkinliği gösterir.

Sanchirico ve ark. (2011) Hibrit karışım patlamalarının şiddeti ve saf toz-hava ve buhar-hava patlamalarıyla karşılaştırılması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada heterojen/homojen yakıt-hava (hibrit) karışımlarının patlama davranışı analiz edilerek heterojen yakıt-hava ve homojen yakıt-hava karışımlarının patlama özellikleri ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Buhar / hava karışımlarına adapte edilmiş standart bir 20 lt Siwek bombası içindeki nikotinik asit/aseton-hava karışımlarının basınç geçmişi, havaya fırlama endeksi ve alevlenme limitlerini ölçmek için deneyler gerçekleştirilmiştir. Literatür verileri de karşılaştırma için kullanılmıştır. Gaz-hava karışımlarının patlama testleriyle aynı koşullarda gaz karışımı karışımlarında yapılan patlama testleri, toz/gaz-hava karışımlarının patlama şiddetindeki artışın, ateşlemeden önce türbülansın başlangıç seviyesinin rolüne değinilmesi gerektiğini göstermektedir. Eşdeğerlik oranının sabit bir değerinde, tozun toz/gaz-hava karışımında yanıcı gaz ile değiştirilmesi patlama şiddetini azaltır. Ayrıca, en şiddetli toz-gaz/hava karışımı koşulları, Stokiyometrik konsantrasyonda gaz-hava karışımının patlaması sırasında bulunmuştur.

Späth ve ark. (2011) tarafından aktif toz bastırma yöntemi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Teknolojideki ve endüstrileşmedeki ilerlemelere paralel olarak madencilik sektöründe de sürekli bir gelişme gözlenmektedir. Bu gelişmelerden en önemli olanları büyük ölçekli makinalar ve otomasyon olarak ele alınabilir. Buna karşın büyük miktarda üretimin getirdiği bazı riskler de ortaya çıkmaktadır. Bunlar; gaz ve toz patlamaları gibi risklerdir. Geleneksel yöntemlerle toz patlamalarının önüne geçilmesi oldukça zorlaşmıştır. HS yöntemi olarak bilinen aktif bastırma yöntemi oldukça olumlu sonuçlar vermiştir. Ayrıca bu yöntemin pratikliği de ayrı bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Bu teknoloji madencilik çalışmalarında pratik ve profesyonel çözümler sunmaktadır.

Aktif bastırma teknolojisi, gazın ve kömür tozunun yüksek hızda algılanması, analiz edilmesi ve bastırma yoluyla patlamanın önüne geçilmesidir. Bu sistemin temel fonksiyonu:

- Gaz ve toz bastırma işlemi maden yüzeyinde (aynasında) yapılmaktadır.
- Maden boyunca yayılması sayesinde gaz ve toz patlaması önlenmektedir.

HS sisteminin doğruluğunu göstermek amacıyla tüm donanımıyla bir sistem inşa edilmiştir. GMRA ve CSIR tarafından sistemin değişik aplikasyonları test edilmiştir. İspanya, Amerika, Avustralya ve Çin'den araştırmacılar yüzden fazla testi değişik koşullarda ve değişik şartlarda denemişlerdir. Yapılan bu çalışmaların hepsinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Taveau (2011) İkincil Toz Patlamaları: Onları Nasıl Önleyebilir veya Etkilerini Azaltabilirsiniz konulu bir çalışma yapmıştır. Toz patlamaları, süreç endüstrisinde sıkça karşılaşılan ve özellikle yıkıcı patlamalardır. İkincil toz patlamaları en şiddetli patlamalardır. Birincil patlamalardan gelen patlama dalgası, tesiste bulunan toz katmanlarını kaldırdığında, ilk patlama ile ateşlenen büyük bir toz-hava yanıcı karışımı yarattığından ikincil bir toz patlaması meydana gelebilir. Patlama dalgası tesis boyunca ilerledikçe, ortaya çıkan alevin tozu yakıtla beslenir ve büyük toz miktarı ve ateşlenmenin yüksek enerjisi nedeniyle geniş patlamalara neden olur. Birkaç ikincil toz patlaması vakası Eckhoff tarafından analiz edildi. Son yıllarda ABD'de meydana gelen büyük kazalar, toz patlamaları riskinin arttığına işaret eden Kimyasal Güvenlik Kurulu (CSB) özel bir rapor hazırlamak için çalışma yürütüyorlardı. Bu olaya bir örnek, 7 Şubat 2008'de Port Wentworth (Gürcistan) Imperial Şeker Şirketinde meydana gelen ve 14 kişinin ölümüne neden olan ve 36 kişinin yaralandığı büyük patlamadır. İkincil toz patlamalarının sonuçları çarpıcı olabileceğinden, bazı uygun tedbirler alınmazsa yalnızca küçük bir patlama (örneğin bir teçhizattan başlayarak) büyük bir ikincil patlamaya dönüşebilir. Bu çalışma, birkaç ikincil toz patlama kazası hakkında genel bir fikir vermek ve bu felaketlerin önlenmesi veya hafifletilmesi için bazı pratik çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

Yan-qiang ve ark. (2011) Kömür Madeni Tozu Üzerinde Son On Yıl İçindeki Yeni Gelişmeler konulu bir çalışma yapmışlardır. Kömür madeni tozu

kömür madeninde yaşanan beş felaketten biridir ve bu da büyük bir kayıp oluşturmuştur. Son on yılda kömür ocak tozuyla ilgili yeni araştırma ilerlemesini sistematik olarak araştırmak için, kömür madeni tozu üzerine daha ileri araştırmalar için talimat verilmiştir. ABD EI Compendex 2001-2010 döneminde ilgili literatürlerde arama yapmak için ABD EI Compendex kullanılmıştır. Bu literatürlere ayrıntılı olarak istatistikler yapılmıştır. İstatistik ve analiz sonuçları şu şekilde ortaya çıktı: Araştırma literatürü, özellikle 2008, 2009, 2010; Çin en fazla çalışan ülkedir, ilerleme oranı da% 50'den fazla artmıştır. Araştırma yönergeleri ağırlıklı olarak toz karakteri, hukuki araştırması, toz patlaması vb. Konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Tartışmalar kömür madeninde toz araştırması, bir hastalık etkisi ve Çin kömür tozu hastalığının sayısı bakımından yüksektir. Sonunda kömür madeni toz araştırmasının uzun vadeli ve zorlu çalışmalarını ortaya koydu.

You ve ark. (2011) Deney tüpündeki kömür tozu/metan/hava karışımı patlamasının su buharı ile bastırılması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada, kömür madeninde sıkça meydana gelen kömür tozu/metan/hava karışımı patlamasını engellemek için etkili ve güvenilir önlemlerin geliştirilmesi için metan varlığının kömür tozu patlamasına etkisi araştırılmıştır. Alev yayılma hızı ve patlama sıcaklığı, karışımdaki farklı metan konsantrasyonu ile patlama testleri için ölçülmüştür. Ateş gelişme öyküleri de yüksek hızlı kamera ile kaydedilmiştir. Su buharının inhibisyon verimi, nitel olarak incelendi ve gaz mekanizması hedef toz patlamasının açıklanmasıyla analiz edildi. Sonuçta su buharının, alev yayılma hızını, alev sıcaklığını etkili bir şekilde düşürebileceği ve gazın ve kömür tozu patlamasının alev özelliklerini değiştirebildiğini gösterdi. Su buharının gaz ve kömür tozu patlamasını etkili bir şekilde engelleyebileceği sonucuna varılmıştır.

Zhen-feng ve ark. (2011) Engelli tüp içindeki su buharı ile gaz ve kömür tozunun patlamasını engelleme üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Sıvı bastırma ve söndürme alevinde normal su buharı çok etkilenir, ancak fiziki söndürme kabiliyeti çevredeki ortamdan etkilenir. Kömür madenindeki yollar çok

karmaşıktır. Dolayısıyla ilgili deneyler göz önüne alınmalıdır. Su gözünün hafif boyutlu deneyi, boru hattı ile maden çevre analog simülasyonunu yapmak için üretilmiştir. Orta basınç su buharı ile yalnız yol şeridindeki gaz ve kömür tozu patlama yayılımı deneyince bastırılır. Engel (blokaj) oranı% 30 olan farklı konumlara yerleştirilir. Daha sonra bastırmanın gaz alevi üzerindeki etkisini farklı konumlarla karşılaştırabiliriz. Deney sonuçları engeli, buhar bölgesinin ön, orta ve sonuna yerleştirdiğini göstermektedir. Gaz alevinin yayılım hızı farklıdır. Deneyde gaz içeriği ve tıkanma oranı düşük ayarlanmıştır. Engel su buharı alanının ortasına veya sonuna yerleştirildiğinde daha iyi engelleme etkisi elde edebilir. Böylece, su buharı sisteminde engel önlenemiyorsa, tasarımcı engeli düşünmelidir. Su buharının bastırma etkisini artırabilir.

Bind ve ark. (2012) Toz patlamalarının modellenmesine yönelik reaksiyon mühendisliği yaklaşımı konulu çalışmalarında toz patlamalarını bilgisayar programı yardımıyla modellemeye çalışmışlardır. Toz patlaması, gıda, enerji, savunma (itici ve patlayıcı) ve ilaç gibi hayati sektörlerde sıkça karşılaşılan büyük bir tehlike. Bu patlamalar, mikron aralıktaki askıda bulunan ince parçacıkların bulutlarının hızlı bir şekilde yanmasından kaynaklanır. Toz patlama yayılımının niceliksel olarak tahmin edilmesi, onların azaltılması ve emniyet sistemlerinin tasarımı için patlama davranışını belirleyen fiziksel miktarların tahminleri için önemlidir. Bu katkıda, toz patlamalarının modellenmesi için çok ölçekli bir reaksiyon mühendisliği yaklaşımı sunulmuştur. Modelde iki ölçek kullanılmıştır. Parçacık ölçeğinde, çeşitli taşıma adımlarını içeren ayrıntılı bir model çeşitli sınır koşulları için yazılır ve çözülür. Bu model, uygun bir kaynak terimi yoluyla toz bulutu-ölçekli CFD modeline dahil edilen etkili bir reaksiyon oranı terimini oluşturmak için kullanılır. Daha sonra etkili toz bulutu karışımı için CFD modeli, toz patlamasının yayılımını modellemek için yürütülür. Elde edilen CFD modelinin validasyonu, literatürde yayınlanan deneysel veriler için alüminyum (metalik toz) ve nişasta (organik toz) olmak üzere iki farklı toz parçacığı için gerçekleştirilmiştir. Son olarak, gerçek durumların modellemesinde mevcut yaklaşımın

uygulanabilirliğini gösteren bir vaka çalışması sunulmuştur. Aynı fizik ve parçacık ölçekli model veya daha küçük ölçekli deneylerden elde edilen tahmini kinetik parametrelerin kullanılmasının, gerçek geometrilerdeki toz patlamaları için oldukça tatminkâr tahminlerin elde edilebileceği gösterilmiştir.

Du ve ark. (2012) toz patlamalarında inert tozun etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Sistematik deneyler, kömür tozu-inert karışımların patlamaları üzerine gerçekleştirildi. Patlamanın şiddeti, Siwek 20 lt'lik küre vasıtasıyla elde edildi ve havalanma mekanizması ve atalet kompozisyonu gibi inert etkinliğini önemli derecede etkileyen faktörler göz önüne alındı. Kömür tozu patlamalarının reaksiyon mekanizmasını tanımlamak için termal gravimetrik analiz testleri yapılmıştır. Sonuç olarak, bitümlü kömür tozu homojen mekanizma ile havaya uçarken, antrasit tozu çoğunlukla heterojen reaksiyon mekanizmasına sahiptir. Sonuçlar, fonksiyonel mekanizmaların bitümlü kömür ve antrasit tozları için oldukça farklı olduğunu ve homojen yanma tozunun heterojen reaksiyon toza göre çok daha kolay engellendiğini ortaya koymaktadır. Daha yüksek bozulma etkinliğinin eğilimleri, daha iyi bozunabilirlik, oksijen bloke etme performansı ile ilişkilidir. Dahası, alevi söndürmede monoamonyum fosfattan ayrışan serbest amonyağın özel etkinliği tanımlanmıştır. Eklenen su, kömürün tozunu nemlendirmenin patlamanın önlenmesi ve hafifletilmesi için maliyet açısından etkili bir yaklaşım olduğu fikrini veren, nem tarafından uyarılan parçacık yığılmasına bağlı olarak en iyi ısınmayı önleyici etkileri göstermiştir.

Eckhoff (2012) toz patlama riski mikron boyutlu partikül tozlarından nano boyutlu tozlarına dönüşürken artar mı konulu bir çalışma yapmıştır. Parçacık boyutlarının 1-0.1 μm aralığına kadar olan toz dağılımı deneyimlerine dayanarak, yanıcı nm partikül tozlarından gelen toz bulutlarının aşırı ateşleme hassasiyetleri (çok düşük Minimum Tutuşma Enerjisi (Minimum Ignition Energy (MIE)) ve aşırı patlama oranları (çok yüksek KSt değerleri) göstereceğini düşünebiliriz. Bununla birlikte, bu durumun olmayabileceği iki temel fiziki neden vardır. İlk olarak, nm partiküllerinden oluşan dökme tozların, iyi dağıtılmış birincil partiküllerden oluşan

toz bulutlarına dönüşmesi, çok güçlü parçacıklar arası kohezyon kuvvetleri nedeniyle son derece zordur. İkincisi, yine de mükemmel bir dağılım sağlanırsa, patlayıcı kütle konsantrasyonlarında bulutlardaki aşırı hızlı pıhtılaşma süreci, birincil nm parçacıklarını bir saniyenin kesirleri içerisinde çok daha büyük aglomerasyona dönüştürecektir. Ayrıca, toz bulutlarında organik tozlar ve kömür için alev yayılımının temel mekanizması, partikül boyutu <1 μm aralığında azaldığından artan bulut patlama oranlarının beklenmeyeceğini düşündürür. Genel bir sonuç, nm birincil parçacıklardan oluşan toz bulutlarının, μm birincil parçacıkların bulutlarından daha şiddetli K_{St}-değerleri sergilemesi beklenmemektedir ve son deneysel sonuçlarla uyumludur. Ateşleme hassasiyeti durumunda son zamanlarda yayınlanan çalışmalar, bazı metal tozlarının havadaki bulutların MIE'lerinin nm partikülleri için μm partiküllerinden çok daha düşük olduğunu göstermiştir.

Li ve ark. (2012) H_2/CH_4/hava ve CH_4/kömür tozu/hava karışımlarının patlama karakteristiklerini incelemişlerdir. Standart bir 20 lt patlama küresel kap kullanarak, H_2/ CH_4/hava ve CH_4/kömür tozu/hava karışımlarının yanı sıra katı patlama ürünleri patlama özellikleri araştırıldı. Sonuçlar, kömür spontane ısıtılmış süreçten moleküler hidrojen verimi varlığının, H_2/CH_4/hava karışımlarının maksimum patlama basıncını ve basınç yükselme oranını önemli ölçüde artıracağını göstermektedir. Karışımlardaki hidrojen içeriğinin artmasıyla birlikte, buna bağlı olarak patlama limitleri azalır. Uygun hidrojen ve metan oranı olan durumlarda, karışımın alttaki patlama limitleri her bir gaz bileşenininkinden daha küçüktür. "CH_4/hava/kömür tozu karışımlarının patlama parametrelerinin kuralları, karışımlardaki metan içeriği ile artan ve düşen bir eğilim gösterir ve zirve değerleri, metan hacim fraksiyonlarının 0,1 olduğu noktada görülür. Ayrıca, tozun patlama süreçleri, toz konsantrasyonu ve başlangıç basıncı gibi bazı etkileyen faktörler de analiz edilmekte ve tartışılmaktadır. Sistematik olarak. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve görüntü işleme teknolojisi ile desteklenen katı patlama ürünlerinin yüzey fraktal özellikleri analiz edilir ve her kömür tozu için

karşılaştırılır. Araştırma sonuçları, kömür madeninde patlama kinetiğini açığa çıkarma, risk değerlendirmesi ve önlemlerin hibrit karışımları için büyük önem arz edebilir.

Murphy ve ark. (2012) Bir yeraltı madeninde kontrollü metan ve kömür tozu patlamaları için radyasyona maruz kalan sismik enerji ile patlayıcı basınç arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. 2006'daki Sago Maden felaketinin zaman aralığı boyunca sismik kayıtların incelenmesi madende olayla ilişkili küçük bir genlik sinyali ortaya çıkardı. İzler merkez üssü olarak patlamanın meydana geldiği yerde tahmin edilmesine rağmen, kesin olarak patlamayla ilişkilendirilemedi. Kritik sismik bilgileri düzgün bir şekilde yorumlamak için maden patlamalarından kaynaklanan sismik durum hakkında daha geniş bir bilgiye ihtiyaç vardır. NIOSH Lake Lynn Deney Maden'inde bulunan bir sismik izleme sistemi, 16 deneysel metan ve kömür tozu esaslı patlamaları izledi. Bu çalışma, ışınlanmış sismik enerjinin ölçülen değerleri ile üretilen en yüksek patlayıcı basıncı arasındaki ilişkiyi ölçmek için yapılan araştırmayı tanımlamaktadır. Yayılan sismik enerji, frekans içeriği, genlik ve süre gibi sismik izler özelliklerini hesaba katar. Öte yandan patlamanın boyutu, patlama ihtiva eden yapının varlığı, maden geometrisi ve patlama sırasında kullanılan ilk patlayıcı yakıt miktarı gibi faktörlere bağlı olarak deneysel tasarımın bir fonksiyonudur. Metan ve kömür tozu patlamalarındaki sismik işaretler standart dalga formu analiz yöntemleri kullanılarak analiz edildi. Yayılan sismik enerjiyi tahmin etmek için kullanılan prosedürler, bu çalışmada açıklanan kendinden üretilen programlar kullanılarak gerçekleştirildi. Yayılan sismik enerji tahminleri, her deney için görece değerler olarak düşünülmüştür. Oluşan zirve basıncı olarak tanımlanan, göreceli olarak yayılan sismik enerjiyi patlama boyutuyla ilişkilendirmek için bir ilişki türetilmiştir. Bu çalışma sırasında patlama-ihtiva eden yapının büyük bir sismik kaynak görevi görebileceği de gözlenmiştir. Gelecekte sismik verilerin daha iyi toplanması için bu çalışmanın bulguları temel alınarak tavsiyeler yapılmaktadır.

Norman ve ark. (2012) Oksijen açısından zengin atmosferdeki kömür tozunun toz patlama özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Pulvarize kömürü şu anda uygulanan %21'den daha yüksek konsantrasyonlarda oksijen ile karıştırma özelliği, oksi/kömürle çalışan sistemlerde brülör tasarımı için avantajlar sağlayabilir. Bununla birlikte toz patlamaları, oksijen konsantrasyonu ve sıcaklık arttıkça önemli derecede artmaktadır. Bu çalışmada, zenginleştirilmiş oksijen konsantrasyonlarının etkisi, Endonezya (Sebuku) yüksek uçucu bitümlü kömür tozu ve Pittsburgh Kömür toz patlama özellikleri araştırılmıştır. Ateşleme hassasiyeti özellikleri (minimum ateşleme enerjisi ve minimum ateşleme sıcaklığı) ve patlama şiddeti özellikleri (maksimum patlama basıncı, P_{max} ve maksimum basınç artışı hızı, K_{St}) araştırılmıştır.

Rongjun ve ark. (2012) Gaz ve kömür tozu patlamasında kaza soruşturması üzerine maddi delil analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Gaz ve kömür tozu patlama kazası, Çin kömür madeninde en sık ve ciddi kazalardan biridir. Patlamadan sonraki patlama karakteristikleri parametrelerine ve gaz ve katı bileşenlerdeki değişim yasalarına dayanarak, patlama kazası araştırmasında kaza özelliğinin ve patlama kaynak noktasının belirlenmesine ilişkin kapsamlı ölçütler ileri sürülmüştür. Bu makalenin araştırma amacı, maden patlama kazalarının ters çevirme sürecinde ve patlama kazası araştırmalarında maddi kanıt analizinde teorik bir temel sağlamaktadır. Ayrıca, gaz ve kömür tozu patlaması yasalarının araştırılması için önemli bir referans önemi vardır.

Snoeys ve ark. (2012) tarafından toz patlamalarına karşı alev sızdırmaz havalandırma sistemleri üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Toz patlama tehlikelerinin farkında olunmasına rağmen, dünyada her sene çok sayıda kaza meydana gelmekte ve bu da yaralanmalara, maddi kayıplara ve iş kesintilerine neden olmaktadır. Önleme, savunmanın ilk şartını oluşturur ve toz patlamaları ile uğraşırken risk hafifletmenin önemli bir parçası olarak kalır; Ayrıca, patlamanın oluştuğu zaman sonuçları ve etkileri ile başa çıkmak için patlamaya karşı koruma teknikleri (Muhafaza, havalandırma, izolasyon ve bastırma gibi) uygulanmalıdır.

Geleneksel havalandırma, kullanılan en yaygın ve popüler koruma yöntemidir; ancak özellikle yeraltı ekipmanları için uygulanması her zaman uygun değildir. Toz patlamalarının önüne geçilebilmesi için yeni bir teknoloji "alev sızdırmaz havalandırma" geliştirildi. Büyük ölçekli test cihazları geleneksel havalandırma cihazlarıyla karşılaştırıldığında, alev sızdırmaz havalandırma cihazlarını kullanmanın en önemli faydası, alev söndürme ve toz tutma özelliğidir; korunan ekipmanın dışında patlama, termal radyasyon ve gürültü azaltımını sağlar. Bir diğer belirgin avantaj ise, süreçte önemli değişiklikler yapılmasına gerek kalmadan var olan tesislere kolayca uyarlanabilir olmasıdır. Alev sızdırmaz havalandırma sisteminin ve tasarımının tanımlanmasına ek olarak, bu makalede Fike tarafından yürütülen test programlarının sonuçlarının yanı sıra Avrupa'da ve Amerika Birleşik Devletleri'nde alevsiz havalandırma ile ilgili mevcut standartlaştırma faaliyetleri sunulmaktadır.

Weiguo ve ark. (2012) Kömür tozu patlamasının karakteristik parametreleri üzerine araştırma yapmışlardır. Kömür tozunun patlayıcı özelliklerinin parametreleri, toz bulutlarının minimum ateşleme sıcaklığı ve 20-L küre patlama test cihazı ile sistematik olarak değerlendirilmiştir. Tozun minimum ateşleme sıcaklığı, endüstriyel üretimdeki yanıcı tozları ele alırken ana güvenlik endeksidir ve tehlike değerlendirmesi sırasında maksimum patlama basıncı ve patlama indeksi önemli parametrelerdir. Toz patlama risklerini sınıflandırma kriterleri olarak kullanılabilen belirli koşullar altında sıcaklık hassasiyetini ve şiddetini belirlemek için farklı parçacık çaplarına sahip beş kömür tozu türü test edildi. Deney sonuçları kömür tozu bulutunun minimum ateşleme sıcaklığının (293 ±5) ºK sıcaklık ve 0,08MPa toz püskürtme basıncı altında partikül çapının azalmasıyla ve parçacık boyutunun (25-48) μm'ye düştüğü zaman azaldığını göstermektedir, Minimum ateşleme sıcaklığı (793-803) ºK; Bunun yanı sıra, sonuçlar, (293±5) ºK sıcaklıkta, 2 MPa toz püskürtme basıncında ve ateşleme enerjisinin 10 kj olması durumunda 20 g/m^3 ile 30 g/m^3 arasında minimum patlayıcı konsantrasyonda kömür tozu bulutunun patladığını göstermektedir.

Maksimum patlama basıncı 0,45 MPa'dır ve maksimum patlama indeksi 11,14 MPa m/s'dir. Bu da kömür tozu patlama tehlikelerini I. Seviye olarak sınıflar. Deney sonuçlarından çıkan sonuçlar, bu yanıcı maddelerin güvenli bir şekilde uygulanması için büyük önem taşır.

Abuswer ve ark. (2013) Toz için niceliksel bir risk yönetimi çerçevesi ve hibrit karışım patlamaları konulu bir çalışma yapmışlardır. Toz ve hibrit karışım patlamaları, ince tozları ve yanıcı gazları işleyen endüstriyel süreçlerde görülmeye devam etmektedir. Bu nedenle, bu tür olayların ortaya çıkmasını önleme ve hafifletme amacıyla, tüm dünyada önemli araştırmalar yapılmıştır. Mevcut çalışmada, toz patlamasının önlenmesi ve azaltılması alanındaki tehlikelere (öncelikle mühendislik güvenlik özelliklerine bağlı olarak) vurgu yapılmasından, riske odaklanmaya (eşlik eden hiyerarşik, Riske dayalı, karar verme araçları). Toz ve hibrit karışım patlamalarının kantitatif risk değerlendirmesi (QRA) ilkelerini benimseyen bu risklerin yönetimi için metodolojik bir çerçeve olmuştur. QRA çerçevesi, toz patlamaları için güvenilir kaza senaryoları yoluyla tehlike tanımlama ve bunu takiben olasılıklı hata ağacı analizi (Relex (Reliability Excellence) (Mükemmel Güvenilirlik) yazılımı). Sonuç olarak şiddeti analizi DESC (Dust Explosions Simulation Code) (Toz Patlama Simülasyon Kodu) - yazılım kullanılarak) temel alınarak kimlik oluşturulmuştur. Çerçevedeki risk azaltma önlemleri, doğal emniyet önlemleri, pasif ve aktif mühendislik cihazları ve prosedür önlemleri dikkate alınarak hiyerarşik bir şekilde uygulanır. Bu çalışmada 400 m3'lük polietilen bir depolama silosundaki toz ve hibrit karışımların patlama sonuçları çalışılmıştır.

Cloney ve ark (2013) Toz patlama olgusunu incelemek için örgütsel bir çerçevenin geliştirilmesi konulu bir çalışma yapmışlardır. Tahmini bir toz patlaması modeli veya teorisi geliştirmek için, birkaç karmaşık, çoklu ölçekli süreç arasındaki etkileşimin bilinmesi gereklidir. Pratik hususlar nedeniyle yalnızca bazı işlemler tamamen çözülebilir. Geriye kalanlar için yaklaşık sonuçlar verilebilir veya ihmal edilmelidir. Bu çalışma, toz patlama modeli geliştirme için örgütsel bir

çerçeve oluşturmak üzerine odaklanmaktadır. Çerçeve, patlamanın zaman içindeki ilerlemesine ve önemli özelliklerin geometrik ölçeklerine dayanılarak düzenlenmiştir. Önerilen yöntemler, küçük ölçekli özellikleri araştırmak ve daha büyük sistem ölçeğinde kestirim modelleri için ileri beslemeli ilerleme geliştirmek için verilmiştir. Örgütsel çerçevenin oluşturulması yoluyla geliştirilen kavramlar, kapalı hacimli toz patlama testine uygulanır ve bu sistem için çeşitli deneysel varyans kaynaklarının sınıflandırılması şeklindedir.

Kuai ve ark. (2013) Ateşleme enerjisinin toz patlama davranışlarına etkisi üzerine deney-temelli araştırmalar yapmışlardır. Farklı ateşleme enerjileri ile indüklenen tipik hafif metal ve karbonlu tozların patlama davranışları Siwek 20-L'lik bir küredeki sistematik deneylere dayanarak araştırıldı. Karşılaştırmalı analiz, karbonlu tozun patlama mekanizmasının uçucu yanma olduğunu ortaya koyarken, hafif metal tozunun mekanizması esasen yüzeyin heterojen oksidiyonunu içerdiğini ortaya koymaktadır. Ateşleme enerjisinin şiddeti ve alevlenebilirlik sınırı üzerindeki etkileri karbon metali tozu için hafif metalden, özellikle de daha az uçucu olan toz için çok daha belirgindir. Basınç süresi izinden alev kalınlığını elde etmek için yenilikçi bir yaklaşım getirildi. Patlama indüksiyon süresi ve ateşleyicinin yanma süresi arasındaki ilişki de analiz edildi. Sonuçlar, uygun olmayan ateşleme enerjisinin termodinamik/kinetik karakteristik ölçümlerde az / aşırı hızlara neden olacağını göstermektedir. Böylece aşırı hızı değerlendirmek için, alev kalınlığı ve indüksiyon süresi kullanılarak iki yöntem önerilirken, sırasız hızı değerlendirmek için boyutsuz bir parametre basınç oranı getirildi. Toz patlama testlerinin doğruluğunu iyileştirmek için, yazarlar patlama şiddetinin belirlenmesinin kritik ateşleme enerjisinde yapılması gerektiğini savunmaktadır. Ayrıca, EN 14034-3'ün hafif metal için uygun olduğunu, ancak karbonlu için uygun olmadığını belirten Avrupa ve Çin yanıcılık limit belirleme prosedürleri arasında bir karşılaştırma yapıldı, oysa GB/T 16425 hem karbonlu hem de hafif metal tozu için hafif ölçülü gibi görünüyor.

Li ve ark. (2013) Metan kömür tozu karışımlarının patlaması durumunda başlangıç basıncının etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Metan kömür tozu patlaması, her zaman doğrudan yangın felaketlerine neden olan kimyasal patlamaya aittir. Kömür madeni söz konusu olduğunda, gaz patlaması, büyük bir patlama gücü ve kaza mahallinde bulunan birçok yanıcı materyal nedeniyle, kolayca geniş çaplı yanmaya ve geniş alanlı klişe yangınlara neden olur. Metan-kömür tozu karışım patlamasının patlama özelliklerini incelemek ve başlangıçtaki basıncın patlama üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak için, 60 cm uzunluğunda ve 10 cm x 10 cm enine kesitli dikdörtgen bir patlama test kabı kullanıldı. Bu makalede 0,2 MPa, 0,25 MPa, 0,3 MPa ve 0,35 MPa gibi farklı başlangıç basınçları düşünüldü. Patlama basıncı PCB basınç transdüserleri ile ölçüldü ve bu ölçüm verilerine dayanarak maksimum patlama basıncı yükselme hızı belirlendi. Sonuçlar, başlangıç basıncının ve kömür toz konsantrasyonunun artmasıyla maksimum patlama aşırı basıncının ve maksimum aşırı basınç artış oranının arttığını göstermektedir.

Mittal (2013) Patlama tehlikesi analizi ve güvenliği için kömür tozu oksijen konsantrasyonunun sınırlandırılması konulu bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kömür tozunun patlama özelliklerinin araştırılması ve kömür tozu işleme tesisleri için patlama güvenlik önlemleri tasarlamak amacıyla CSIR-CBRI, Roorkee, Hindistan'daki düzenli araştırma programının bir parçası olarak üstlenildi. Bu yazı Limit Oksijen Konsantrasyonunun (LOC) belirlenmesine ilişkin detaylı deneysel çalışmanın sonuçlarını ve değişken oksijen seviyelerinin, değişken uçucu madde içeren kömürlerin patlama şiddeti verileri üzerindeki etkisini%27,18 (kömür A) ve %19,69 (kömür B) Hindistan'ın Jharia kömür alanından CSIR-CBRI'de kurulan 20-L küresel kapla ortam koşullarında belirlendi. Kömür parçacık boyut ve nem içeriğinin etkileri değerlendirildi. Verilen veriler, benzer nitelikte toz haline getirilmiş kömürle çalışan tesisler için atıl gazların kullanımını içeren afet önleme tedbirleri ve patlama önleme tedbirleri tasarlayarak tehlike analizi için kullanılacaktır. LOC verilerinin belirlenmesinde ateşleme kaynağı enerjisinin

önemi vurgulanmıştır. Toplanan veriler, literatürde bulunan kömür tozu için mevcut verilerin artmasına yol açmaktadır. Sınırlandırılmış oksijen konsantrasyonları, kömür A için%7 ve kömür B için%8, toz kömür kazanlarında kullanılana ve nem içeriğine göre % 8 olarak bulundu.

Pejic ve ark. (2013) tarafından yeraltı kömür madenciliği riskleri için yarı kantitatif tahmin ve değerlendirme yöntemlerini incelemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Yeraltı kömür madenlerinde herhangi bir iş sürecinin patlama veya faaliyetin riskini belirlemek için bu işin riskini değerlendirmek gereklidir. Önerilen yöntem, bir risk endeksine dayanmaktadır ki bu da üç faktöre bağlıdır. Üç faktör: Olay sıklığı P_{ucm}, olayın şiddeti ve sonuçları C_{ucm} ve Patlayıcı ortamlara maruz kalma süresi E_{ucm}. Etki süresi etkisi şimdiye kadar genellikle hesaba alınmadı. Ayrıca, patlayıcı ortamlarda maruz kalma tehlikesi faktörleri kadar olay olasılığı da sonuçları etkileyebilir. Patlayıcı ortama maruz kalmanın birçok tanımı vardır ancak yeraltı kömür madenlerinde maruziyet durumunda frekans grizu ve kömür tozu riski olarak tanımlanır. Risk tahmini ve risk değerlendirmesi, geliştirilen bir risk matrisine dayanmaktadır. Önerilen metodoloji, patlama riskini tahmin edilebilir kılmanın yanında aynı zamanda öneri yapmaktadır. Yatırım yapılması konusunda güvenlik aralığını vermektedir.

Xu ve ark. (2013) Engellerin mevcudiyetinde metan/kömür tozu karışım patlamaları ile ultra ince bir su buharı ile hafifletme üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, bu senaryodaki engellerin etkilerini ortaya çıkarmak için engellerin varlığında metan/kömür tozu karışımı patlamaları ile ultra-ince su buharı ile hafifletme için deneysel araştırmalar yapılmıştır. Basınç geçmişini elde etmek için iki PCB piezo elektronik basınç transdüseri kullanıldı, karışım patlama sürecini ve hafifletme sürecini görselleştirmek için bir Fastcam Ultima APX yüksek hızlı video kamera kullanıldı. Testlerde kömür tozunun çapları, engeller ve çok ince su buharı hacimleri çeşitlilik gösterdi. Patlamanın aşırı basıncının parametreleri ve ultra-ince su buharının patlama hafifletme için kritik hacim akış alanı belirlendi. Sonuçlar, karışım patlamasının ve hafifletilmesinin

öncelikle engellerin sayı, şekil ve yerleşim yerlerinden etkilendiğini göstermektedir. Su buharının hacim akışı belirli bir miktardan fazla olduğunda, karışım patlamaları ve engellerin etkisi çok ince su buharı ile tamamen hafifletilebilir.

Amyotte (2014) Toz patlamalarıyla ilgili bazı efsaneler ve gerçekler konulu bir çalışma gerçekleştirmiştir. Toz patlaması meydana gelmesi için gerekli şartlar, patlama pentagonuyla iyi ifade edilmiştir: (i) yakıt, (ii) oksidan, (iii) ateşleme kaynağı, (iv) yakıtın ve oksidanın karıştırılması ve (v) Elde edilen karışım. Pentagon elementlerinden birini basitçe kaldırarak bir toz patlamasını önlemek veya hafifletmek nispeten basit görünse de, toz patlama riski azaltma alanı daha karmaşıktır. Yazar ve diğer toz patlamaları araştırmacıları tarafından daha önceki çalışmalar üzerine kurulmuş olan bu makalenin konusu, bu karmaşıklığın kısmen birtakım yanlış inançlardan kaynaklandığıdır. Bu inançlar, uygun bilimsel ve mühendislik ilkelerinin tam olarak dikkate alınmasıyla bulunan gerçekleri görmezden gelir. Bu tür efsanelerden bazıları ve gerçek masalları örnek niteliğinde bir örnekle sunulmuştur.

Cao ve ark. (2014) Kömür tozu patlamasında alev yayılım davranışı ve termal radyasyon etkileri için dinamik bir model adlı bir çalışma yapmışlardır. Kömür tozu patlamaları esnasında alev yayılım davranışını ve termal radyasyon etkilerini ortaya çıkarmak için yarı kapalı dikey yanma borusunda iki kömür tozu bulutu test edildi. Ateş yayılma sürecini ve ateş topunun yanma borusu çıkışındaki termal radyasyon etkilerini kaydetmek için yüksek hızlı bir video kamera ve bir termal kızılötesi görüntüleme cihazı kullanıldı. Alev, daha hızlı ve daha uçucu olan kömür tozu bulutunda daha yüksek bir sıcaklık ile yayılıyordu. Kömür tozu konsantrasyonu da yanma bölgesinin yayılma davranışını önemli ölçüde etkiledi. Kömür tozu konsantrasyonu arttıkça alev yayılma hızı ve ateş topu sıcaklığı genel olarak azalmadan önce arttı. Deneysel sonuçlara dayanarak, ateşli topraklardaki değişiklikleri nicel olarak tanımlamak ve kömür tozu patlamaları sırasında termal

radyasyon etkilerini tahmin etmek için dinamik bir termal radyasyon modeli kullanıldı.

Man ve Harris (2014) Kömür tozu patlamalarına büyük partiküllerin katılması konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Havada yüzen kömür tozu, yeraltı madenlerinde kömür arama işlemi sırasında üretilmektedir. Kömür tozu minimum patlama konsantrasyonuna ulaştığı ve ateşlendiğinde tehlikeli bir patlama riski oluşturur. Bununla birlikte, toplam yanmaz içeriği (TIC) % 80 olan homojen bir toz karışımı oluşturacak şekilde, kireç taşı gibi toz haline getirilmiş taş tozu ile düzgün şekilde karıştırıldığında kömür tozunun patlama riski azalır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, taş tozunun% 20'sinin 20 mesh' lik (841 µm) elekten geçmesi ve% 70 veya daha fazlasının 200 mesh' lik (75 µm) elekten geçmesi zorunludur. Laboratuvar deneyleri Ulusal İş Güvenliği ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) Maden Güvenliği ve Sağlık Araştırması Ofisi (OMSHR) 20 lt ve Fike Şirketi 1-m^3 patlama odaları kullanılarak gerçekleştirildi. Kömür ve taş tozu numuneleri hazırlandı ve partikül boyutunun patlayıcılık ve inertizasyon etkinliği üzerindeki etkisini araştırmak için kullanıldı. Her iki odacıktan elde edilen sonuçlar,> 60 mesh (> 250 µm) olan büyük kömür parçacıklarının 600 g/m^3'e kadar olan toz konsantrasyonlarında patlamadığı/ateşlemediğini ve 200 mesh (> 75 mm) taş tozu parçacıklarının önemli ölçüde daha yüksek bir seviyede olmasını gerektirdiğini göstermektedir. Pittsburgh toz haline getirilmiş kömür (PPC) için% 90 yanmaz madde içeriği gerekmektedir. Bu veriler, bir toz numunesinin gerçek patlayabilirliğini belirlemek için kömür tozu patlamalarının önlenmesinde partikül boyutunun önemini ve parçacık boyutunun ve yanmaz madde oranının (nem ve yanmazlığı kapsayan) öneminin bir göstergesidir.

Mittal (2014) patlama güvenliği önlemlerinin tasarlanması için kömür tozunun uygunluk verilerinin incelenmesi konulu araştırma çalışması yapmıştır. Kömür tozunun patlama özelliklerinin araştırılması, Kömür Tozu İşleme Tesisleri için patlama güvenlik önlemleri tasarlamak için CSIR-CBRI, Roorkee, Hindistan'daki düzenli araştırma programının bir parçası olarak üstlenildi. Kömür

toz bulutunun potansiyel patlama tehlikesi, maksimum patlama basıncı, maksimum basınç artışı hızı ve patlayıcılık indeksi ile karakterize edilir. Çalışma, kömür patlama parametreleri üzerine mevcut verilerin incelenmesi ve analizinin yapılması ve bazı seçilmiş kömürleri işleyen tesislerin güvenli tasarımı ve işletilmesi için yeni ve yeterli miktarda veri yaratılması amacını taşıyordu. Kapsanan çeşitli konular şunlardır: Minimum patlayıcı toz konsantrasyonunun belirlenmesi; Maksimum patlama basınçları ve maksimum basınç artışı oranı; Oksijen konsantrasyonunu sınırlandırmak; Ve oksijen kütle fraksiyonunun, kömür volatilitesinin ve parçacık boyutunun patlama şiddeti verileri üzerindeki etkisi. Bu çalışma, Hindistan'ın Jharia kömür alanındaki iki kömür tipinin (uçucu madde %27,18 ve %19,69) geniş bir toz konsantrasyonu (80-4500 g/m^3) aralığında patlama şiddet özelliklerinin belirlenmesine yönelik ayrıntılı deneysel çalışmanın sonuçlarını sunmaktadır. CSIR-CBRI'de kurulmuş 20 lt Küresel cihazı (Siwek 20 lt'ye benzer) ile ortam koşulları. Verilen veriler, patlayıcı atmosferin risk değerlendirmesi ve benzer özellikteki toz kömür kullanan tesisatlar için patlama güvenlik önlemleri tasarlamak için kullanılacaktır.

Wanxing ve ark. (2014) Yer altı kömür madeninde toz kontrolü için köpük teknolojisinin uygulanması konulu bir çalışma yapmışlardır. Yeraltı kömür madenindeki tozun etkin bir şekilde kontrol altına alınabilmesi için bu çalışma, köpük tarafından toz kontrolü için yeni bir teknoloji geliştiriyor ve öneriyor. Ayrıca köpük teknolojisinin toz kontrolü için iyi izolasyon performansı, geniş temas alanı, yüksek ıslatma yeteneği, güçlü yapışma vb. avantajlarını, ortaya koymaktadır. Ayrıca, çalışma kapsamında köpük özellikleri, köpük üretimi ve köpük üretim süreci de dahil olmak üzere teknolojinin ayrıntıları tanıtıldı. Daha sonra çalışma köpük konsantrasyonu ve sıvı yüzey gerilimi arasındaki ilişkiyi inceleyerek köpük üretim prensibini açıklamaktadır. Uygulama sonuçları, yeraltı kömür madenlerinde toz kontrolü üzerine köpüğün dikkate değer bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Yuan ve ark. (2014) Kömür tozu patlamasındaki nemin rolü üzerine deneysel araştırmalar konusunda çalışmışlardır. Kömür tozlarının patlama davranışları, toz patlamasındaki nemin rollerine odaklanmak için sistematik olarak araştırılmıştır. Nem içeriği daha düşük olduğunda, patlama parametreleri (P_{ex}, $(dp/dt)_{ex}$ ve MEC) temel olarak nem içeriği ile doğrusal bir ilişki içinde olduğu bulunmuştur. Nem içeriğinin daha da artmasıyla, nem parçacıkların azaltılması yoluyla ince parçacıkların aşamalı olarak topaklaşmasına neden olur. Mesafe ve parçacıklar arasında sıvı köprüler kurma. Bu davranış, etkin parçacık boyutunun ve patlama testlerinin belirsizliğini belirgin şekilde artıran toz dağılımının azaltılmasına neden olur. Bu sonuçlar, uygulamada patlama parametrelerini ölçerken nem içeriğini sınırlamanın gerekli olduğunu göstermektedir. Partikül boyutu <125 mm olan kömür tozları için, $(dp/dt)_{ex}$'nin partikül aglomerasyonuna Pex ve MEC'den daha duyarlı olduğunu göz önüne alarak, ağırlıkça% 5'in daha düşük nem içeriği, ölçülecek üst sınır olarak önerilir $(dp/dt)_{ex}$, ağırlıkça %10 olan P_{ex} ve MEC'yi ölçmek için önerilir. Buna ek olarak, atıl ortamın perspektifinden, nem varlığı, kömür tozlarının patlayabilir konsantrasyon aralığını daraltacaktır. Toz bulutu konsantrasyonu en kötü duruma yakın olduğunda, aynı tutma seviyesini elde etmek için daha yüksek nem içeriği gerekecektir. Belli koşullarda, katı atıl ortamla karşılaştırıldığında, nem daha yüksek tutma seviyesine sahiptir ve bu nedenle kömür tozu patlamalarının engellenmesi için daha etkilidir. Nem inhibisyon mekanizmaları esas olarak dört kategori içerir: ısıl ekstraksiyon, oksijen seyreltme, reaksiyon kinetik inhibisyonu ve parçacık aglomerasyonu. Daha düşük nem içeriği veya daha büyük parçacık boyutu için baskın mekanizmalar ısı çekimi ve oksijen seyreltmesidir. Nem içeriğinin artması veya parçacık boyutunun azalması ile baskın mekanizmalar kademeli olarak reaksiyon kinetik inhibisyonu ve parçacık yığılmasına dönüşecektir.

Harris ve ark. (2015) 20 lt'lik bir hücre kullanılarak Parçacık büyüklüğü ve yüzey alanının patlayıcılık üzerine etkileri adlı bir çalışma yapmışlardır. Yeraltı kömür madenlerinde kullanılan kaya tozu için 30 CFR 75.2 ile tanımlanan Maden

Güvenliği ve Sağlık İdaresi (MSHA) spesifikasyonu, malzemenin %70'inin 200 gözlü elekten (<75 μm) geçmesini gerektirir. Bununla birlikte, bir grup taş tozu içinde, %47'lik kısmının kriterleri karşılamadığı tespit edildi. Daha fazla araştırma yapıldıktan sonra, örneklerin bir kısmının şartnameyi yerine getirdiği ancak toz işlenmiş Pittsburgh kömürlerinin Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) Maden Güvenliği ve Sağlık Araştırması Ofisi'nde (OMSHR) etkisiz kılınmasına 20 lt test küresinin yetmediği tespit edildi. Bu makale, parçacık büyüklüğü dağılımlarını, özgül yüzey alanlarını (SSA) ve bu kaya tozlarının patlama önleme etkinliğini inceleyecektir. Ayrıca, Lynn Gölü Deneysel Madeninde yapılan çalışmalardan elde edilen kapsamlı sonuçlar da dâhil olmak üzere diğer araştırmalardaki ilgili bulguları tartışılmıştır. Ayrıca, etkili kaya tozu için minimum Spesifik yüzey alanı önerilmiştir.

Houim ve Oran (2015) Seyreltik ve yoğun katmanlı kömür tozu patlamalarının sayısal simülasyonu konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bir şok dalgası ve elde edilen kayma tabakası ile kömür tozu tabakaları arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla çok boyutlu zamana bağlı simülasyonlar gerçekleştirildi. Simülasyonlar, akışkan dinamikleri için yüksek dereceli bir sıkıştırılabilir sayısal yöntem kullandı. Yoğunluk ve parçacık hacmi parçacıklarının seyrelti aralığında uygulanabilen bir Euleri kinetik teori tabanlı granüler çok fazlı modeli içeriyordu. İki vaka düşünüldü: İlk hacim fraksiyonu %1 olan gevşek bir toz tabakası ve başlangıçtaki hacim fraksiyonu %47 olan yoğun bir toz tabakası. Her iki durumda da nihai sonuç, bir kömür tozu alevine neden olan bir şoktan oluşan birleşim kompleksidir. Burada sunulan simülasyonlarda, bir gaz enerjisi içeren bir bölgeden geçtikten sonra şoka dönüşen doğal gaz patlamasının kalıntılarından başlangıçta bir şok üretilir. Bu şok, kömür tozunun kaldırılmasından ve sürüklenmesinden kaynaklanan mekanik ve termal kayıplardan dolayı daha da zayıflar. Kaldırılan toz, şokla ısıtılmış havada daha sonra ateşlenir ve karıştırmayla sınırlı, önceden karıştırılmamış alev benzeri bir yapı meydana getirir. Alev, şoktan sonra çıkan yanan bir kömür tozu dalgasından oluşur. Şok ve ateşleme noktası

arasındaki mesafe, sırasıyla %47 ve %1 durumlarda, 170 cm ve 15 mm olan karbonlaşmanın indüksiyon uzunluğu tarafından belirlenir. Kömür parçacıklarının yakılması ağırlıklı olarak karbonlaşmanın heterojen reaksiyonlardan ve uçucu metan yanması ikincil bir etkidir. Hava ve parçacıklar gaz ve katı fazlar arasındaki göreceli hızla karıştırılır.

Prostański (2015) Ampirik modeller kullanılarak maden işletmelerinde kömür tozunun depolanması için deneysel çalışmalar yapmıştır. Kömür tozu patlaması riskini azaltmak için, toz birikimi testleri ve koruyucu bölgenin toz konsantrasyonundaki değişiklikler temelinde geliştirilen ampirik modeller önerilmiştir. Bu makale, koruyucu bir bölgedeki toz hacmini değerlendirmek ve izlemek için bu tür modellerin olası uygulamalarını sunmaktadır. Yeraltı testleri, Brzeszcze Kömür Maden'indeki 121 nolu uzun ayağın ana geçiş kapısı ve çıkış yolu kapısında gerçekleştirildi. Analiz sonuçlarına dayanarak, Brzeszcze Kömür Maden'indeki 121 nolu uzun duvarın ön ve arka yolları koruyucu bir zonda toz konsantrasyonundaki değişiklikler ve toz birikimi arasındaki ilişkiyi tanımlayan ampirik modeller geliştirildi. Geliştirilen modeller, koruyucu bir bölgede patlayıcı toz birikiminin öngörülebileceğini göstermektedir. Ek araştırma yapıldıktan sonra, koruyucu zonların izlenmesini sağlayacak olan gelişmiş ampirik modelin genelleştirilmesi planlanmaktadır.

Sarli ve ark. (2015) Delikli halka şeklindeki meme ile donatılmış 20-L'lik patlama kabında CFD modellemesi ve türbülanslı akışkan akışının simülasyonu ve toz dağılımı konulu bir çalışma yapmışlardır. Üç boyutlu bir CFD modeli, delikli halka şeklindeki nozül ile donatılmış 20-L'lik patlama küresinde tozu beslemeyle indüklenen türbülanslı akış alanını simüle etmek ve buna bağlı toz dağılımı oluşturmak için geliştirilmiştir. Model, basınç ve kök ortalama karesel hız için deneysel verilere göre doğrulanmıştır. Simülasyon sonuçları, türbülanslı kinetik enerjinin eşit dağılım gösterdiğini ve değerlerinin rebound memesinden elde edilenlerden önemli derecede düşük olduğunu göstermiştir. Dahası, delikli halka şeklindeki meme, homojen bir toz / hava bulutu oluşturabilir. Ancak, sürekli bir toz

fraksiyonu meme içine sıkışmış olarak kalır ve bu nedenle patlama sürecine katkıda bulunmaz.

Yuan ve ark. (2015) Süreç endüstrisine yönelik bir tehdit olarak Toz patlaması konulu bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma, 1785 ve 2012 yılları arasında dünya çapında meydana gelen 2000'den fazla toz patlama kazasını göz önüne almaktadır. Bu vakaların istatistiksel özellikleri, önce mekânsal olarak geçici sürelerle incelenmiştir. Ekonomik kalkınmanın farklı düzeylerindeki kaza sıklıkları daha fazla ele alınmaktadır. Çin ve ABD, farklı ekonomik gelişme seviyelerine sahip ülkelerdeki toz patlamalarının dağılım özelliklerinin farklılıklarını temsil etmek için örnek olarak seçildi. Hem Çin hem de Amerika'da toz patlamalarına neden olan yanıcı toz verileri de toplanarak kategorilere ayrılmıştır. Toz patlamaları için ateşleme kaynaklarının özellikleri, yüksek risk taşıyan işletmelerin türleri ve bu işletmelerdeki kritik teçhizat da analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çeşitli endüstrilerdeki toz patlamalarının belirlenmesine, kritik ekipmanların izlenmesine ve ayrıca toz patlamalarının olasılığını ve hasarını azaltmak için güvenlik geliştirme prosedürlerini önermeye yardımcı olabilecek niteliktedir.

Li ve ark. (2016) Kömür tozunun patlayıcı özelliklerine göre parçacık boyutunun ve boyut dağılımının deneysel araştırması konusunda bir çalışma yapmışlardır. Mevcut araştırma çalışmasında, parçacık büyüklüğünün (D_{50}) ve boyut dağılımının (σD) kömür tozunun patlama şiddeti üzerine etkisi 20 L'lik küresel bir patlama kabı kullanılarak araştırılmıştır. Benzer orta çaplı (D_{50}) ve farklı boyut dağılımlı (σD) ve benzer boyut dağılımlı (σD) ve farklı boyut çapı (D_{50}) olan kömür tozu örnekleri, dar boyut dağılımına sahip orijinal kömür numunelerinin karıştırılmasıyla özel olarak hazırlanmıştır. Her bir numunenin patlama şiddeti, maksimum basıncı (Pmax) ve maksimum basınç yükselme hızını ($(dp/dt)_{max}$) ölçerek değerlendirildi. İlginçtir, sonuçlar, seçilen kömür tozlarının hemen hemen tamamının 250 g / m^3'lük aynı optimum patlama konsantrasyonunu göstermektedir. Pmax ve (dp/dt) max parametreleri, boyut dağılımı (σD) ve parçacık büyüklüğü (D_{50}) azaldığında patlama şiddetinde artan bir eğilim gösterir;

bu da, ince kömür parçacıklarının toz bulutu üzerine katkısı nedeniyle daha belirgin bir etkiye işaret eder Havadan indirilme dinamikleri. Uçucu madde içeriği yükseldikçe patlama o kadar ağır olur. Daha ince parçacıkların bulunması toplam etkili spesifik yüzey alanını büyük ölçüde artıracak ve toz patlama sürecinin hızlanmasına neden olacak şekilde buharlaştırma hızını hızlandıracaktır. Ayrıca, toz konsantrasyonunun patlama süreci üzerindeki etkileri, ateşleme noktasından erişime (dp/dt) maksimum noktaya ve zaman aralığına (τ2) kadar tanımlanan zaman aralığını $(dp/dt)_{max}$ noktadan ulaşana kadar karşılaştırarak analiz edildi Pmax noktası. Düşük D_{50} ve daha düşük σD'ye sahip kömür tozu için, τ1 ve τ2 daima kısa olur. Daha düşük kömür toz konsantrasyonu koşulunda (b250 g/m3), τ1 ve τ2 σD ve toz konsantrasyonuna daha güçlü bir bağımlılık sunar. Bununla birlikte, σD ve toz konsantrasyonunun τ1 ve τ2 üzerindeki etkisi daha yüksek kömür tozu bulutları (N250 g / m3) için zayıf olur. Sonuçlar, kömür tozu patlama tehlikesinin değerlendirilmesinin sadece toz konsantrasyonu değil aynı zamanda parçacık boyutu (D_{50}) ve boyut dağılımı (σD) açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Torrent ve ark. (2016) Yanıcılıkta katı biokütle bileşiminin etkisi ve spontan yanma hassasiyeti konusunda bir çalışma yapmışlardır. Biokütleler günümüzde enerji üretimi için yüksek oranda talep edilen malzemelerdir. Bu malzemelerin temel özelliklerinden biri, kimyasal bileşim ve fiziksel davranış (O/C ve H/C oranları, granülometrik yapı, kül içeriği) bakımından büyük değişkenlik sunmalarıdır. Günümüzde, yanıcılık ve patlama davranışını belirlemek için malzeme karakterizasyonu hakkında bilgi eksikliği var. Bu çalışmanın amacı, bu ürünlerin spontan yanma eğilimini değerlendirmek için yanıcılık ve patlayıcılık verileri ile bazı parametreleri sağlamak ve bu termal duyarlılığı bileşimle ilişkilendirmektir. İlk sonuçlar, aktivasyon enerjisine dayanan risk değerlendirmelerinin, kömürler için olduğu gibi biokütle için de etkili olmadığını ve kömürlerden ziyade yüksek H/C oranlarına sahip olan biokütlede daha fazla kendi kendine ateşleme eğilimi gösterdiğini gösterdi. Bu davranış, kömürün en

önemli aşaması, sıralamasına bağlı olarak farklı bir direnç (aktivasyon enerjisi) ortaya çıkaran kendiliğinden ısıtma reaksiyonunun başlangıcı olduğu şeklinde açıklanabilir. Biokütle orta sıcaklıklarda bile kolayca ulaşılabilir bir başlangıç aşamasına geldiğinden Biokütle için farklılaşma, bu başlangıç tepkisini yayma yeteneğinde bulunmalıdır.

2.2. Şistleme ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Kömür tozu patlamaları yeraltı kömür işletmeleri için karşılaşılan en önemli tehlikeler arasında sayılabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için ülkemiz de dâhil olmak üzere birçok ülkede yeraltı yollarında ve kömür tozu birikmesi muhtemel yerlerde taş tozu uygulaması (şistleme) yapılmaktadır. Taş tozu serpme genellikle kireçtaşı serpilerek gerçekleştirilmektedir. Bu işlem yapılarak, toz içeriğinin inorganik oranının artırılması ve patlamanın önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Kömür tozu patlamalarının önüne geçilmesi için uygulanacak taş tozu seviyesi 20. yüzyılın başından itibaren tartışma konusu olmuştur. İlk zamanlar tozun uçucu madde içeriği dikkate alınmış ancak Humphreys ve O'Beirne'nin (2000) Avustralya kömürleri üzerinde yaptığı çalışmalarda %8,7'nin altında uçucu madde içeren kömür tozlarının da patlayabildiğini göstermiştir. Ayrıca, bu çalışmalarda taş tozu oranının %75-85 arasında olması gerektiği ifade edilmiştir. Günümüzde yürürlükte olan yönetmelikler arasında bir miktar farklılıklar olmakla birlikte karışımdaki taş tozu oranı sınır değerleri belirlenmiştir. Avustralya'da giriş havasında şistleme sonunda %80 taş tozu içeriği istenirken çıkış havasında bu değer %85 olarak belirlenmiştir (DME, 2001). Amerika'da giriş havasında %65 ve geri dönüş havasında %80 taş tozu istenmektedir (MSHA (CFR), 2011). Ülkemizde ise sınırlayıcı bir mevzuat olmamakla beraber, Ayrıca Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) tarafından Zonguldak havzası için yaptırılan "Zonguldak Havzası Kömür Tozlarının Patlama Karakteristiklerinin Tespiti ve Kömür Tozu Patlamalarının Taş Tozu ile Önlenmesi Üzerine Yapılan Etüd"

(Saltoğlu, 1971) adlı çalışmada bu değerin minimum %75 olması gerektiği tespit edilmiştir.

Yeraltı maden yollarında patlamayan toz seviyelerinin tespiti için sürekli örnekleme yapılması ve taş tozu oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Taş tozu miktarı üç farklı teknikle belirlenebilmektedir;

-Kimyasal/laboratuvar analizleri
-Taşınabilir cihazlarla analiz
-Kolorimetrik analiz.

Bunlardan en doğru sonuç kimyasal analiz yöntemi ile alınmaktadır. Bu yöntem uzun zaman alan ve pahalı olan bir yöntemdir. Toz içindeki yanmaz malzeme yüzdesini renk veya herhangi bir değişkene bağımlı kalmadan direkt verebilmektedir

Taşınabilir cihazlar iki kısma ayrılmakta olup bunlar; radyoaktif gama ışını emme esasına dayanarak ölçüm yapan cihazlar ve optik yansıtma esasına göre ölçüm yapanlardır. Optik yansıtma esasına dayalı çalışan cihazlar portatif taşınabilen ve hızlı sonuç veren cihazlardır. Bu cihazın çalışma esası; laboratuvarda taş tozu içeriği belirlenmiş referans numunesiyle ocaktan alınan numunelerin renk olarak kıyaslanmasıdır.

Maden yollarında biriken tozların yanmayan madde içeriklerinin izlenmesi için taşınabilir analiz cihazlarındaki en ilginç gelişmelerden biri, Güney Afrika Nükleer Enerjisi Kurumu tarafından geliştirilen Safe Dust (Güvenli Toz) monitörü olmuştur. Araya giren malzemedeki (yani taş ve kömür tozu) iki paralelleştirilmiş gama ışınlarının diferansiyel absorpsiyonunu temel alan taşınabilir (15 kg), akülü ve kendinden emniyetli bir cihazdır (Safe Dust, 2001).

Bir başka taşınabilir cihaz ABD'de Lucci ve Cortese tarafından geliştirildi (1995). Bu cihaza takılan probun içine yerleştirilen toz numuneyle okuma yapmaktadır. Prob karışım yüzeyinden yansıyan kızılötesi ışınımı iletir. Bu

yansıtma ile sonuçlanan radyasyon geri yansıtması, yansıtıcı bileşen artışı (yani taş tozu) arttıkça artmaktadır. (Sapko, 1989), bu metodun başlıca avantajlarını, hızlı ve doğrudan okunması ve laboratuvar testleri için harcanan zaman ve masraf olmadan yeraltında kullanılabilme yeteneği olarak tanımlamaktadır. Bu taşınabilir analiz yöntemlerinden her biri, kolorimetrik analiz metodu kullanılarak yansıtma ve hacim/yüzey alanı oranları esaslarına dayanmaktadır.

Kızıl ve ark. (2001) Kolorimetrik test cihazıyla bir çalışma yapmışlardır. Kolorimetrik test cihazı, hâlihazırda maden yollarında tozun yanmaz içeriğini belirlemek için birçok kömür madeninde yaygın uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem, bilinen yanmaz içeriğin referans örneklerinin laboratuvarda hazırlanmasını içermektedir. Bunlar daha sonra toz örneklerinin karşılaştırılabileceği bir renk standardı olarak kullanılır. Bir örnek referanstan daha hafif olduğu düşünülürse, numunenin daha fazla yanmaz içeriği olduğu kabul edilir. Numune daha koyu olarak değerlendirilirse, mevcut olan yanmazlığın kimyasal olarak belirlenmesi laboratuvarda test edilir. Bu, bir maden operatörünün, numunenin alındığı alanda ek taş tozu veya diğer telafi edici eylemde bulunması gerekebilir.

Bu yöntem, mevcut analiz seçeneklerinin en basit ve en az zaman harcayan yöntemidir ancak testçinin yeterliliğine ve gri tonları arasında açıkça ayırt etme kabiliyetine de bağımlıdır. Sonuçlar, aynı yanmaz içeriğe sahip örneklerin, insan hatasına ek olarak yöntemin kendisine özgü büyük bir ilişkili hata payını temsil eden geniş bir renk aralığına sahip olabileceğini gösterdi.

Harris ve ark.(2008) tarafından yapılan bir araştırmada kömür tozu patlamalarının taş tozu ile önlenebileceği gerçeğinden hareketle bir çalışma gerçekleştirmiş ve bu amaçla renk yansıtma esasına dayalı çalışan portatif bir ölçüm cihazı geliştirmişlerdir. Bu cihazla kömür ve inert taşın renk farkından kömür tozunun içine karıştırılacak taş tozunu belirlemeye çalışmışlardır. Buna da; kömür tozu Patlayabilirlik metre (Coal Dust Explosibility Meter (CDEM)) adı verilmiştir. Bu çalışmada NIOSH personeli maden işlerinde sağlık ve güvenlik dairesi (MSHA) yöneticileri birlikte çalışarak ayrı ayrı bölgelerden alınan

numunelerin ölçümlerini CDEM cihazıyla yapmışlardır. Yanmayan madde (kül) miktarları ile CDEM tarafından alınan ölçümler kıyaslanarak laboratuvarda bulunan düşük sıcaklık kül (LTA)değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca cihaz, bazı numunelerin LTA değerlerinin patlamaya engel olacak miktarda olduğunu göstermiştir. CDEM maden için birçok bilgi sağlamaktadır. Acil önlem alınması gereken bölgeler için CDEM oldukça hızlı sonuç vermektedir. Aksi durumda laboratuvarda yapılacak deneylerin yaklaşık bir hafta sürmesi beklenmektedir.

Sapko ve ark. (2010) Yüzyıllık Maden Patlaması Önleme Araştırması konulu bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Madencilik felaketleri, maden patlaması araştırmasının ana itici gücü olmuştur. 1906'daki Fransa'daki Courriéres felaketinden sonra 2006'da ABD'deki Sago Maden felaketine kadar Taffanel'in yeni ufuklar açan çalışmalarından maden patlama araştırmacıları, yeraltı personelinin güvenliğini artırmak için araştırma yaparak tavsiyelerde bulunmuşlardır. Ulusal Maden Bürosu (USBM) öncülüğünde ve Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) desteği ile proaktif maden patlama araştırmalarında ön planda olmaya, son yüzyılda sahadaki birçok yeniliğe ve atılım yapmaya devam ediyor. İlk araştırmacılar, kömür tozunun metan gazından ayrı önemli bir patlama tehlikesi olduğunu gösterdikleri gibi NIOSH, Lake Lynn Laboratuvarı'nda ve Pittsburgh ve Spokane'deki dünya çapındaki araştırma laboratuvarında mayın güvenliğine büyük katkılar sağlamaya devam ediyor. ABD'deki madencilik uygulamalarının geçen yüzyılını inceledikten sonra, patlama güvenliğinde ana kilometre taşlarının mevzuattan ve geniş kapsamlı araştırma çabalarıyla desteklenen uygulamalardan geldiğini gözlemledik. Federal Kömür Madeni Sağlığı ve Güvenliği Kanunlarının her biri ve büyük değişiklikler, büyük bir maden felaketinden kısa süre sonra geçti. Maden işletmecileri ve madenciler, patlama tehlikelerini hafifletmek için bu Kanunların ve yönetmeliklerin görev sürelerine uyarak uyanıklığını sürdürmelidirler. Önleme gayretine rağmen, kömür madeni gazı ve toz tutuşmaları ve patlamalar düzensiz frekansla devam ediyor. Daha derin ve gazlı kömür damarlarında yüksek üretim, mekanize madencilik

yöntemlerinin artan kullanımı, özellikle patlama önleme alanında maden güvenliği sorumlularına ek sorumluluklar getirmektedir. Geçtiğimiz yüzyılda toplanan ve acı bir şekilde öğrenilen geniş miktardaki bilgiye rağmen, maden felaketlerinin yüksek kaliteli adli araştırmalarıyla ve gelecekteki olayların önüne geçmenin yollarını belirleyerek keşfedilebilecek çok şey var. Uygun maliyetli, pratik ve kullanışlı teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanmasıyla birlikte uyum ve uygulama, önümüzdeki yüzyılda ve sonrasında ölümcül mayın patlamalarını ortadan kaldırabilir.

Harris ve ark. (2012) Kömür Tozu Patlayabilirlik Metre Değerlendirme ve Uygulama için Tavsiyeler adlı bir rapor hazırlamışlardır. Bu rapor, Kömür Tozu kabiliyetine ilişkin bir NIOSH soruşturmasının sonuçlarını detaylandırmaktadır. ABD'de yer altı kömür madenlerinden toplanan kömür ve kaya tozu karışımlarının örneklerinin patlayabilirliğini doğru bir şekilde öngörmek için yapılan bir Tetkik Duyarlılığı Ölçüm Cihazı Kömür Tozu Patlayabilirlik Metre (CDEM). Test 2009'da mevcut olan CDEM'in bir prototip versiyonu ile gerçekleştirildi. Ticari sürüm olan CDEM-1000, 2011'de piyasaya sürüldü ve cihaz hem yazılım hem de donanım iyileştirmeleri içeriyor. Gerçek zamanlı anlık sonuçlar veren CDEM, madencilerin ve operatörlerin göreceli olarak değerlendirmek için yeni bir yolu temsil eder. Madenlerde biriken tozların tehlikesi ve taş tozlama uygulamalarının etkinliğini ölçmek için CDEM, Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) tarafından geliştirildi. Cihazın amacı maden operatörlerine Maden Güvenliği ve Sağlık İdaresi'nin (MSHA) son kural olan 30 CFR* Federal Yönetmelik Koduna uymalarında yardımcı olmaktır. Anılan kanunun 75.403'üncü bölümünde, bitümlü kömür madenlerinin yer altı bölgelerinde yanmaz içeriğe sahip birleşik kömür tozu, kaya tozu ve diğer tozların en az% 80'ini gerektirmesini istemektedir.

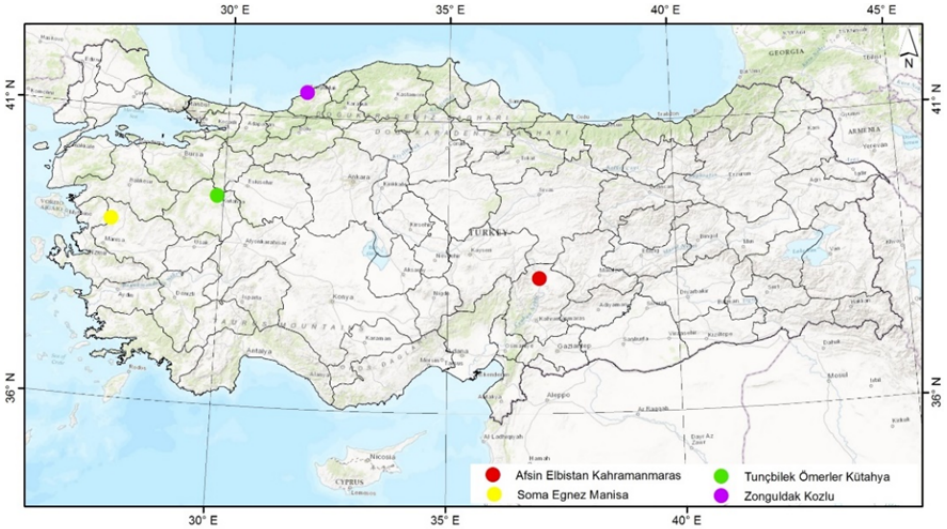
Harteis ve ark. (2016) Yeraltı Kömür Madenlerinde Taş Tozu Uygulamalarının İncelenmesi konulu bir çalışma yapmışlardır. Kömür tozu patlamalarını önlemek için kaya tozu kullanımı, 1900'lerin başlarından beri

Amerikan yeraltı kömür madenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeraltı kömürü madenciliği teknolojisi, aynı zaman diliminde önemli ölçüde değişerek son derece mekanik hale geldi ve daha patlayıcı olan daha ince kömür tozu parçacıkları üretti. Madencilik teknolojisindeki gelişmelere rağmen, maden ocaklarındaki toz örnekleme uygulamaları esas itibariyle değişmeden kaldı. Kayaç örneklemesi uygulamasıyla ilgili birçok faktör vardır, bunlar doğru şekilde düşünülmediyse kaya tozu etkinliğini ve kömür tozunun potansiyel patlayıcılığını olumsuz yönde etkileyebilir. Yüksek yüzeyler üzerindeki toz, gelişen patlama ile zemindeki tozdan çok daha kolay dağılır ve havaya karışır. Tahkimatlarda göçükleri kontrol etmek için örgü kullanımının artması, kömür tozu birikimi için doğal yüzeyler sağlar ve yeterince temizlenmezse toz patlaması potansiyelini önemli ölçüde arttırır. Daha fazla kömür tozu tutmanın yanı sıra, karmaşık yapıdaki tahkimat, mevcut bant örnekleme ekipmanı kullanarak temsili toz numunelerinin toplanmasını zorlaştırır. Bu çalışma, kaya tozu ile yeterince korunmuş görünen bir alanda, mevcut toz örnekleme prosedürlerini kullanırken, potansiyel bir tespit edilmemiş toz patlama tehlikesine neden olabilecek bu ve diğer ilgili faktörleri tartışmaktadır. Bunların ve diğer faktörlerin patlama yayılımını nasıl etkilediği ve numune alma prosedürü değişikliklerine duyulan ihtiyaç hakkında daha ileri araştırmalar yapılması için öneriler getirildi.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan kömür numuneleri Kahramanmaraş-Afşin Elbistan, Manisa-Soma, Kütahya-Tunçbilek ve Zonguldak-Kozlu bölgelerinden alınmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılacak Linyit ve Taşkömürü numuneleri analizler için Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilmiştir. Bu bölgelerin kömürlerine ait genel özellikler ile elde edilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca Soma bölgesi ve Tunçbilek bölgesinde bulunan yeraltı kömür işletmelerinden ocak içinden doğal toz numuneleri toplanarak analizleri yapılmıştır. Afşin-Elbistan açık ocak işletmesinden çıkarılan kömürlerin kurutulup öğütüldükten sonra Pulvarize kömür tozu deposunda biriktirilen kömür tozlarının belirli bir elek aralığında olması gerekmektedir. Bu amaçla bu bölgeden alınan numunenin öğütmeden sonraki elek aralığı santralin elek aralığı ile kıyaslanmıştır. Çalışılan bölgelere ait yer bulduru haritası Şekil 3.1.'de verilmiştir. Bölgelere ait genel kömür özellikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanlarına ait yer bulduru haritası

3.1.1. Afşin-Elbistan Linyitleri Genel Özellikleri

MTA (2002) tarafından yapılan Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri isimli çalışmada Afşin-Elbistan kömürlerinin genel özellikleri Çizelge 3.1, Petrografik özellikleri Çizelge 3.2, Majör Elementleri Çizelge 3.3, XRD analizleri Çizelge 3.4 ve İz Elementler ve Dünya Ortalamaları Çizelge 3.5'teki gibi verilmiştir.

Çizelge 3.1. Afşin-Elbistan sahası kömürlerinin genel özellikleri (Tuncalı, 2002)

Analiz		Orijinal	Havada kuru	Kuru	Susuz külsüz
Kısa analiz (%)	Nem	49,33	8,20	-	-
	Kül	16,92	30,65	33,39	-
	Uçucu madde	21,24	38,48	41,92	62,93
	Sabit karbon	12,51	22,67	24,69	37,07
Kükürt formları	Yanar kükürt	0,81	1,47	1,60	2,40
	Külde kükürt	1,13	2,05	2,23	-
	Toplam kükürt	1,94	3,52	3,83	-
	Piritik kükürt	1,13	2,05	2,23	-
Kok ve gaz (%)	Kok	29,43	53,32	58,08	37,07
	Gaz	70,57	46,68	41,92	62,93
Kalorifik değer (Kcal/kg)	Aşağı kalori	1130	3245	3587	5385
	Yukarı kalori	1913	3466	3776	5668
Elementer analiz (%)	C (karbon)	21,19	38,39	41,82	62,78
	H (hidrojen)	1,83	3,31	3,61	5,41
	N (azot)	0,52	0,94	1,03	1,54
	O (oksijen)	9,40	17,04	18,55	27,87
	S (yanar kükürt)	0,81	1,47	1,60	2,40

Çizelge 3.2. Afşin-Elbistan sahası kömürlerinin petrografik özellikleri (Tuncalı, 2002)

Killi linyit			Katran verimi (%)	Kok (kuru b.)	69,39
Petrografik analiz (%)	Hüminit	68		Katran (kuru b.)	5,60
	Liptinit	3		Bozunma suyu (kuru b.)	8,31
	İnertinit	6		Gaz+kayıp (kuru b.)	16,70
	Pirit	2		Kuru külsüz katran	8,41
	Kil, silt, vb.	21		Külsüz b., orijinal nem	59,38
	Rmax.	0,390		TSE-ISO (sınıf-Grup-Kod)	5-0-50
	Rmin.	0,298	Kül (ºC)	Yumuşama	1120
	Rort.	0,348		Ergime	1180
	St. Sapma	0,014		Akma	1200

Çizelge 3.3. Afşin-Elbistan kömürleri majör elementler (Tuncalı, 2002)

Majör elementler (%) (kuru bazda)	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	İnorganik CO_2 (%) (kuru b.)	1,74
	0,10	0,97	4,94	11,59	0,20	Klor (%) kuru b.	0,006
	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Gerçek yoğunluk (gr/cm^3)	1,30
	0,27	7,35	0,27	0,03	2,17		

Çizelge 3.4. Afşin-Elbistan kömürleri XRD analizi (Tuncalı, 2002)

Mineroloji (XRD)	kalsit	kuvars	jips	pirit	kaolinit	Simektit grubu kil
İnorganik Top.: %23	10,74	8,15	1,67	1,33	0,76	0,35

Çizelge 3.5. Afşin-Elbistan kömürleri iz element içerikleri ve Dünya ortalamaları (Tuncalı, 2002)

İz Elm.* (ppm) (Dünya ortalama değerleri)**	As - (10)	Au -	B - (50)	Ba - (200)	Be 1,7 (2)	Br	Cd <3,3 (0,5)	Ce 15 (20)	Co 8,3 (5)	Cr 340,6 (20)	Cs - (1)
	Cu 21 (15)	Eu <2 (0,5)	Ga - (5)	Ge - (5)	Hf - (1)	Hg -	La 9 (10)	Li - (20)	Lu <2	Mn 87,5 (70)	Mo 16 (3)
	Nb - (5)	Nd 8 (10)	Ni 47 (20)	Pb 20 (20)	Rb - (40)	Sb 5 (1,5)	Sc - (1)	Se - (1)	Sm <3,3 (2)	Sn - (2)	Sr - (200)
	Ta - (0,2)	Tb <3 (0,2)	Ti -	Th <17 (4)	U - (2)	V 206 (40)	Y 7	Yb <2 (1)	W - (1)	Zn 34 (50)	Zr 34 (50)

*İz element analizleri MTA tarafından yapılmış, değer kuru bazda verilmiştir; (-) analizi yapılmamış
**Dünya ortalama değerleri (Swaine, 1990) Parantez içinde verilmiştir.

3.1.2. Soma Linyitleri Genel Özellikleri

MTA (2002) tarafından yapılan Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri isimli çalışmada Soma kömürlerinin genel özellikleri Çizelge 3.6, Petrografik özellikleri Çizelge 3.7, Majör Elementleri Çizelge 3.8,

XRD analizleri Çizelge 3.9 ve İz Elementler ve Dünya Ortalamaları Çizelge 3.10'daki gibi verilmiştir.

Çizelge 3.6. Soma sahası kömürlerinin genel özellikleri (Tuncalı, 2002)

Analiz		Orijinal	Havada kuru	Kuru	Susuz külsüz
Kısa analiz (%)	Nem	13,56	9,20	-	-
	Kül	13,43	14,11	15,54	-
	Uçucu madde	32,86	34,52	38,02	45,01
	Sabit karbon	40,15	42,17	46,44	54,99
Kükürt formları	Yanar kükürt	0,53	0,55	0,61	0,72
	Külde kükürt	0,30	0,32	0,35	-
	Toplam kükürt	0,83	0,87	0,96	-
	Piritik kükürt	0,30	0,31	0,34	-
Kok ve gaz (%)	Kok	53,58	56,28	61,98	54,99
	Gaz	46,42	43,72	38,02	45,01
Kalorifik değer (Kcal/kg)	Aşağı kalori	4931	5209	5796	6862
	Yukarı kalori	5214	5477	6032	7142
Elementer analiz (%)	C (karbon)	51,60	54,20	59,69	70,67
	H (hidrojen)	3,89	4,09	4,50	5,33
	N (azot)	1,48	1,56	1,71	2,03
	O (oksijen)	15,51	16,29	17,94	21,25
	S (yanar kükürt)	0,53	0,55	0,61	0,72

Çizelge 3.7. Soma kömürleri petrografik özellikleri (Tuncalı, 2002)

Killi linyit			Katran verimi (%)	Kok (kuru b.)	74,89
Petrografik analiz (%)	Hüminit	73		Katran (kuru b.)	8,93
	Liptinit	5		Bozunma suyu (kuru b.)	7,80
	İnertinit	5		Gaz+kayıp (kuru b.)	8,38
	Pirit	1		Kuru külsüz katran	10,57
	Kil, silt, vb.	16		Külsüz b., orijinal nem	15,66
	Rmax.	0,518		TSE-ISO (sınıf-Grup-Kod)	1-1-11
	Rmin.	0,379	Kül (ºC)	Yumuşama	1140
	Rort.	0,472		Ergime	1340
	St. Sapma	0,012		Akma	1360

Çizelge 3.8. Soma kömürleri majör elementler (Tuncalı, 2002)

Majör elementler (%) (kuru bazda)	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	İnorganik CO_2 (%) kuru b.)	0,99
	0,02	0,44	2,35	4,80	0,02	Klor (%) kuru b.	0,01
	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Gerçek yoğunluk (gr/cm^3)	1,45
	0,17	5,70	0,08	0,02	0,90		

Çizelge 3.9. Soma kömürleri XRD analizi (Tuncalı, 2002)

Mineroloji (XRD)		Kalsit	Kuvars	Kaolinit	Pirit	Simektit grubu kil
İnor. Top.: %17		11,24	4,57	0,54	0,48	

Çizelge 3.10. Soma kömürleri iz element içerikleri ve Dünya ortalamaları (Tuncalı, 2002)

İz elementler* (ppm) (Dünya ortalama değerleri)**	As 33 (10)	Au 0,003	B 119,3 (50)	Ba 151,8 (200)	Be 0,6 (2)	Br 0,8	Cd 0,7 (0,5)	Ce 18,3 (20)	Co 3 (5)	Cr 32 (20)	Cs 4,8 (1)
	Cu 10,6 (15)	Eu 0,3 (0,5)	Ga 4,6 (5)	Ge 0,6 (5)	Hf 0,8 (1)	Hg 0,15	La 12,2 (10)	Li 17,6 (20)	Lu 0,1	Mn 72 (70)	Mo 2,1 (3)
	Nb 4,8 (5)	Nd 6,4 (10)	Ni 14,6 (20)	Pb 9,1 (20)	Rb 15 (40)	Sb 0,5 (1,5)	Sc 2,6 (1)	Se 0,1 (1)	Sm <0,03 (2)	Sn <2,2 (2)	Sr 43,2 (200)
	Ta 0,3 (0,2)	Tb 0,2 (0,2)	Ti 0,3	Th 3,7 (4)	U 27,2 (2)	V 68,8 (40)	Y -	Yb 0,7 (1)	W 0,6 (1)	Zn 22,4 (50)	Zr - (50)

*İz element analizleri MTA tarafından yapılmış, değer kuru bazda verilmiştir; (-) analizi yapılmamış
**Dünya ortalama değerleri (Swaine, 1990) Parantez içinde verilmiştir.

3.1.3. Tunçbilek Linyitleri Genel Özellikleri

MTA (2002) tarafından yapılan Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri isimli çalışmada Tunçbilek kömürlerinin genel özellikleri Çizelge 3.11, Petrografik özellikleri Çizelge 3.12, Majör Elementleri Çizelge 3.13, XRD analizleri Çizelge 3.14 ve İz Elementler ve Dünya Ortalamaları Çizelge 3.15'teki gibi verilmiştir.

Çizelge 3.11. Tunçbilek-Ömerler sahası kömürlerinin genel özellikleri (Tuncalı, 2002)

Analiz		Orijinal	Havada kuru	Kuru	Susuz külsüz
Kısa Analiz (%)	Nem	14,96	2,86	-	-
	Kül	26,92	30,75	31,66	-
	Uçucu madde	26,58	30,36	31,25	45,73
	Sabit karbon	31,54	36,03	37,09	54,27
Kükürt formları	Yanar kükürt	2,50	2,85	2,93	4,29
	Külde kükürt	0,13	0,15	0,16	-
	Toplam kükürt	2,63	3,00	3,09	-
	Piritik kükürt	1,87	2,14	2,20	-
Kok ve gaz (%)	Kok	58,46	66,78	68,75	54,27
	Gaz	41,54	33,22	31,25	45,73
Kalorifik değer (Kcal/kg)	Aşağı kalori	3615	4213	4354	6371
	Yukarı kalori	3850	4398	4527	6624
Elementer analiz (%)	C (karbon)	41,21	47,08	48,46	70,91
	H (hidrojen)	2,82	3,21	3,32	4,84
	N (azot)	1,42	1,62	1,67	2,44
	O (oksijen)	10,17	11,63	11,97	17,52
	S (yanar kükürt)	2,50	2,85	2,93	4,29

Çizelge 3.12. Tunçbilek-Ömerler kömürleri petrografik özellikleri (Tuncalı, 2002)

Killi linyit			Katran verimi (%)	Kok (kuru b.)	81,41
Petrografik analiz (%)	Hüminit	71		Katran (kuru b.)	5,09
	Liptinit	5		Bozunma suyu (kuru b.)	7,29
	İnertinit	5		Gaz+kayıp (kuru b.)	6,21
	Pirit	4		Kuru külsüz katran	7,45
	Kil, silt, vb.	15		Külsüz b., orijinal nem	20,47
	Rmax.	0,547		TSE-ISO (sınıf-Grup-Kod)	2-0-20
	Rmin.	0,393	Kül (ºC)	Yumuşama	1056
	Rort.	0,497		Ergime	1059
	St. Sapma	0,011		Akma	1344

Çizelge 3.13. Tunçbilek-Ömerler kömürleri majör elementler (Tuncalı, 2002)

Majör elementler (%) (kuru bazda)	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	İnorganik CO_2 (%) kuru b.)	1,41
	0,03	0,60	6,78	17,60	0,06	Klor (%) kuru b.	0,018
	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Gerçek yoğunluk (gr/cm^3)	1,50
	0,22	0,41	0,32	0,03	3,45		

Çizelge 3.14. Tunçbilek-Ömerler kömürleri XRD Analizi (Tuncalı, 2002)

Mineroloji (XRD)	Kuvars	Kaolinit	Pirit	Dolomit	Siderit	Simektit Grubu Kil
İnorganik Top.: %19	12,45	3,90	1,43	0,56	0,45	0,21

Çizelge 3.15. Tunçbilek-Ömerler kömürleri iz element içerikleri ve Dünya ortalamaları (Tuncalı, 2002)

İz Elm.* (ppm) (Dünya ortalama değerleri)**	As 42 (10)	Au -	B 145,6 (50)	Ba 124 (200)	Be 2,3 (2)	Br -	Cd 0,1 (0,5)	Ce - (20)	Co 15,3 (5)	Cr 130,3 (20)	Cs 6,1 (1)
	Cu 14,9 (15)	Eu - (0,5)	Ga 8,9 (5)	Ge 3,5 (5)	Hf - (1)	Hg 0,25	La - (10)	Li 16,4 (20)	Lu -	Mn 65 (70)	Mo 12,5 (3)
	Nb 8,8 (5)	Nd - (10)	Ni 352,1 (20)	Pb 28,8 (20)	Rb 18,7 (40)	Sb 5 (1,5)	Sc 3,5 (1)	Se 1,7 (1)	Sm - (2)	Sn 2,9 (2)	Sr 244 (200)
	Ta - (0,2)	Tb - (0,2)	Ti 2,2	Th 22,8 (4)	U 20,4 (2)	V 51,8 (40)	Y 6,7	Yb - (1)	W - (1)	Zn 39,9 (50)	Zr 156 (50)

*İz element analizleri MTA tarafından yapılmış, değer kuru bazda verilmiştir; (-) analizi yapılmamış
**Dünya ortalama değerleri (Swaine, 1990) Parantez içinde verilmiştir.

3.1.4. Zonguldak-Kozlu Kömürleri Genel Özellikleri

TTK (2016) tarafından hazırlanan TTK sektör raporunda Zonguldak Kozlu sahası kömürlerinin genel özellikleri Çizelge 3.16, Petrografik Özellikleri Çizelge 3.17, Majör Elementleri Çizelge 3.15, XRD analizleri Çizelge 3.19 ve İz Element içerikleri ve Dünya ortalamaları Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.16. Zonguldak-Kozlu sahası kömürlerinin genel özellikleri (TTK 2016, Buzkan 1992)

Analiz		Orijinal	Havada kuru	Kuru	Susuz külsüz
Kısa (%)	Nem	2-14		-	-
	Kül	11-13		9	-
	Uçucu madde	25-27		30	32
	Sabit karbon	52-57		65	60-67
Kükürt formları	Yanar kükürt	0,35			
	Külde kükürt	0,13			
	Toplam kükürt	0,55			
	Piritik kükürt	0,10			
Kok ve gaz (%)	Kok				
	Gaz				
Kalorifik değer (Kcal/kg)	Aşağı kalori		6675		
	Yukarı kalori		6825		8400
Elementer analiz (%)	C (karbon)		73-76		
	H (hidrojen)		4+1		
	N (azot)		1±0,2		
	O (oksijen)		5,76		
	S (yanar kükürt)		0,8		

Çizelge 3.17. Zonguldak-Kozlu Petrografik özellikleri (TTK 2016, Buzkan 1992)

Killi linyit			Katran verimi (%)	Kok (kuru b.)	
Petrografik analiz (%)	Hüminit	70		Katran (kuru b.)	
	Liptinit	13		Bozunma suyu (kuru b.)	
	İnertinit	17		Gaz+kayıp (kuru b.)	
	Pirit	-		Kuru külsüz katran	
	Kil, silt vb.			Külsüz b., orijinal nem	
	Rmax.			TSE-ISO (sınıf-Grup-Kod)	
	Rmin.		Kül (ºC)	Yumuşama	1233
	Rort.			Ergime	1276
	St. Sapma			Akma	1337

Çizelge 3.18. Zonguldak-Kozlu Kömürleri Majör elementler (TTK 2016, Buzkan 1992)

Majör elementler (%) (kuru bazda)	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	İnorganik CO_2 (%) kuru b.)	
	0,07	0,25	3,37	5,73	0,03	Klor (%) kuru b.	
	K_2O	CaO	TiO_2	SO3	Fe_2O_3	Gerçek yoğunluk (gr/cm^3)	1,45
	0,31	0,54	0,14	0,49	1,04		

Çizelge 3.19. Zonguldak-Kozlu Kömürleri XRD Analizi (Erol 2012) (TTK 2016, Buzkan 1992)

Mineroloji (XRD)	Kuvars	Kaolinit	Kalsit	Dolomit	Siderit	Simektit Grubu Kil
İnorganik Top.: %19	16,10	28,4	55,5	-	-	-

Çizelge 3.20. Zonguldak-Kozlu Kömürleri İz Element İçerikleri ve Dünya Ortalamaları (TTK 2016, Buzkan 1992)

İz El. (ppm) (Dünya ortalama değerleri)**	As 42 (10)	Au -	B 145,6 (50)	Ba 124 (200)	Be 2,3 (2)	Br -	Cd 0,1 (0,5)	Ce - (20)	Co 15,3 (5)	Cr 130,3 (20)	Cs 6,1 (1)
	Cu 150-475 (15)	Eu - (0,5)	Ga 8,9 (5)	Ge 3,5 (5)	Hf - (1)	Hg 0,25	La - (10)	Li 16,4 (20)	Lu -	Mn 65 (70)	Mo 12,5 (3)
	Nb 8,8 (5)	Nd - (10)	Ni 352,1 (20)	Pb 28,8 (20)	Rb 18,7 (40)	Sb 5 (1,5)	Sc 3,5 (1)	Se 1,7 (1)	Sm - (2)	Sn 2,9 (2)	Sr 244 (200)
	Ta - (0,2)	Tb - (0,2)	Ti 2,2	Th 22,8 (4)	U 20,4 (2)	V 51,8 (40)	Y 6,7	Yb - (1)	W - (1)	Zn 39,9 (50)	Zr 156 (50)

*İz element analizleri MTA tarafından yapılmış, değer kuru bazda verilmiştir; (-) analizi yapılmamış
**Dünya ortalama değerleri (Swaine, 1990) Parantez içinde verilmiştir.

3.2. Metot

Doktora çalışması kapsamında çalışılan bölgelerden alınan kömür numuneleri üzerinde iki ayrı çalışma yapılmıştır. Bunlardan birincisi; bu kömür tozlarının patlayabilirliğinin belirlenmesi ve patlaması durumunda patlama şiddetinin ortaya konmasıdır. İkinci ise kamera ile renk ölçümü esasına dayalı çalışan sistem yardımıyla kömürlerin patlamasının önüne geçilmesi için içine karıştırılması gerekli taş tozu miktarının belirlenmesidir.

3.2.1. Kömür Numunelerinin Hazırlanması ve Analizleri

Kömür tozu patlama deneyleri için kullanılacak numuneler ve şistleme deneyleri için kullanılacak numunelerin hazırlanması aşamasında öncelikle boyutlandırma işlemi yapılmalıdır. Toz patlama küresinde kullanılacak kömür tozu numunelerinin 63 mμ boyutundan küçük olması gerekmektedir. Öncelikle sahalardan alınan kömür numunelerinin yarısı şahit numune olacak şekilde ayrılarak depolanmıştır. Daha sonra geri kalan numune yine iki kısma ayrılarak bir kısmı toz patlama küresi için hazırlanmıştır. Diğer kısım ise şistleme deneylerinde kullanılacak şekilde hazırlanmıştır.

Toz patlama küresinde kullanılacak kömür tozlarının her bir numune için yaklaşık üç kg numune kırıcıdan geçirilerek 3,15 mm altına indirilmiştir. Daha sonra sabit tartıya gelene kadar etüvde kurutulan numuneler bilyeli değirmende öğütülerek 63 mμ'un altına indirilmiştir.

Şistleme deneylerinde kullanılacak numuneler için de önceden yapılan çalışmalarla belirlenen ideal tane boyutu olan 355 mμ'un altına indirilerek numuneler hazırlanmıştır. Yapılacak çalışmada kullanılan kömür numunelerinin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla analizler yapılmıştır. Bu analizler için aşağıdaki yöntem ve cihazlar kullanılarak yapılmıştır.

3.2.1.1. Elek Analizi

Sahalardan temin edilen ve laboratuvarda kırma öğütme işlemine tabi tutulan kömür numunelerinin boyut analizleri TS 1900-1 standardına uygun yapılmıştır. Numunelerin 3,15 mm ile 150 mμ arasında kalan kısmı kuru elenerek ayrılmıştır. 150 mμ altında olan kısımları hidrometre yardımı ile yapılmıştır.

3.2.1.2. Kömürün Kısa Analizi, Isıl Değer Analizi ve Kükürt Analizi

İlk önce bu numunelerin özelliklerinin belirlenmesi için kömürlerin kısa analizleri ASTM ve TSE standartlarına göre yapılmıştır (TS 4744,TS ISO 1171, TS 690 METOT C, ASTM D 3173 ASTM D 3174, ASTM D 3175, ASTM D 7582,).

Ayrıca kükürt değerleri ve ısıl değerleri ASTM standartlarına göre bulunmuştur (ASTM D 4239, ASTM D 5865).

3.2.1.3. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi

Çalışmada kullanılan kömür tozları ve bu kömür tozlarından elde edilen kül numunelerinin morfolojik yapısının ortaya konması için Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan FEI marka (Quanta 650 Field Emission SEM model) cihazı kullanılarak SEM analizleri yapılmıştır. Görüntüleme kalitesinin iyi olması için numuneler altın tozuyla kaplanmıştır.

3.2.1.4. X- Işını Difraksiyon (XRD) Analizi

X-Işını difraksiyon analizleri Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Rigaku marka X-Işını difraktometre (XRD) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikro yapıları Cu-K radyasyonu kullanılarak 15º ile 85º aralığında dakikada 2º tarama hızıyla taranmıştır. Her bir numunenin tarama süresi yaklaşık 30 dakika olarak belirlenmiştir. Sonuçlar PDXL programı ile değerlendirilmiştir.

3.2.1.5. X-Işını Floresans (XRF) Analizi

Kömür tozlarından elde edilen küllerin kimyasal analizleri için, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan ve standartsız bir şekilde ölçüm yapan Panalytical (MiniPal 4) marka X-Işını Floresans (XRF) cihazı kullanılmıştır.

3.2.1.6. FTIR Analizi

Kömür toz numuneleri ve bu tozlardan elde edilen kül numunelerinin yapısını incelemek için Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan FT/IR-6800 FT-IR Spektrometre cihazı kullanılmıştır. Spektrum 4000 ile 400 cm-1 tarama aralığında taranmıştır.

3.2.1.7. TGA-DSC Analizi

Kömür tozlarının ve küllerinin termal kararlılık ve bozunma analizleri için Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan METTLER TOLEDO marka ve (TGA/DSC 3+ model) cihaz kullanılmıştır. Spektrum 0 ºC ile 950 ºC arasında taranmıştır.

3.2.1.8. Yüzey Alanı Ölçme (BET) Analizi

Kömür tozlarının ve küllerinin taneciklerinin yüzey alanları Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Costech KELVIN SORPTOMETER 1042 cihazı ölçülmüştür.

3.2.2. Toz Patlayabilirliğinin ve Şiddetinin Ölçülmesi

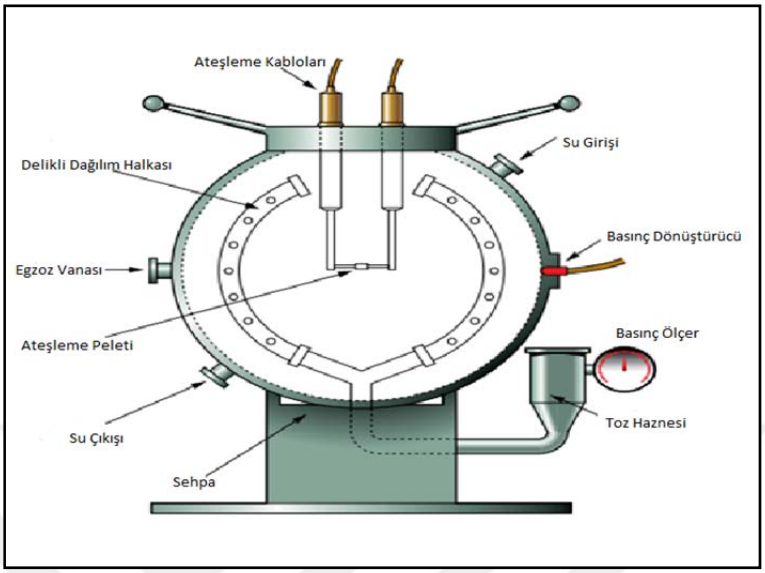
Kömür tozlarının patlayabilirliğinin ölçülmesi ve patlaması durumunda ortaya çıkacak enerjinin ölçülmesi işlemi için geliştirilen en önemli cihazlar 1 m^3'lük patlama küresi ve 20-L patlama küresidir. Doktora çalışması kapsamında çalışma alanlarından alınan kömür numuneleri bu testler için hazırlanarak Almanya Bochum'daki DEKRA laboratuvarlarına gönderilmiş ve patlama deneyleri 20 litrelik test küresinde yaptırılmıştır. Maksimum patlama basıncı, basınç artışı maksimum hızı ve alt patlama sınırının bu cihazda yapılan ölçümle bulunur. Bu cihaz belli miktardaki tozun belli sıcaklık ve basınç altında tutuşturulması sonucunda sıcaklık ve basınç değerlerinin değişiminden patlayabilirliğinin ölçülmesi esasına dayanır (şekil 3.2). 20 litrelik patlama küresi paslanmaz çelikten imal edilmiş ve 21 barlık basınca dayanacak malzemeden imal edilmiştir. İçerdeki toz dağılımını ölçecek iki optik toz probuna sahiptir. Gerilimölçer basınç transdüseri, patlama basıncını ve basınç yükselme oranını (dp/dt) değerlerini ölçmektedir. Tüm verilerin aktarılıp değerlendirildiği bir bilgisayar sistemine bağlı olarak çalışan bu sistemde deneysel toz konsantrasyonu toz hacminin küre hacmine bölünmesiyle bulunmaktadır. Küre içine tozun konulmasının ardından küredeki havayı vakumlayarak 0,2-0,5 bar seviyelerine indirmektedir. Başlangıçta 8-10

bar'a basınçlandırılmış hava vananın açılmasıyla küre içindeki tozu dağıtmaktadır. Bu işlem sonunda küre içi basıncı tekrar 1 bar seviyelerine kadar yükselmektedir. Bu işlemden sonra elektrikli kabloların ucuna bağlı ateşleme peleti yardımıyla ateşlenen tozun patlaması esnasında oluşan sıcaklık ve basınçtaki değişim izlenerek tozun patlayabilirliği değerlendirilmektedir. Bu ateşleyiciler 2500J ile 10000J arasındaki enerji seviyelerinde yapılabilmektedir.

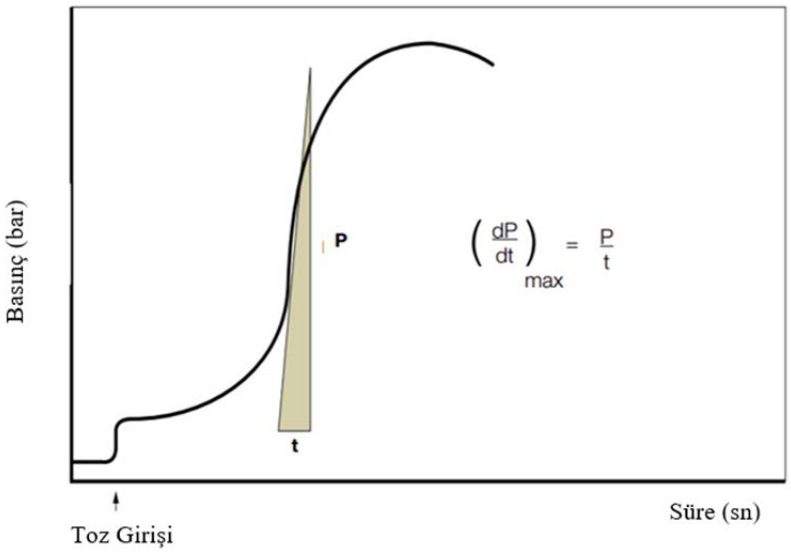


Şekil 3.2. 20-L patlama küresi (ANKO, 2018)

20-L patlama küresi cihazının parçaları ve kesit görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir. Patlama sırasında oluşan basıncın zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3. 20-L patlama küresi parçaları ve kesit görünüş (HSE, 2003)



Şekil 3.4. Basınç grafiği (HSE, 2003)

Bu cihazda yapılan deneylerle yanıcı toz ve gazın patlama karakteristikleri ISO 6184, ASTM E 1226, ASTM E 1515, EN 14034 standartlarına göre belirlemektedir. Bu karakteristikler:

- Tozların maksimum patlama basıncı Pmax ve maksimum patlama basıncı artışı K_{St}
- En düşük patlayıcı konsantrasyon olarak da adlandırılan tozun alt patlama limiti (LEL) veya (MEC);
- Üst Patlayıcı Konsantrasyon (UEC)
- Minimum Oksijen Konsantrasyonu (MOC)
- Minimum Tutuşma Sıcaklığı (MIT)

3.2.2.1. Maksimum Patlama Basıncı (P_{max})

Test küresinin içinde patlama anında ölçülen maksimum basınç değeridir. Bu değer patlayan tozun cinsi, miktarı ve nem miktarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Kapalı alanın hacmine bağlı olarak değişen P_{max} değeri düzenek ve ekipmanların tasarımında oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

3.2.2.2. Toz Patlama Sabiti (K_{St})

Kapalı bir kabın içinde optimum şartlarda gerçekleşen toz patlamasının ölçülebilen maksimum basınç hızıdır. Patlama şiddetini gösteren bir sabit olup, patlamayı önlemek için alınabilecek tedbirlerin zamanıyla ilgili fikir vermek amacıyla ölçülen bir karakteristiktir. Bu özelliği, deney yapılan kürenin hacmiyle bağlantılıdır. Maksimum basınç artışı hızı kabın hacmi arttıkça azalır ve

$K_{St} = (dp/dt)_{max} * V^{1/3}$ formülü ile hesaplanmaktadır.

Toz Patlama Sabiti (K_{St}) tozların patlama sınıflarının tayininde Dünyada ve Avrupa'da oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Çizelge 3.21.). St, Almanca toz anlamına gelen Staub kelimesinden türemiştir.

Çizelge 3.21. Toz Patlama sabiti sınıfları (OSHA, 2009)

Toz Patlama Sınıfı	K_{St} bar m/s	Patlama Şiddeti	Tipik örnekler
St0	0	Yok	Kum
St1	>0-200	Zayıf ve orta	Süt tozu, kömür, şeker, çinko
St2	>200-300	Kuvvetli	Selüloz, ahşap tozu
St3	>300	Çok Kuvvetli	Alüminyum, magnezyum

3.2.2.3. En Düşük Patlayıcı Konsantrasyon (MEC) veya Tozun Alt Patlama Limiti (LEL)

Havadaki askıda bulunan toz tanecikleri birbirlerine belli mesafede yaklaştığında etkileşime geçebilmektedir. Kısacası bir tanecikte meydana gelen sıcaklık değişimi etkileşim içinde olduğu diğer tanecikleri de etkileyebilmektedir. Patlamanın meydana gelebilmesi için havada asılı durumdaki en düşük toz konsantrasyonuna MEC denir.

3.2.2.4. Üst Patlama Sınırı Konsantrasyonu (UEC)

Askıda olmasına rağmen patlamanın olmayacağı en yüksek toz konsantrasyonudur. Pratik anlamda belli kullanım alanı olmamasına rağmen belli konsantrasyonun üzerindeki yoğunluklarda da patlama olmayacağı kabul edilmektedir. Genellikle UEC değeri yerine MEC değerleri kullanılmaktadır.

3.2.2.5. Minimum Oksijen Konsantrasyonu (LOC)

Patlama olayının gerçekleşmesi için gerekli en düşük oksijen konsantrasyonudur. Bu konsantrasyonun altındaki değerlerde patlama olmayacağı kabul edilmektedir. Ortam şartlarına ve tanecik yapısına bağlı olarak bu değer değişkenlik gösterebilmektedir. Genellikte tozun boyutu ve nemi azaldıkça gerekli minimum oksijen konsantrasyonu da düşmektedir. Tozların çeşidine göre LOC değerleri %2 ile %15 arasında değişkenlik göstermektedir. Organik tozlarda %8

Oksijen seviyesi karbondioksit ve azot verilmesi yoluyla yapılan inertleme işlemleri sırasında hedeflenen LOC değeridir.

3.2.2.6. Minimum Tutuşma Sıcaklığı (MIT)

Askıdaki tozların tutuşabilesi için gereken en düşük sıcaklıktır. Basınç yükselmesiyle ters orantılı alarak azalmaktadır. Toz tabakaları için içten yanma olarak ifade edilen dumansız yanma türü için kullanılan MIT değeri de aynıdır. Toz tabakasının kalınlığı azaldıkça MIT değeri azalır.

Toz patlamalarında reaksiyon davranışını etkileyen önemli iki parametre vardır; bunlardan bir tanesi tane boyut dağılımı ve bir diğeri ise tozların nem oranıdır. Tozların reaksiyon davranışları parçacık boyutuna çok bağlıdır. Bu nedenle parçacık büyüklüğü dağılımı patlama karakteristikleriyle yakından ilişkilidir ve bu yönüyle yanma ve ekspresyon kaybı özelliklerini yorumlarken daima dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak, tozlar için patlama araştırmaları sırasıyla parçacık boyutu dağılımı ve medyan değerin belirlenmesiyle başlar. Orta değer, parçacık boyutunu tanımlamak ve dolayısıyla bir toz numunesinin kesin bir karakterizasyonunu vermek için başvurulmuştur. Toz boyutunun belirlenmesi, DIN 66165 Bölüm 1 ve 2'ye uygun bir elek analizi ile gerçekleştirilir; ortaya çıkan elek analizi grafiğinde %50'ye tekabül eden nokta orta nokta kabul edilir ve işlem buna göre yapılır. Bunun yanında tozların patlama özellikleri nem içeriğinden etkilenir. Nem arttıkça, ateşleme hassasiyeti ve tozların reaktivitesi azalır. Genel olarak, özellikler yalnızca su kısmı ağırlıkça% 10'dan fazla ise hesaplanır. Bu seviyenin altında, tozların toplanması üzerinde bir etkisi olabilir. Toplam nem, ısıtılmış bir laboratuvar terazisinde, termogravimetrik bir yöntemle belirlenir. Numune, . 105 °C ± 2 °C'lik etüvde sabit ağırlığa gelene kadar ısıtılarak nem değeri hesaplanır.

3.2.3. Kamera Görüntüsü Tabanlı Kömür Tozu Patlayabilirlik Ölçme Sistemi Yardımıyla Şistleme Miktarının Belirlenmesi

Optik yansıtma esasına göre çalışan cihazlardan farklı olarak kamera ile renk ayrımı yapan bir sistem bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Bu çalışmada ortaya konulan, görüntü işleme ve yapay zekâ tekniklerini barındıran, kendi başına çalışan bağımsız bir sistem olarak, dünyadaki tüm yeraltı kömür ocaklarında Şistleme uygulamalarını mevcut eş işlevli cihazlara göre daha hızlı, daha güvenilir ve daha yüksek hassasiyette ölçebilecek adapte edilebilir bir aygıttır. Böylece kömür tozu patlama riski, sistemin anlık ve hızlı ölçümü sayesinde maden ocağında kömür tozunun yoğun olarak bulunduğu alanlara taş tozunun zamanında ve yeterli miktarda ilavesiyle minimize edilebilecektir.

Mevcut sistemlerin taş tozu-kömür tozu oranı tespiti renk algılayıcılı devrelerin algılayıcı hassasiyeti ile sınırlı durumdadır. Bu algılayıcılar ile elde edilen renk yelpazesi farklı türde kömürler için yeterli tonlama aralığı sağlayamamakta, bu tür çözümler genellikle geliştirildikleri kömür türü ile kısıtlı başarım göstermektedir. Literatürde renk algılayıcılı sistemlere alternatif kamera tabanlı çözümler de mevcuttur. Ancak sunulan çözümler genellikle renk algılayıcılı veya kızıl ötesi kamera ile algılama ve analiz yaklaşımlarıdır. Kamera ile renk analiz çalışmaları mevcut olup bu tipte kamera sistemi ve yapay sinir ağı ile bütünleşik çalışan bir sistem bulunamamıştır.

3.2.3.1. Sistemin Kısa Açıklaması

Sistem sayesinde yeraltı maden yollarında toz patlayabilirlik seviyesinin tespiti için sürekli örnekleme yapılması ve taş tozu oranlarının belirlenmesi hızlı bir şekilde mümkün olacaktır. Sistemin anında sağladığı veriler sayesinde, kömür tozu patlamasını önlemek üzere yeterli taş tozu uygulaması yapılıp yapılmadığını tespit edebilmekte, taş tozu uygulaması yapan madencileri uyararak eksik veya fazla taş tozu miktarı varsa onu da göstererek uyarı ve doğru yönlendirme yapmaktadır. Buluş, barındırdığı numune hazırlama aparatları, kamera,

ışıklandırma, mikroişlemcili sistem, dokunmatik ekran, hassas terazi, çevresel haberleşme ve besleme ünitelerinden oluşan bir yapıda olup, kendi başına çalışır haldedir. Kameradan aldığı kömür numunelerinin görüntülerine göre yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak kömür tozu/taş tozu karışımlarının oranlarını (ağırlıkça %) tahmin ederek bu karışımların patlayabilirlik derecelerini belirlemektedir. Ortamdaki metan gazı biliniyorsa, bu değer de, kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemine girilir. Böylece kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi metan gazı konsantrasyonunu da dikkate alarak kömür tozu patlayabilirlik derecesini tayin edebilmektedir. Bu işlemler için görüntü işleme, sayısal veri işleme ve filtreleme teknikleri ile veri çıkarımı yapmakta, işlemcisi üzerinde yürütülen yapay zekâ yazılımı ile tahminde bulunmaktadır.

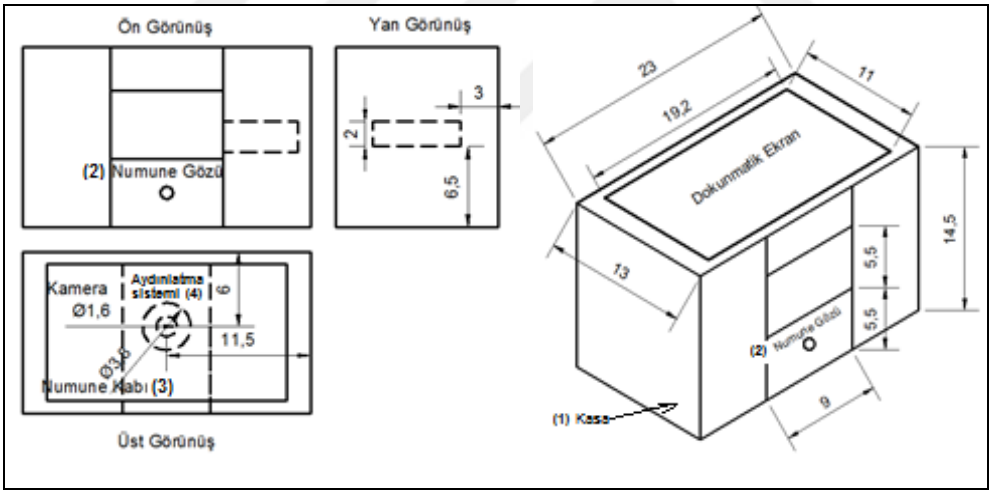
Mevcut sistemlerin renk tanıma tabanlı çözümlerine göre çok daha büyük çaplı veri işleme yeteneğine sahip bu sistem, dokunmatik bir ekran ile kullanıcı ara yüzü içermektedir. Kamera ile elde edilen görüntülerde uygulanan dönüştürme, filtreleme ve iyileme yaklaşımları sonrası, üzerinde yürütülen yapay zekâ tabanlı karar verme yazılımı sayesinde kömür tozlarının patlayabilirlik derecesini ölçmek üzere geliştirilmiştir. Yapay zeka algoritmalarının pek çoğunun eş zamanlı çalışarak optimum sonuca ulaşmayı sağlamak üzere katkıda bulunduğu bu sistem mevcutlarına göre teknik ve bilimsel açıdan daha nitelikli ve esnek çözüm sunmaktadır.

3.2.3.2. Sistemin Detaylı Açıklaması

Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi, bütün sürecin kontrolünü ve yürütülmesini sağlayan Acorn RISC Machine (ARM) mikroişlemcili bir ana kart, kamera, dokunmatik ekran, iç aydınlatma sistemi, numune giriş gözü, numune kabı, güç kaynağı, şarj ünitesi, hassas terazi, numune hazırlama aparatları ve bütün donanımın yerleştirildiği kasa ile kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımından oluşmaktadır (Şekil 3.5 ve 3.6).

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem, içerdiği kamera ile taş tozu-kömür tozu karışımlarına ait görüntülerin uygun ön işleme adımlarının ardından yapay sinir ağına uygulanması sonucu taş tozu-kömür tozu yüzde miktarlarını (ağırlıkça) tespit etmektedir. Bu sistem ile ölçülecek taş tozu ve kömür tozu oranları mevcut cihazlara göre daha hassas sonuç vermektedir (ağırlıkça ±%0,5).

Sistem üzerinde yürütülecek yapay sinir ağı çözümleri güncel ve ileri yapay sinir ağı topolojilerini ve eğitim yöntemlerini içermektedir. Tek veya çoklu yapay sinir ağlarının bir arada kullanımı ile elde edilen yapay zekâlı uzman sistem sayesinde, hata payı eş işlevli cihazlara göre çok daha küçüktür. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi, kendi başına çalışabilir ve taşınabilir bir donanım olup üzerinde gerçekleştirilen amaca özel yazılım ile birlikte sistem olarak özgün bir çözümdür.



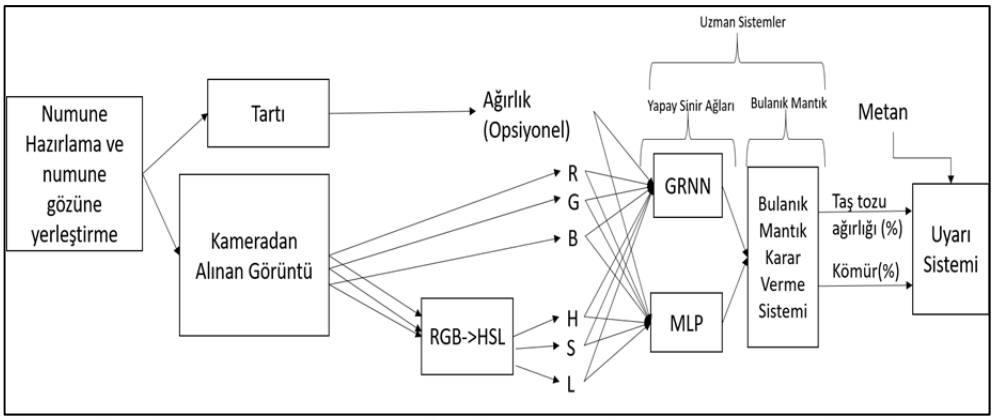
Şekil 3.5. Çalışma kapsamında geliştirilen hızlı taş tozu-kömür tozu oranı ölçme sisteminin genel görünümü ve önemli parçalarının kesit görünüşü (P.BŞV.2017/11637)



Şekil 3.6. Çalışma kapsamında geliştirilen hızlı taş tozu-kömür tozu oranı ölçme sisteminin genel görünümü.

Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminin ana kartı, kamerası ve dokunmatik ekranı, hassas terazi, güç kaynağı, şarj ünitesi ve numune hazırlama aparatları standart donanımlardır. Bu standart donanımların yerleştirildiği kasa, numune giriş gözü, numune kabı, kamera için aydınlatma sistemi ve kömür/taş tozu tanıma yazılımı tamamen çalışma sırasında geliştirilmiştir.

Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminin çalışma prensipleri Şekil 3.7'deki blok diyagramla gösterilerek ayrıntılı bir şekilde izah edilmiştir.



Şekil 3.7. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminin blok diyagramı (P.BŞV.2017/11637)

Geliştirilen sistem ile ölçüm yapılabilmesi için öncelikle kömür tozu numunelerinin alınması ve alınan bu numunelerin 355 µm elekten geçirilerek neminin sabit tartıya getirilmesi gerekir. Numune 355 µm elekten (Şekil 3.8) geçirilerek kurutma işlemine hazır hale getirilir. Kömür ocaklarından alınan kömür tozu numunelerinin arazi koşullarında sabit tartıya gelinceye kadar kurutulması işlemi moleküler elek ile yapılır. Alümina silikat kristalleri, moleküler elek olarak da adlandırılmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi ile birlikte kullanılan 355 µm elek

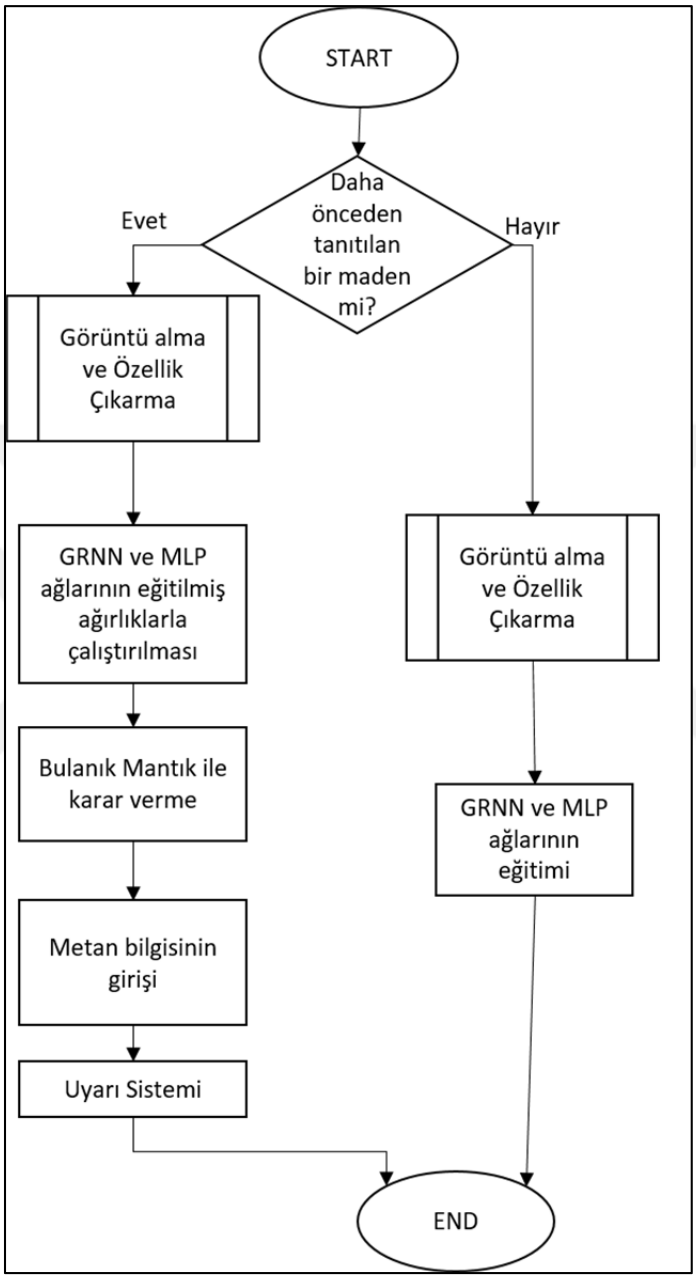


Şekil 3.9. Moleküler Elek Granül Yapısı

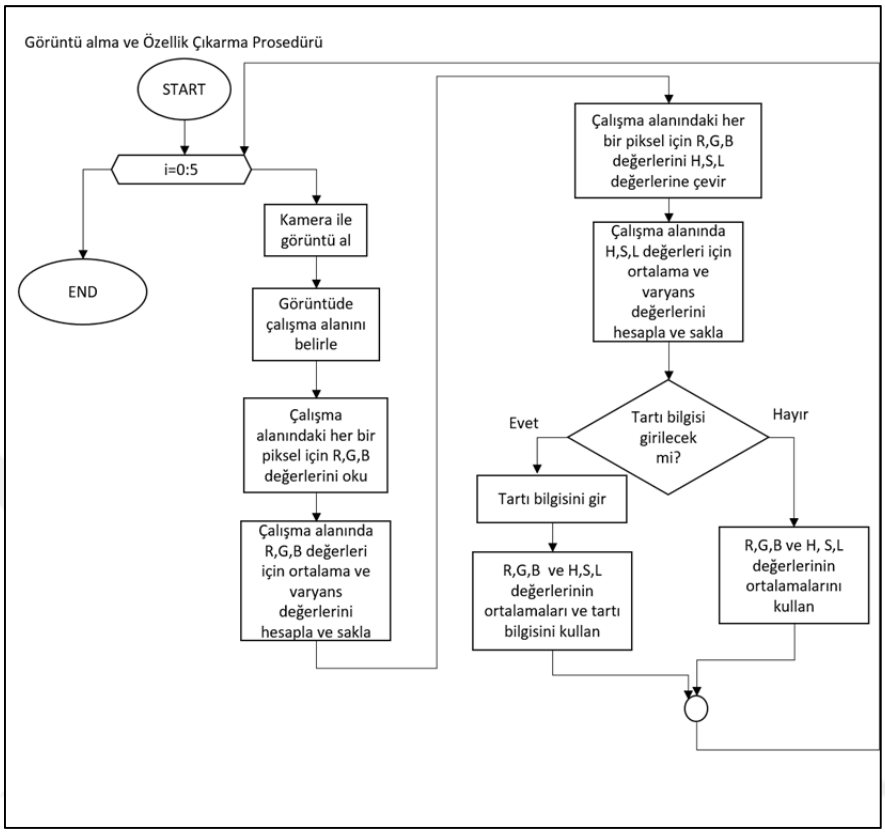
Moleküler elek geniş gözenekli kristal yapıya sahiptir. Bu gözenekler suyu veya başka polar molekülleri adsorblama ve tutma özelliğine sahiptir. 1000 m^2/g'a yakın bir yüzey alanında nem ve diğer akışkanları adsorblayabilir. Kömür numuneleri sabit tartıya, 5 dakikalık kurutma süresinde, 200 genlik/dakika ve 1/5 oranında kömür tozu-moleküler elek şartlarında getirilir. Kullanılan moleküler elek granüllerin boyutları 8-12 mesh (1,68-2,38 mm) aralığında olup kurutulan kömür numunesinin bu granüllerden ayrılması için 355 μm elekle eleme işlemine tabi tutulur. Böylece kömür tozu numuneleri Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminde analiz edilmeye hazır hale getirilir. Kömür tozu numunesi hazırlandıktan sonra, cihazın numune gözüne (Şekil 3.5) yerleştirilir.

Kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımının çalıştırılmasıyla birlikte kamera kalibrasyon işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilerek ışık şiddeti ayarlanır. Yazılımın akış şeması Şekil 3.10 ve 3.11'de verilmiştir.

Aydınlatma sistemi numune bölmesinin aydınlatmasını sabit tutmak için geliştirilmiş mikrokontrolcü kontrollü bir sistem olup RS232 seri port haberleşmesi ile dışarıdan ayarlanabilmekte, iki yönlü veri transferi sağlanabilmektedir. Sistemin girişleri numune bölmesinin yerleştiği iç haznenin dört ayrı köşesinde yer alan dört adet fotodiyotun üzerine düşen gerilim değerleri, sıcaklık etkisini gidermek üzere 2,5 V zener gerilim referansından okunan veri ve LM317 lineer gerilim regülatörünün çıkış gerilim verileri aydınlatma sistemi için girişlerdir. Bu girişler dikkate alınarak LM317'nin çıkış gerilimi dinamik olarak ayarlanmakta ve LED aydınlatma bloğunun ışık şiddeti sabit tutulmaktadır.



Şekil 3.10. Kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımının akış şeması (P.BŞV.2017/11637)

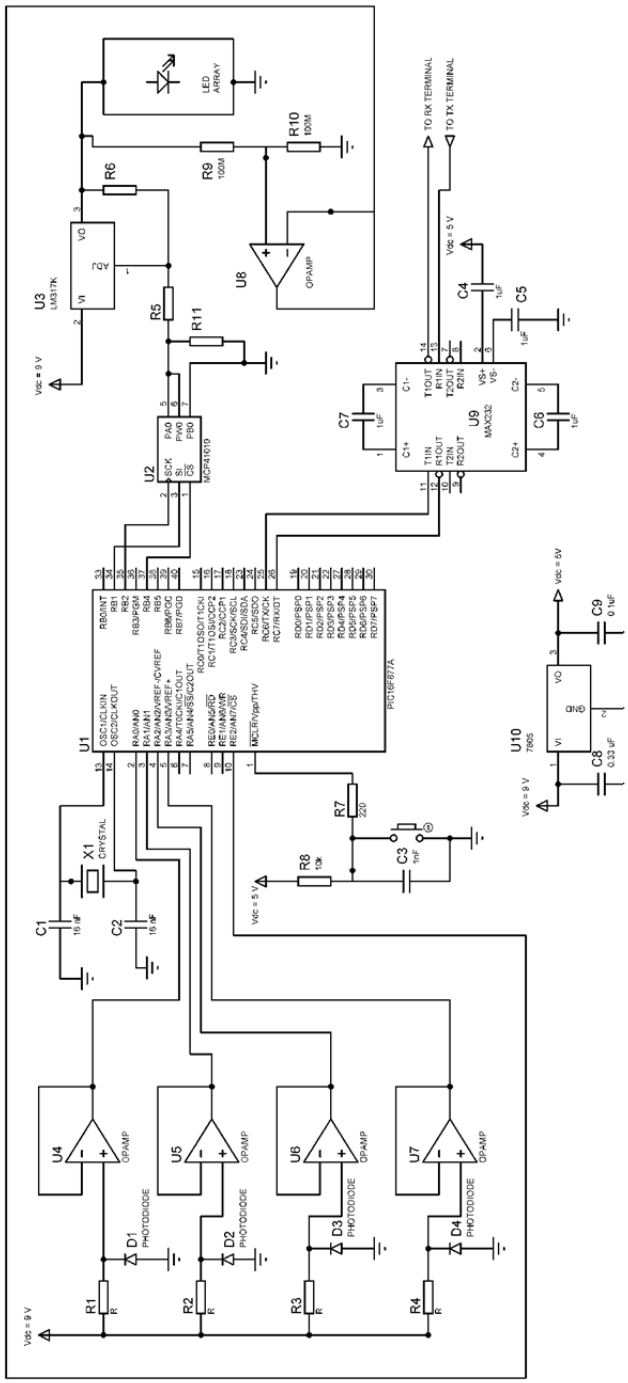


Şekil 3.11. Kömür tozu/taş tozu tanıma yazılımının akış şeması (P.BŞV.2017/11637)

Sistem seri porttan gelen ayar ve veri bilgisine göre ayarlanmaktadır. Seri port kesmesi oluşmasının ardından sistem seri porttan gelen veriye göre ayarlanabilmekte böylece farklı madenlere ait kömürlerin renk analizi için daha önceden çalışılmış en verimli ışık şiddeti ayarı yapılabilmektedir. Eğer seri port kesmesini müteakip sisteme gelen seri port verisi veri gönder komutuna karşılık gelen değer olursa o vakit aydınlatma sistemi seri port üzerinden harici cihaza dört ayrı fotodiyot verisini, LM317 çıkış gerilimi verisini ve zener gerilim referansı verilerini seri port üzerinden cevap olarak göndermektedir.

Aydınlatma sisteminin bütün girişleri analogdur. Bu veriler kullanılan PIC16F877A mikrokontrolcü içerisindeki 8 kanal 10 bit analogdan sayısala

dönüştürücü modülünün 6 tanesinin kullanımı ile sayısallaştırılmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Aydınlatma sisteminin devresi (P.BŞV.2017/11637)

Analogdan sayısala dönüştürme işlemi öncesi analogdan sayısala dönüştürücü çalışma aralığı olan 0 ile 5V arasında uygun gerilim değeri ayarlamaları yapılmıştır. Sistem 10 bit çözünürlükle yaklaşık 1 milivolt (mV) hassasiyete sahip bir sayısallaştırma yapmaktadır.

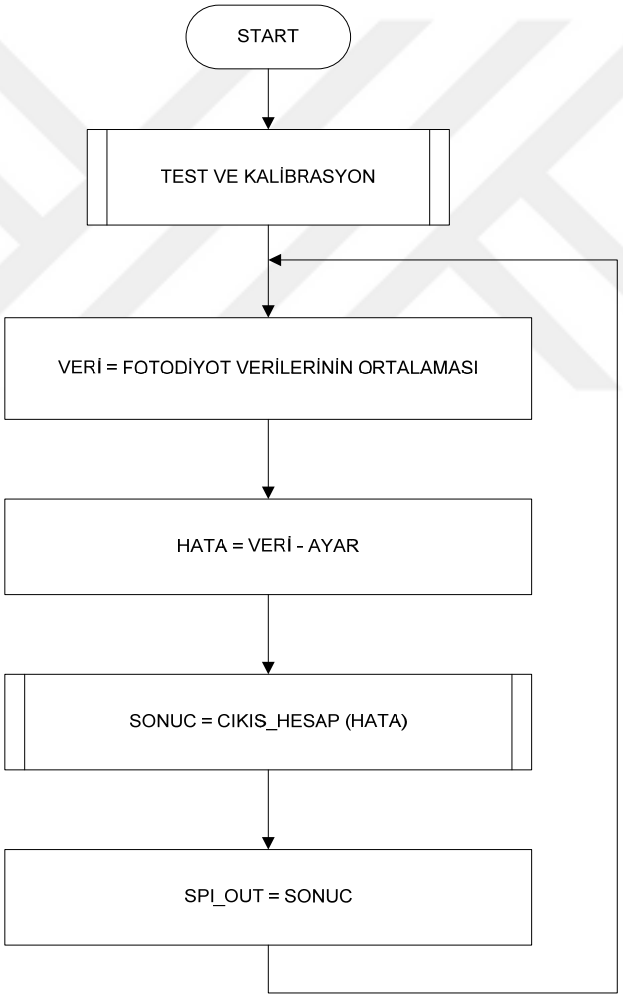
Zener gerilim referansı hariç bütün girişlerde çok düşük offset değerli, OPAMP tamponlar kullanılmıştır. Böylece enstrümantasyon devreleri ile analogdan sayısala dönüştürücünün etkileşimi ihmal edilir hale getirilmiştir. LM317'nin çıkış geriliminden alınan gerilim değeri verisi için gerilim bölücü ile ikiye bölme işlemi yapılmış böylece analogdan sayısala dönüştürücünün dönüştürme aralığına normalizasyon sağlanmıştır.

LM317'den alınan LED bloğunu süren gerilim çıkışının kontrolü MCP41010 ayarlanabilir sayısal direncin değerinin mikrokontrolcü tarafından değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ayarlanabilir sayısal direnç ile mikrokontrolcü iletişimi SPI bağlantısı ile gerçekleştirilmiştir.

LED bloğunun gerilim beslemesi LM317 ile yapılmaktadır. Seri haberleşme için gerilim düzeyi ayarlamak üzere MAX232 tümleşik devresi kullanılmıştır. Sistem haricen DC 9V gerilimi ile beslenmekte olup ihtiyaç duyulan ve yüksek akım çekmeyen yerlerde DC 5V gerilimi 7805 entegresinin kullanımı ile elde edilmiştir.

Devrenin genel çalışmasına ait blok diyagram Şekil 3.13'te görülmektedir. TEST VE KALİBRASYON alt programı sistem ilk açıldığı zaman LED'lerin sağlamlığının test edilmesi ve önceden ayarlı kalibrasyon değerlerine göre sistemin ihtiyaç duyulması halinde yeniden kalibre edilmesi işlemini gerçekleştirmektedir. Bu işlemin ardından blok diyagramda AYAR olarak adlandırılan kalibrasyon sonrası fotodiyot ortalama verileri ile anlık çalışma sırasında alınan blok diyagramda VERİ olarak adlandırılan ortalama fotodiyot verileri karşılaştırılır. Karşılaştırma ikisi arasındaki farkı HATA olarak isimlendiren bir çıkarma işlemidir. Daha sonra bu hata verisi CIKIS_HESAP isimli bir fonksiyona gönderilir. Bu fonksiyon hatayı minimize etmek üzere hazırlanmış en küçük

kareler (LMS) algoritması ile hesap yapan bir regresyon fonksiyonudur. Fonksiyon anlık HATA girişine karşılık SPI ara yüzü ile kontrol edilen sayısal direncin değerini hesaplar. Bu değeri çağıran programa SONUC olarak geri dönüşü akış diyagramında görülmektedir. Mikrokontrolcü bu hesabı kullanarak sayısal direncin değerini dinamik değiştirir. SPI_OUT ile SONUC değeri sayısal dirence gönderilmektedir. Böylece ışıklandırma değeri dinamik olarak sabitlenmiş olmaktadır.



Şekil 3.13. Devrenin genel çalışmasına ait blok diyagram (P.BŞV.2017/11637)

Kamera ile numunenin RGB (Red-Kırmızı, Green-Yeşil, Blue-Mavi) renk uzayında görüntüsü alınır. Şekil 3.14'te alınan görüntüden bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.14. RGB renk uzayında alınan kömür tozu görüntüsü (P.BŞV.2017/11637)

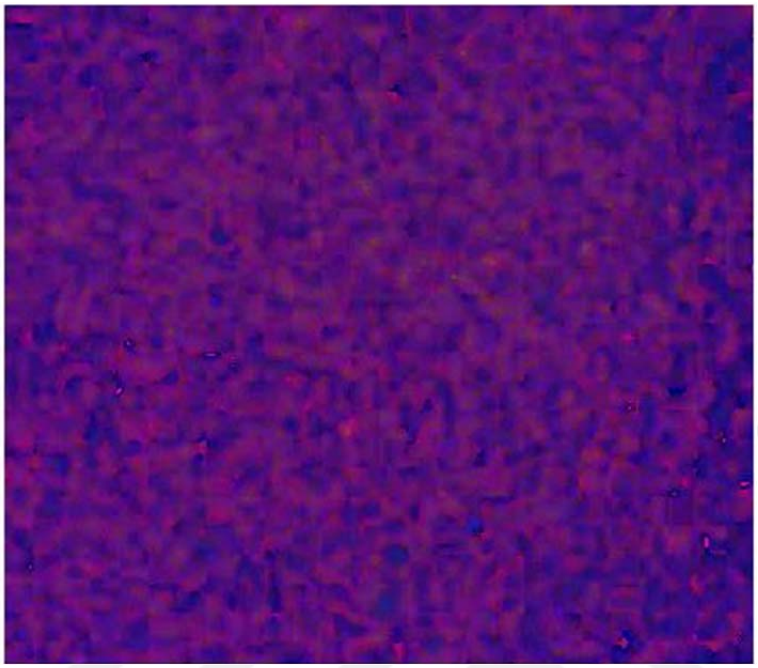
Kamera lensini balıkgözü etkisinden kurtarmak için çalışma alanı olarak net görüntünün elde edildiği kısımlar belirlenir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Balıkgözü etkisinden arındırılmış bölge (P.BŞV.2017/11637)

Belirlenen alandaki piksel değerlerinin R, G ve B bileşenleri tek tek elde edilip toplamları hesaplanır ve eldeki piksel sayısına bölünerek ortalama değerleri ve varyans değerleri her bileşen için ayrı ayrı (Rortalama, Gortalama, Bortalama, Rvaryans, Gvaryans, Bvaryans) elde edilir. Ölçüm hassaslığını arttırmak amacıyla RGB uzayından HSL (Hue-Renk, Saturasyon-Doygunluk, Light-Parlaklık) uzayına dönüşüm yapılır. Şekil 3.16'da HSL uzayına dönüştürülmüş olan örnek görüntü verilmiştir.

RGB uzayında olduğu gibi, HSL uzayında da her bileşen ayrı ayrı elde edilerek toplanır ve her bileşenin ortalama ve varyans değerleri ($H_{ortalama}$, $S_{ortalama}$, $L_{ortalama}$, $H_{varyans}$, $S_{varyans}$, $L_{varyans}$) elde edilir (Şekil 3.17). Görüntülerden elde edilen bu on iki farklı özellik kullanılarak numunedeki taş tozu ve kömür ağırlıkça oranlarına karar verilir. Ayrıca istenirse önerilen sistemin hassas terazisi yardımıyla alınan ağırlık bilgisi de altı (6) farklı özelliğe ek olarak kullanılır. Kömür tozu numunesindeki taş tozu ve kömür ağırlıkça oranlarına altı (6) ve/veya yedi (7) farklı özellik kullanılarak karar verilir. Ağırlık girdisi opsiyonel olup tartı istendiği takdirde aktifleşecektir. Aksi takdirde sadece renk tabanlı özellikler kullanılacaktır.



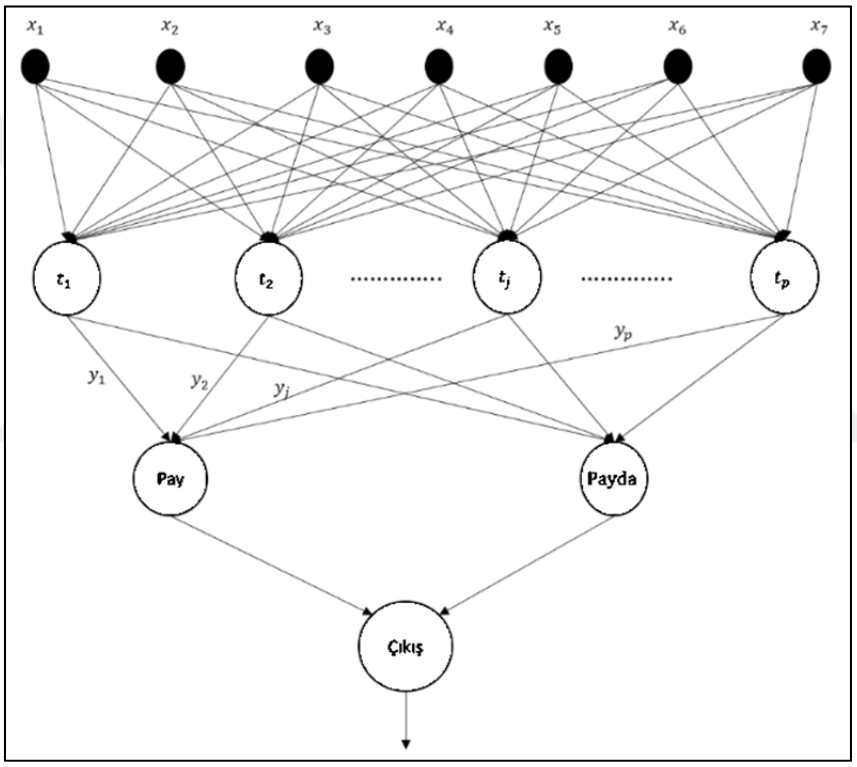
Şekil 3.16. HSL uzayına dönüştürülmüş olan örnek görüntü (P.BŞV.2017/11637)

no	Red	Green	Blue	VarRed	VarGreen	VarBlue	Hue	Sat	Lght	VarHue	VarSat	VarLght
1	32.1788	35.1902	31.0751	0.331386	0.340198	0.374999	52.3877	19.964	32.9091	8.3275	1.85364	0.348329
1	32.5333	35.1913	31.1594	0.27766	0.356865	0.399243	52.1797	17.7288	33.2602	12.0566	2.23685	0.350947
1	32.2818	35.29	31.2297	0.263743	0.345225	0.414949	48.3854	20.878	32.9392	14.9939	1.80605	0.358761
1	32.6727	35.2638	31.3235	0.277047	0.379853	0.377587	44.7356	19.2919	33.2143	13.5676	2.55718	0.289863
1	32.5192	35.3183	31.3857	0.363842	0.352691	0.383711	55.1461	18.1333	33.3092	14.1114	2.48725	0.383217

Şekil 3.17. Görüntülerden elde edilen on iki farklı özellik (P.BŞV.2017/11637)

Tahmin işleminde GRNN (Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı) ve MLP (Çok Katmanlı Algılayıcı) Yapay Sinir Ağları kullanılmaktadır. Bu iki yapı eğiticili öğrenen Yapay Sinir Ağları olup tahmin problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadırlar. İki Yapay Sinir Ağının eğitimi, tespit işlemine başlamadan önce, analizi yapılacak olan kömür tozu numunesinin sisteme tanıtılması aşamasında gerçekleştirilmektedir. Eğitim verileri için çalışılacak madenden alınan örneklere aynı işlemler uygulanarak gerekli altı (6) renk tabanlı özellik ve hassas teraziden alınan ağırlık bilgileri kullanılarak yapay sinir ağlarının katsayıları elde edilmektedir.

GRNN ağ mimarisi, 4 katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanından uygulanan test verisi ile eğitim verileri arasındaki benzerlik uzaklık hesabı tabanlı olup Gauss fonksiyonu kullanılarak hesaplanmakta ve ağırlıklı ortalama ile test verisi için sonuç elde edilmektedir. Şekil 3.18'de GRNN ağ mimarisi gösterilmiştir; yukarıdan aşağıya ilk katman giriş, ikinci katman örüntü, üçüncü katman toplama ve dördüncü katman çıkış katmanıdır.



Şekil 3.18. GRNN ağ mimarisi

Giriş katmanından girişler, (x(R, G, B, H, S, L, tartı bilgisi)) beslenmektedir. İkinci katman da ise eğitim verileri yer almaktadır, ($t_{1....}$p, p eğitim verisi sayısı). Bu katmanda karesel Öklid uzaklığı hesaplandıktan (3.1) sonra Gauss fonksiyonu (3.2) uygulanır. Denklemlerde t_j, j. eğitim verisini, x uygulanan 7 boyutlu girişi (R, G, B, H, S, L, tartı bilgisi), D_j j. eğitim verisi için hesaplanan karesel Öklid

uzaklığını, r_j, j. nöronun çıkışını ve σ varyans değerini göstermektedir (Al-Daoud, 2009; Erkmen and Yildirim, 2008; Specht, 1991).

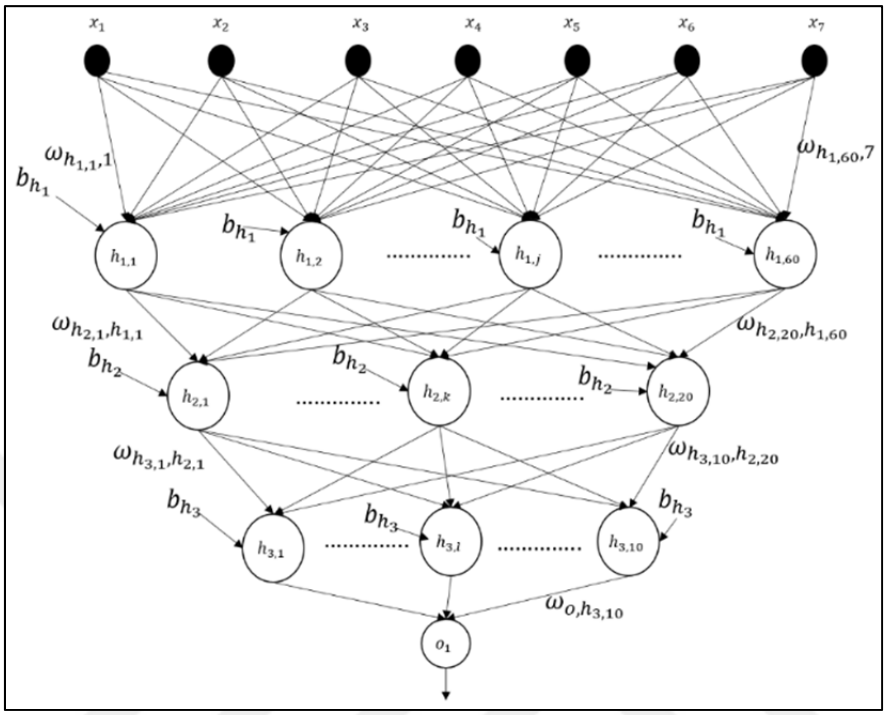
$$D_j = (x - t_j)^T (x - t_j) \quad (3.1)$$

$$r_j = e^{\left[\frac{-D_j}{2\sigma^2}\right]} \quad (3.2)$$

Üçüncü katmanda payda nöronu, örüntü katmanından gelen çıkışları toplarken; pay nöronu örüntü katmanından gelen çıkışları (j. nöron için r_j) eğitim verilerinin çıkış değerleriyle (j. nöron için y_j) ağırlıklandırarak toplamaktadır. Çıkış katmanı ise ağırlıklı toplamı, ağırlıksız toplama bölerek sonucu (Y(x) üretir (Al-Daoud, 2009; Erkmen and Yildirim, 2008; Specht, 1991). (3.3) çıkış değerinin hesaplanmasını göstermektedir, Y(x), taş tozu ağırlığının yüzde ölçümünü ifade etmektedir.

$$Y(x) = \frac{\sum_{j=1}^{p} y_j * r_j}{\sum_{j=1}^{p} r_j} \quad (3.3)$$

MLP mimarisinde ise giriş katmanı birden fazla gizli katman ve bir sonuç katmanı kullanılmaktadır (Şekil 3.19). MLP ağının eğitimi aşamasında, örnek veriler kullanılarak lineer olmayan bir matematiksel ifade sağlanmaktadır. Bu matematiksel ifadenin katsayıları, eğim düşüm yöntemi aracılığıyla örnek verilerin hata değerlerinin minimuma indirgenmesi ile bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde kullanılan 5 katmanlı MLP ağ mimarisi gösterilmiştir. (x(R, G, B, H, S, L, tartı bilgisi)) giriş birimlerini; ω'ler ağırlıkları, b'ler ise biyas değerlerini göstermektedir. MLP ağ yapısında, her katman bir sonraki katmana tam bağlıdır.



Şekil 3.19. MLP ağ mimarisi

Birinci katmanda yer alan j. nöronun çıkışı $h_{1,j}$ olsun; değeri, (3.4)'teki gibi hesaplanır.

$$h_{1,j} = f\left(\sum_{i=1}^{7} \omega_{h_{1,j},i} * x_i + b_{h_1}\right) \tag{3.4}$$

İkinci katmanda yer alan k. nöronun çıkışı $h_{2,k}$ olsun; değeri, (3.5)'teki gibi hesaplanır.

$$h_{2,k} = f\left(\sum_{j=1}^{60} \omega_{h_{2,k},h_{1,j}} * h_{1,j} + b_{h_2}\right) \tag{3.5}$$

Üçüncü katmanda yer alan l. nöronun çıkışı $h_{3,l}$ ile gösterilsin, çıkış değeri (3.6)'da gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$h_{3,l} = f\left(\sum_{k=1}^{20} \omega_{h_{3,l},h_{2,k}} * h_{2,k} + b_{h_3}\right) \tag{3.6}$$

Denklemlerde yer alan f( ) fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonudur ve tanjant hiperbolik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. (3.7), tanjant hiperbolik sigmoid fonksiyonunu göstermektedir.

$$f(h) = \frac{2}{(1 + exp(-2 * h))} - 1 \tag{3.7}$$

Çıkış katmanında ise değer (3.8) verilen şekilde hesaplanmaktadır, buradaki aktivasyon fonksiyonu lineerdir, hesaplanan ağırlıklı girişlerin toplamı çıkışı gösterir.

$$o = \sum_{l=1}^{10} \omega_{o,h_{3,l}} * h_{3,l} \tag{3.8}$$

Eğitim aşamasında, hedef değer ile hesaplanan değer arasındaki karesel hata bulunur ve bu hatanın ağırlıklara göre değişimi hesaplanır. Hatanın minimizasyonu için hesaplanan türevlerin tersi yönünde ilerlenir. Çıkış katmanında oluşan hata, geriye doğru tüm nöronlara ağırlıkları ölçüsünde paylaştırılır. Belirlenen iterasyon sayısı kadar eğitme işlemi devam ettirilir. Eğitim işleminin adımları sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

o, ağın tahmin ettiği değeri; y ise gerçek değeri göstersin, karesel hata e, (3.9)'daki şekilde hesaplanacaktır.

$$e = (o - y)^2 \tag{3.9}$$

Son katmandaki ağırlıkların, hata üzerindeki etkisi (3.10)'daki gibi olacaktır.

$$\frac{\partial o}{\partial \omega_{o,h_{3,l}}} = -2(o - y) f'\left(\sum_{l=1}^{10} \omega_{o,h_{3,l}} * h_{3,l}\right) h_{3,l} = -2(o - y) * h_{3,l} \tag{3.10}$$

Gizli katmanlara (h_3 ile h_2 ve h_2 ile h_1) yayılan hata ise sırasıyla (3.11) ve (3.12)'deki şekilde hesaplanır, f' aktivasyon fonksiyonunun türevini göstermektedir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{3,l},h_{2,k}}} &= -2(o - y) * h_{3,l} * \omega_{o,h_{3,l}} \\ &\quad * f'\left(\sum_{k=1}^{20} \omega_{h_{3,l},h_{2,k}} * h_{2,k} + b_{h_3}\right) * h_{2,k} \end{aligned} \tag{3.11}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{2,k},h_{1,j}}} = \left(\sum_{l} -2(o - y) * h_{3,l} * \omega_{o,h_{3,l}}\right. \\ * f'\left(\sum_{k=1}^{20} \omega_{h_{3,l},h_{2,k}} * h_{2,k} + b_{h_3}\right) * \omega_{h_{3,l},h_{2,k}}\Bigg) \\ * f'\left(\sum_{j=1}^{60} \omega_{h_{2,k},h_{1,j}} * h_{1,j} + b_{h_2}\right) * h_{1,j} \end{aligned} \tag{3.12}$$

Giriş katmanı ile ilk gizli katman arasındaki ağırlıkların hataya etkisi ise (3.13)'teki şekilde hesaplanır.

$$\frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{1,j},i}} = \left(\sum_{k} \left(\sum_{l} -2(o-y) * h_{3,l} * \omega_{o,h_{3,l}} * f' \left(\sum_{k=1}^{20} \omega_{h_{3,l},h_{2,k}} * h_{2,k} + b_{h_3} \right) * \omega_{h_{3,l},h_{2,k}} \right) * f' \left(\sum_{j=1}^{60} \omega_{h_{2,k},h_{1,j}} * h_{1,j} + b_{h_2} \right) \right) * f' \left(\sum_{i=1}^{7} \omega_{h_{1,j},i} * x_i + b_{h_1} \right) * x_i \quad (3.13)$$

Ağırlıklar hesaplanan eğimlerin tersi yönünde (3.14)'te verilen şekilde güncellenir, lr öğrenme katsayısını göstermektedir.

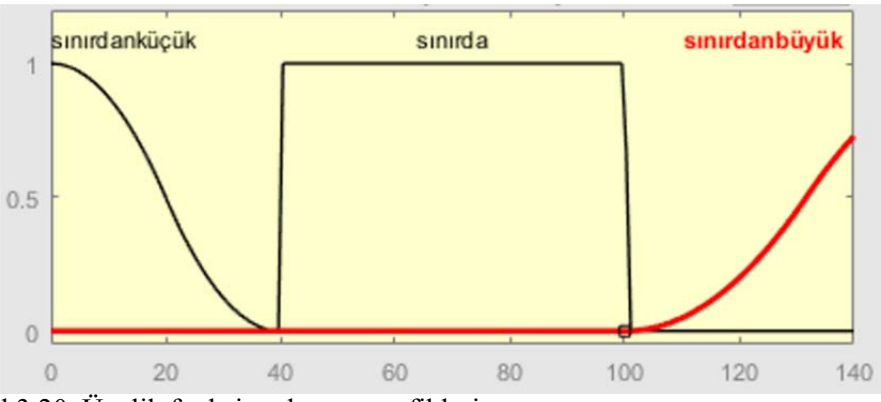
$$\begin{aligned} {\omega_{h_{1,j},i}}^{yeni} &= \omega_{h_{1,j},i} - lr * \frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{1,j},i}} \\ {\omega_{h_{2,k},h_{1,j}}}^{yeni} &= \omega_{h_{2,k},h_{1,j}} - lr * \frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{2,k},h_{1,j}}} \\ {\omega_{h_{3,l},h_{2,k}}}^{yeni} &= \omega_{h_{3,l},h_{2,k}} - lr * \frac{\partial o}{\partial \omega_{h_{3,l},h_{2,k}}} \\ {\omega_{o,h_{3,l}}}^{yeni} &= \omega_{o,h_{3,l}} - lr * \frac{\partial o}{\partial \omega_{o,h_{3,l}}} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Yapay sinir ağlarının (MLP ve GRNN) eğitme işlemleri, kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminin üretim aşamasında tamamlanmış olup sistemin ticari kullanımı sırasında eğitme işlemi yapılmamaktadır. Eğitim aşamasında elde edilen MLP için ağırlık ve biyas

değerleri ile GRNN için örnek veri değerleri sistemin ticari kullanımı sırasında önceden hazırlanmış olan veri tabanlarında tutulmaktadır.

Kullanıcı herhangi bir eğitme işlemi gerçekleştirmemektedir. Her bir numune işlemi için görüntü alma, özellik çıkarımı ve uzman sistemler birden fazla kez çalıştırılmaktadır. Karar sistemine her bir çalıştırma sonucunda elde edilen MLP ve GRNN sonuçları gönderilmektedir. Karar verme aşamasında Bulanık Mantık kullanılmaktadır. Bu sonuçlar bulanıklaştırma fonksiyonlarından geçirilmekte ardından bulanık kurallar elde edilmekte ve en son aşama olan durulaştırma işlemi ile taş tozu ağırlığı ve kömür yüzdeleri tahmin edilmektedir. Bulanık mantığın ilk adımı olan bulanıklaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için üyelik fonksiyonu tanımlamaları yapılmaktadır.

$\mu^1{}_{\text{MLP}}, \mu^2{}_{\text{MLP}}, \mu^3{}_{\text{MLP}}$ ve $\mu^1{}_{\text{GRNN}}, \mu^2{}_{\text{GRNN}}, \mu^3{}_{\text{GRNN}}$ Olmak üzere her bir giriş için üç farklı üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Birinci üyelik fonksiyonu çalışma sınırından düşük değer elde edildiğini, ikinci üyelik fonksiyonu çalışma sınırları içinde değerler elde edildiğini, üçüncü üyelik fonksiyonu ise çalışma sınırı dışında kalındığını göstermektedir. Sistemde birinci üyelik fonksiyonları için Z şekilli üyelik fonksiyonu, ikinci üyelik fonksiyonları için yamuk şekilli üyelik fonksiyonu ve üçüncü üyelik fonksiyonları için ise S şekilli üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Şekil 3.20'de üyelik fonksiyonlarının grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Üyelik fonksiyonlarının grafikleri

(3.15), (3.16) ve (3.17)'de MLP girişi için sırasıyla Z şekilli, yamuk şekilli ve S şekilli üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.

$$\mu^1{}_{MLP}(x;a,b) = \begin{cases} 1, & x \le 0 \\ 1 - 2\left(\frac{x-40}{40-0}\right)^2, & 0 \le x \le 40 \\ 2\left(\frac{x-40}{40-0}\right)^2, & 20 \le x \le 40 \\ 0, & x \ge 40 \end{cases} \tag{3.15}$$

$$\mu^2{}_{MLP}(x;a,b,c,d) = \begin{cases} 0, & x \le 39.9 \\ \left(\frac{x-39.9}{40-39.9}\right), & 39.9 \le x \le 40 \\ 1, & 40 \le x \le 100 \\ \left(\frac{100.1-x}{100.1-100}\right) & 100 \le x \le 100.1 \\ 0, & x \ge 100.1 \end{cases} \tag{3.16}$$

$$\mu^3{}_{MLP}(x;a,b) = \begin{cases} 0, & x \le 100 \\ 2\left(\frac{x-100}{163-100}\right)^2, & 100 \le x \le 131.5 \\ 1 - 2\left(\frac{x-163}{163-100}\right)^2, & 131.5 \le x \le 163 \\ 1, & x \ge 163 \end{cases} \tag{3.17}$$

Bulanıklaştırma aşamasında, bir veri için birden fazla kez çalıştırılan sistemden elde edilen i. sonuçlar $x^i{}_{MLP}$ ve $x^i{}_{GRNN}$ ile gösterilmek üzere üyelik fonksiyonlarında yerlerine konularak bulanık değerler elde edilmektedir. Üyelik fonksiyonlarına dayanarak elde edilen kurallar yardımıyla i. sonuç için çıkış değerinin üye olduğu grup belirlenmektedir. Örnek bir kural aşağıda verilmiştir:

"Eğer MLP sınırdan küçük **ve** GRNN sınırdan küçük **ise** çıkış sınırdan küçük"

Elde edilen bulanık çıkış değeri durulaştırılarak kesin değerlere dönüştürülmektedir. Sistemde Memdani yöntemi uygulanmakta ve durulaştırma fonksiyonu olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılmaktadır. "$1 \le i \le N$" N,

tahmin işleminin tekrarlanma sayısını göstersin, tek bir veri için N farklı sonuç elde edilmektedir en son karar verme aşamasında bu N sonuçtan en fazla tekrarlanan yapı kesin sonuç olarak belirlenmektedir. Elde edilen bu kesin sonuca ve kullanıcı tarafından girilen metan gazı bilgisine göre kullanıcıya taş tozu ilavesinin gerekli olup olmadığı ile ilgili olarak uyarılar verilmektedir. Örneğin, "%5 taş tozu ilavesi gerekmektedir".

Sistem üzerinde yürütülecek yapay sinir ağı çözümleri güncel ve en ileri yapay sinir ağı topolojilerini ve eğitim yöntemlerini içermektedir. Tek veya çoklu yapay sinir ağlarının bir arada kullanımı ile elde edilen yapay zekâlı uzman sistem sayesinde, hata payı eş işlevli cihazlara göre çok daha küçüktür. Sistem kendi başına çalışabilir ve taşınabilir bir donanım olup üzerinde gerçekleştirilen amaca özel yazılım ile birlikte sistem olarak özgün bir çözümdür. Sistemin ana kartı, kamerası ve dokunmatik ekranı standart donanımlardır. Bu standart donanımların yerleştirildiği kasa, numune giriş gözü, numune giriş kabı, güç kaynağı, şarj ünitesi, kamera için aydınlatma sistemi ve kömür/taş tozu tanıma yazılımı tamamen bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Sistemin içerisinde kullanılacak yazılım amaca özel geliştirilmiş olup hem yazılım hem de donanım olarak sistemin bütünü, farklı eğitim ve bu eğitimler sonucu elde edilecek katsayılara göre farklı maden ocaklarında kullanılabilecek bir evrensel çözüm sunmaktadır.

Dünyadaki bütün yeraltı kömür ocaklarında, taş tozu-kömür tozu karışımlarının hızlı ve güvenilir bir şekilde ölçülmesini gerçekleştirebilecek olan sistemin çalışma prensibi yukarıda açıklanmıştır:

Geliştirilen sistem ile yeraltı maden yollarında toz patlayabilirlik seviyesinin tespiti için sürekli örnekleme yapılması ve taş tozu oranlarının belirlenmesi hızlı ve güvenilir bir şekilde mümkün olacaktır. Bu sistem kendisine ait kamera, yüksek hassasiyetli ve kontrollü ışıklandırma, mikroişlemcili sistem, dokunmatik ekran, çevresel haberleşme ve besleme ünitelerinden oluşan bir yapıda olup, kendi başına çalışır ve taşınabilir haldedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında Afşin-Elbistan, Soma ve Tunçbilek sahalarından alınan kömür numuneleri üzerinde kömür numunelerinin özelliklerini ortaya koymak amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu numunelerin patlayabilirlik özelliklerini ortaya koymak amacıyla da 20-L Siwek küresi ile patlama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

4.1. Afşin-Elbistan Kömür Numuneleri Deney Sonuçları

4.1.1. Elek Analizi

Afşin-Elbistan bölgesinden alınan kömür tozu numunelerinin elek analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Ayrıca bölgeden alınan parça numune öğütülerek toz patlama testine gönderilmiştir. Bu numunenin elek analizi Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Afşin-Elbistan Brüden kömürü elek analizi

Boyut (µm)	90	75	63	44	33	25	15	8
Geçen (%)	100	90	82	73	62	55	25	10

Çizelge 4.2. Afşin-Elbistan toz patlama küresinde deney yapılan numunenin elek analizi (DEKRA, 2016)

	Elek Boyutu	Elbistan
Elek aralığı (ağırlıkça %)	< 63 µm	100
	< 53 µm	96
	< 32 µm	73
	< 20 µm	53
Ortalama değer (D_{50})	<20 µm	

4.1.2. Kimyasal Analiz

Afşin-Elbistan bölgesinden alınan numunelerin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla ASTM D3174'e göre kül elde edilmiş ve daha sonra bu küllerden XRF analiz yöntemiyle kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Afşin-Elbistan bölgesinden alınan numunelerin XRF sonucu Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Afşin-Elbistan külü XRF sonucu

Numune	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	MnO	K_2O
Afşin-Elbistan	6,02	11,13	6,36	50,95	25,40	-	0,06	0,08

4.1.3. Kısa Analiz, Kükürt Analizi ve Alt Isıl Değer Analizi

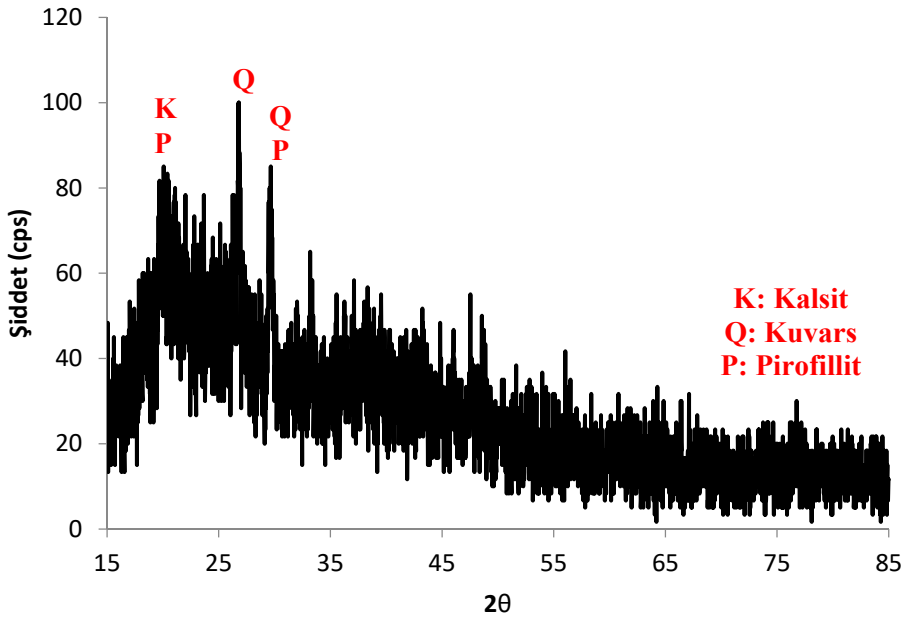
Afşin-Elbistan bölgesinden alınan numunelerin kısa analizi yapılarak kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon özellikleri ile kükürt ve kalori değerleri standartlarına uygun şekilde belirlenerek analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Afşin-Elbistan numunelerinin kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analizi sonuçları

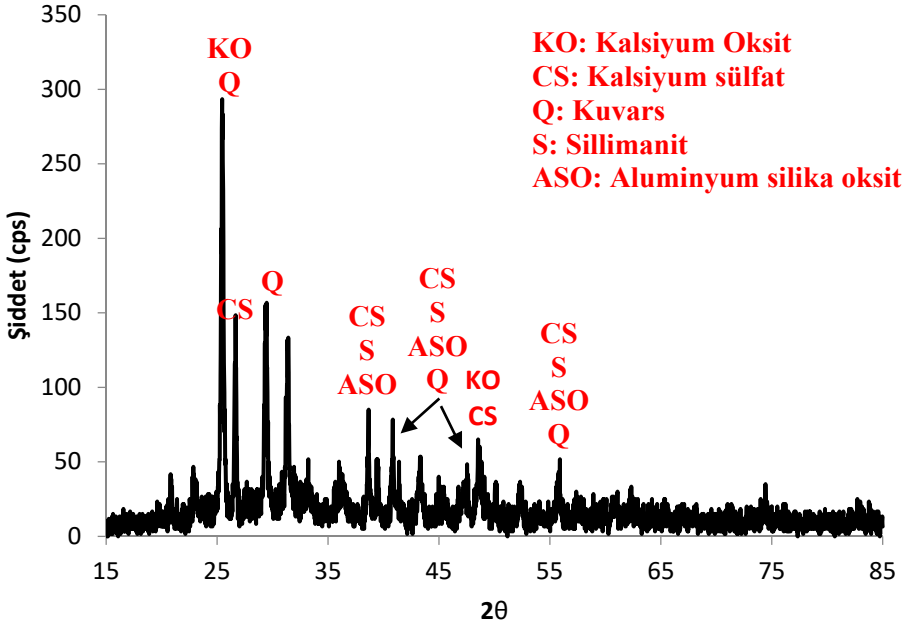
Analiz (adb) (havada kuru)	Elbistan
Sabit karbon (ağırlıkça %)	23,98
Kül (ağırlıkça %)	28,60
Uçucu madde (ağırlıkça %)	41,92
Nem (ağırlıkça %)	5,50
Kükürt (ağırlıkça %)	3,456
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3593

4.1.4. XRD Analizi

Afşin-Elbistan kömürü ve bu kömürden elde edilen küllerde yapılan XRD analizlerinde kömürde Kalsit, Kuvars ve Pirofillit ana mineralleri bulunurken (şekil 4.1) küllerde ana mineral olarak Kalsiyum Oksit, Kalsiyum sülfat, Kuvars ve sillimanit (Şekil 4. 2) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Afşin-Elbistan kömürüne ait XRD grafiği

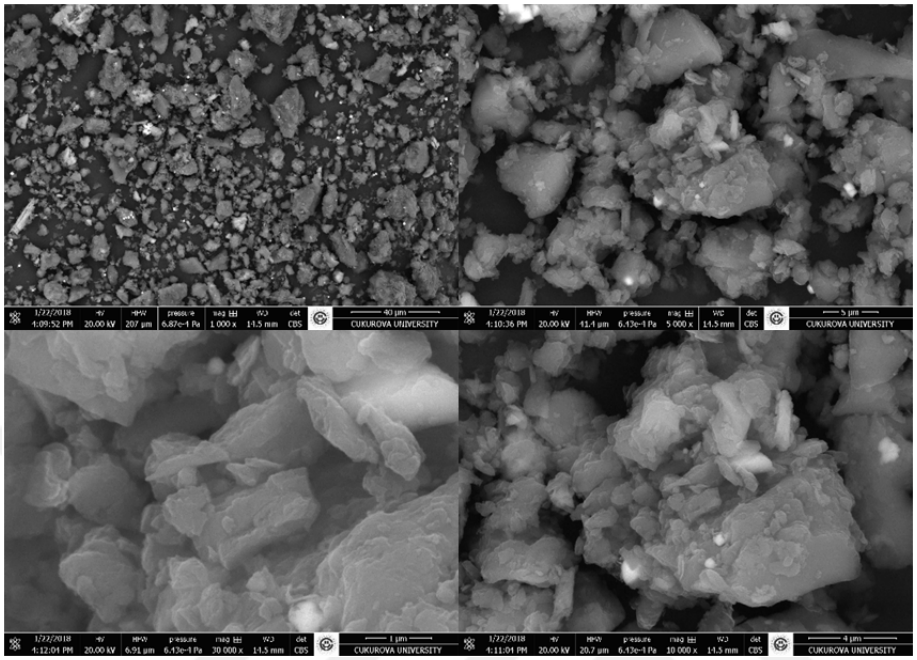


Şekil 4.2. Afşin-Elbistan kömüründen elde edilen külün XRD grafiği

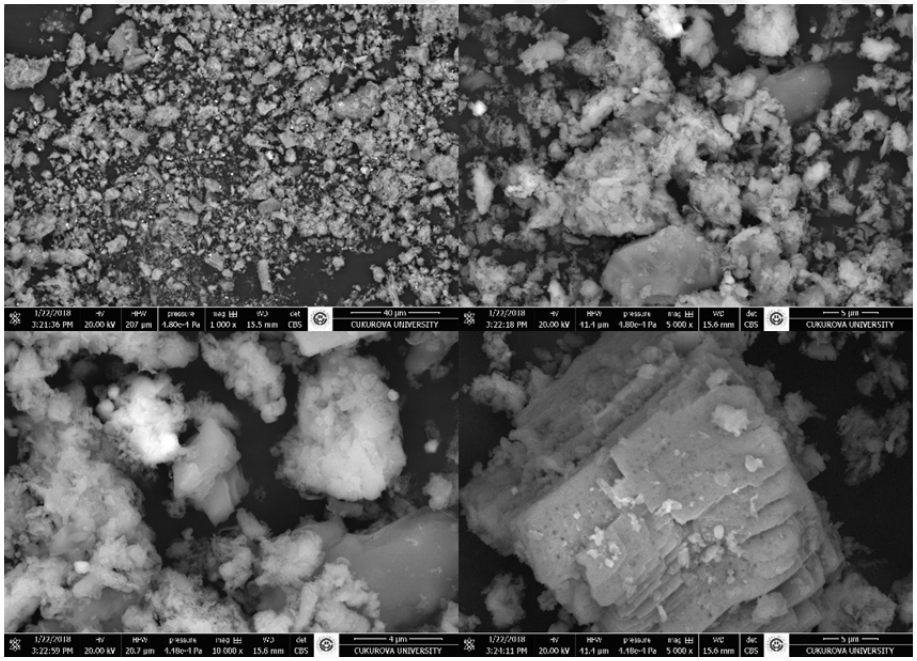
4.1.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi

Çalışma kapsamında kullanılan kömür tozları, kömür tozlarından elde edilen küller ve termik santralde yakılan kömür küllerinin SEM mikroskop görüntüleri çekilmiştir. Kömür toz numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.3'te verilmiştir.

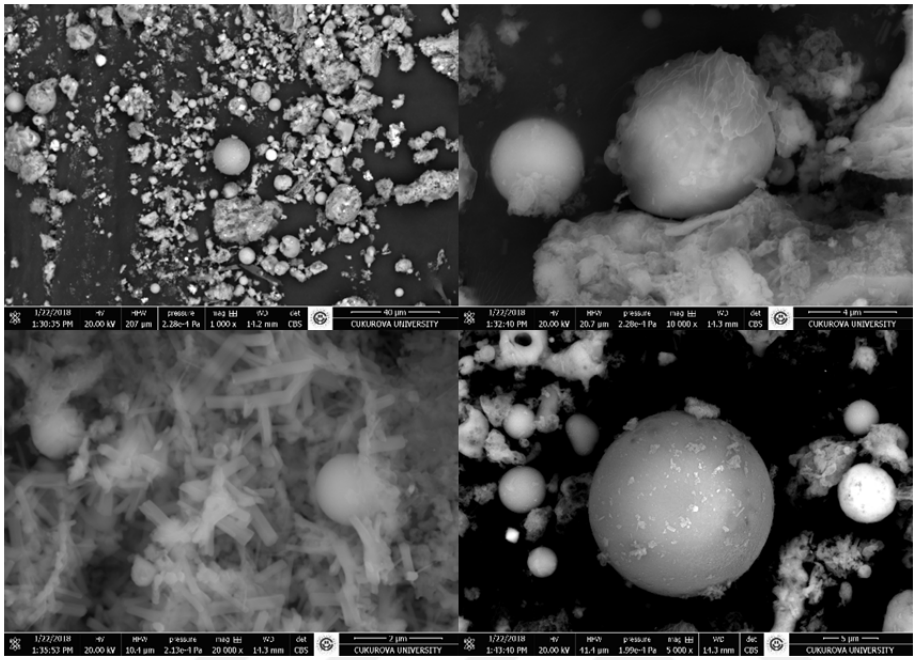
ASTM standardına uygun hazırlanan kömür külüne ait SEM görüntüleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Termik santralde yakılan aynı cins kömürün uçucu küllerine ait SEM görüntüleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Afşin-Elbistan kömür tozuna ait SEM fotoğrafları



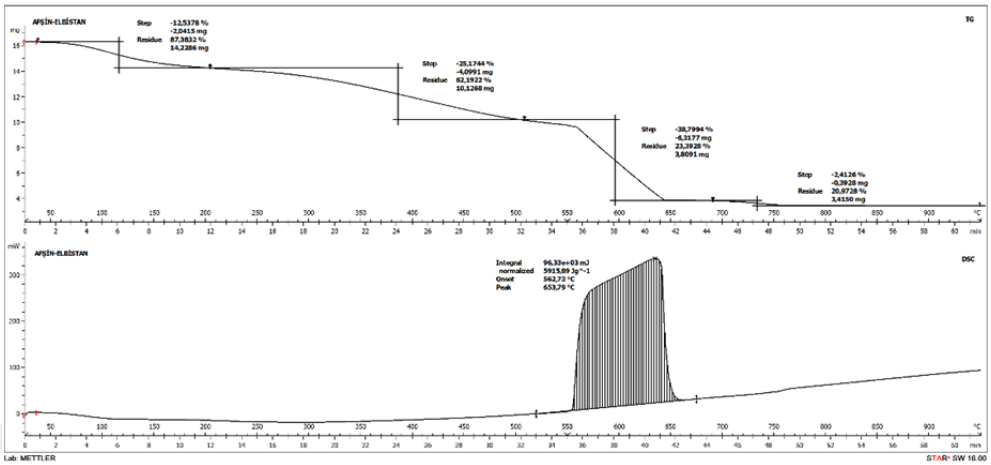
Şekil 4.4. Afşin-Elbistan kömür külüne ait SEM fotoğrafları



Şekil 4.5. Afşin-Elbistan kömürü uçucu külüne ait SEM fotoğrafları

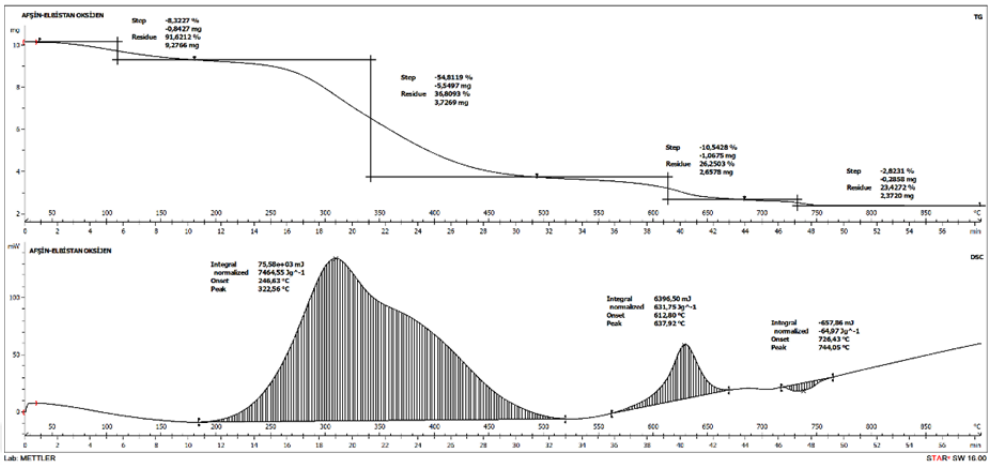
4.1.6. TGA-DSC Analizi

Afşin-Elbistan kömür numunelerinin tutuşma sıcaklıkları, yanma süreleri, kütle kayıplarının belirlenmesi ve çıkan enerji miktarlarının bulunması için bölgeden alınan numuneler üzerinde TGA-DSC analizleri yapılmıştır. Kömür numunelerinde bu analizler iki farklı metotta yapılmıştır. Birinci metotta 550 ºC'ye kadar ortama sadece azot verilerek ısıtma yapılmış ve 550 ºC-950 ºC arasında ise oksijen verilerek yakma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6). Bu işlem sırasında ilk 150 ºC'lik kısımda numune içinde bulunan %12,75 oranında nem uzaklaşmıştır. Bu metotta tutuşma sıcaklığı 210 ºC olarak tespit edilmiştir. 150 ºC-550 ºC arasında %24,46 oranında uçucu madde uzaklaşmıştır. Ortama oksijen verilmesi ile 550 ºC-750 ºC arasında yanma olayı gerçekleşmiştir. Bu yanma sonucunda %20,97'lik bir kül miktarı kalmıştır.



Şekil 4.6. Afşin-Elbistan kömürüne ait I. Metot TGA-DSC analizi grafiği

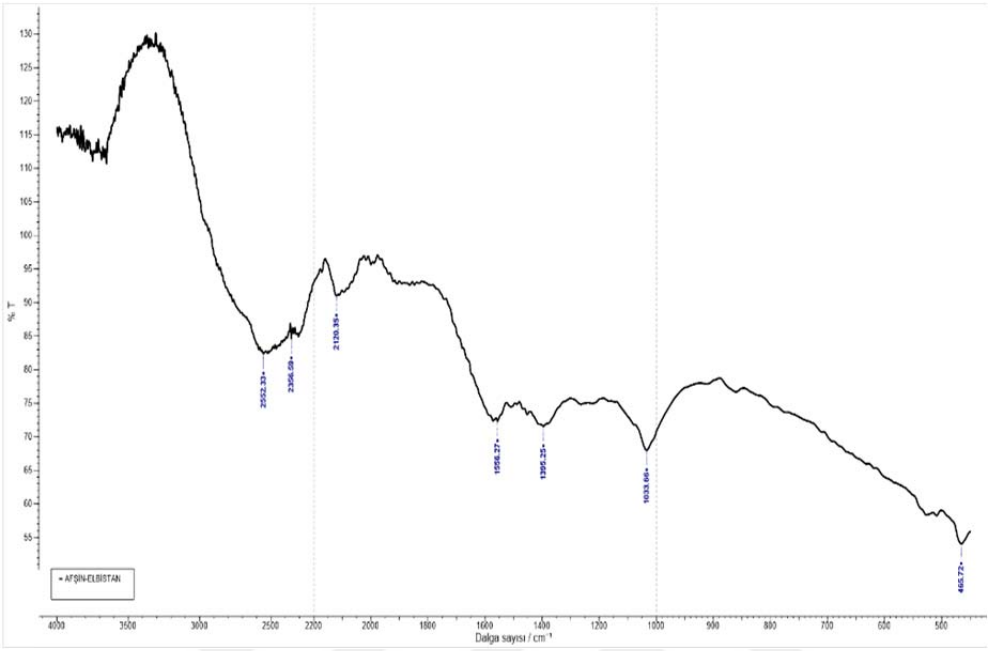
İkinci metot olarak 0 ºC-950 ºC arasında yakma işlemi gerçekleştirilmiş olup ortama başlangıçtan itibaren oksijen verilmiştir (Şekil 4.7). Bu metotta 220ºC'ye kadarlık kısımda %9,45 oranında nem ortamdan uzaklaşmıştır. Tutuşma sıcaklığı 220 ºC olarak tespit edilmiştir. 220 ºC-490 ºC arasında birinci yanma olayı gerçekleşmiş olup %53,42 oranında kütle kaybı gerçekleşmiştir. 490 ºC-685 ºC arasında ikinci yanma gerçekleşmiş ve %10,73 oranında bir kütle kaybı ölçülmüştür. En son aşamada 685 ºC-750 ºC arasında gerçekleşen üçüncü yanma olayında %2,90 oranında bir kütle kaybı görülmüştür. Bu metotta tespit edilen kül miktarı %23,43 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.7. Afşin-Elbistan kömürüne ait II. Metot TGA-DSC analizi grafiği

4.1.7. FTIR Analizi

Kömür numunelerinin yapısını incelemek üzere FTIR analizleri yapılmıştır (Şekil 4.8). Çalışılan kömür örneklerinin FTIR spektrumları incelendiğinde; alifatik C-H gerilme piki (3000 -2800 cm^{-1}) bu linyit örneğinde de gözlenmiştir. Afşin-Elbistan linyiti spektrumunda bu bölgede gözlenen şiddetli ve yayvan pik bu kömürlerin çok fazla alifatik yapıda olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda FTIR spektrumunda gözlenen 1433 cm^{-1} deki pik alifatik C-H bükülme titreşiminden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, Elbistan linyitinde 1035 cm^{-1} dolaylarında C-O-C birimlerinin gerilme titreşimine ait pik oldukça keskin gözlenmektedir. Karakteristik olarak linyit kömürlerinde bulunan aromatik birimlerin varlığını gösteren bir diğer sinyal ise 900 ile 700 cm-1 arasında gözlenir. Bu bölgede sinyaller Elbistan linyitinde görülmemektedir. Afşin-Elbistan linyitinin yapısında bulunan mineral maddelere ait sinyaller ise 1030 cm-1, 531 cm-1 ve 465 cm^{-1} de gözlenmiştir.



Şekil 4.8. Afşin-Elbistan Kömürlerine ait FTIR grafiği

4.1.8. Yüzey Alanı Analizi

Kömür tozları ve bu tozlardan elde edilen kül numunelerinin yüzey alanları BET cihazıyla ölçülmüş olup yüzey alanları BET yüzey alanı ve Langmuir yüzey alanı olarak iki şekilde hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Afşin-Elbistan kömürü ve külüne ait yüzey alanları

Numune	BET alanı (m^2/g)	Langmuir alanı (m^2/g)
Kömür tozu	3,09	4,34
Kül	10,54	13,96

4.1.9. Toz Patlama Küresi Analizleri

Afşin-Elbistan numuneleri üzerinde yapılacak patlama deneyleri için öğütülerek kurutulan kömür numuneleri yapılan işlemler sırasında havadaki nemi alarak bünyesinde tuttuğundan dolayı tekrar bir nem ölçümü yapılarak bu miktar

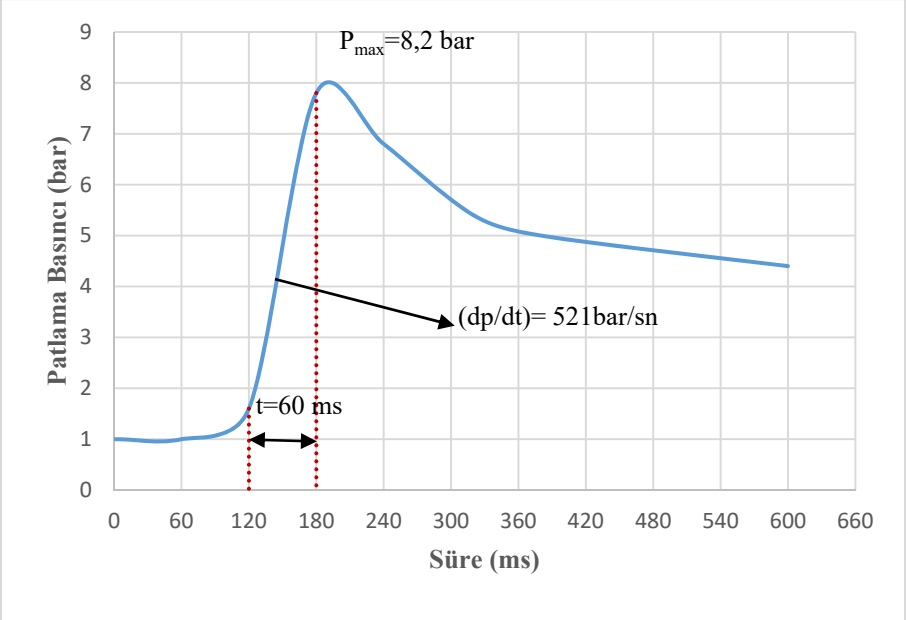
belirlenmiştir. Ayrıca patlama küresi içinde işleme giren numunelerin tane boyut dağılımını bulmak için elek analizi yapılarak ortalama tane iriliği ve dağılımı bulunmuştur. Yapılan toz patlayabilirlik testi sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Afşin-Elbistan numunelerinin toz patlayabilirlik testi sonuçları (DEKRA, 2016)

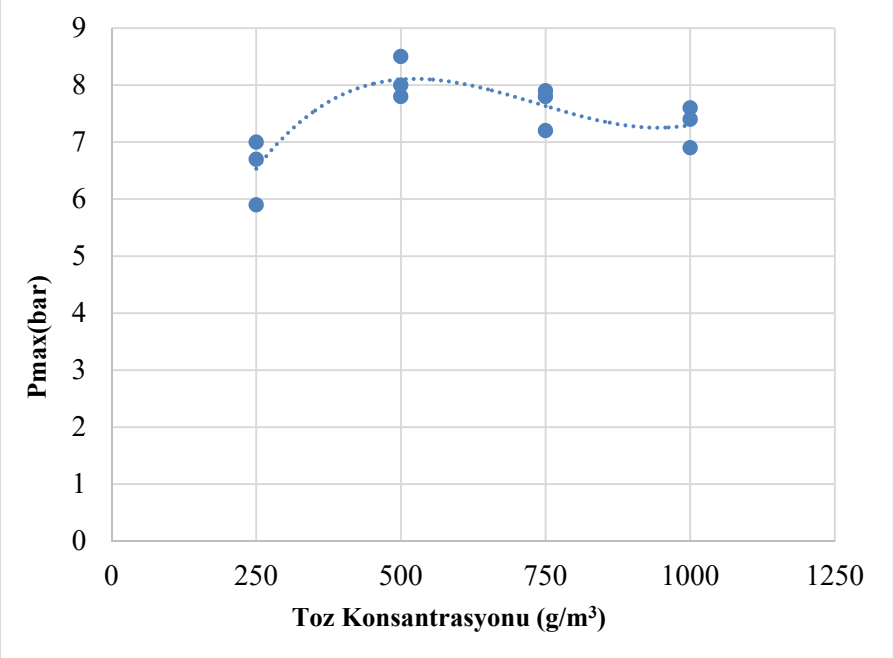
Numunenin Geldiği Yer	Elbistan
Nem (ağırlıkça %)	5,5
Ortalama Tane Boyutu (µm)	<20
K_{St}-değeri (bar. m/s)	141
Toz Patlama Sınıfı	Patlar (S1)
P_{max} (bar)	8,2
LEL (g/m^3)	60
dp/dt_{max} (bar/s)	521

Patlama sırasında oluşan basınçların süre ile değişimleri Şekil 4.9'da verilmiştir.

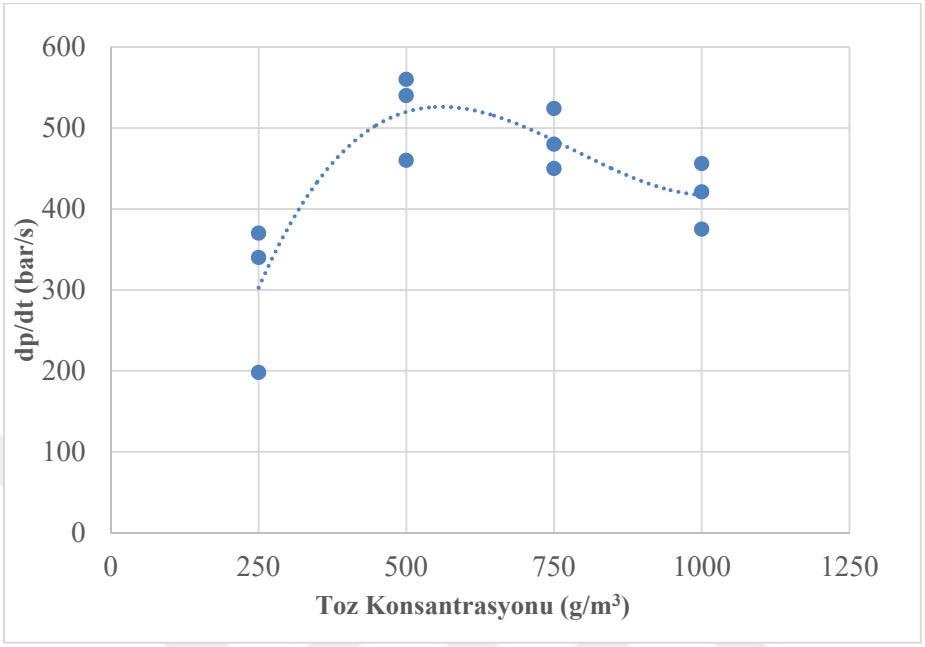
20-L toz patlama küresinde yapılan deneyler sonucunda Afşin-Elbistan numunelerinin toz konsantrasyonu değişimine göre maksimum basınç yükselmeleri (P_{max}), detonasyon hızı (dp/dt) ve toz patlayabilirlik sabiti (K_{St}) değerlerinin konsantrasyona göre değişimleri Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir.



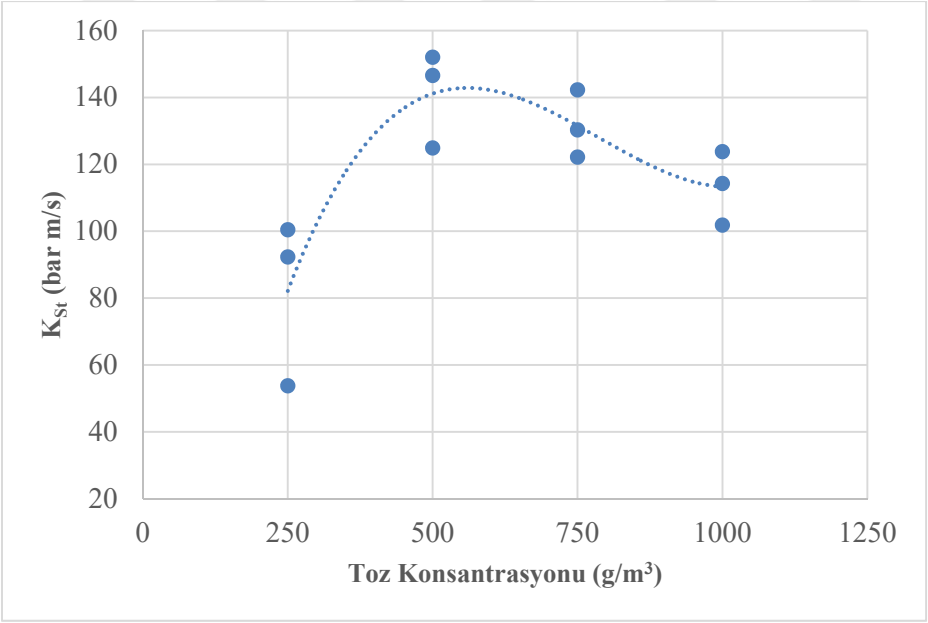
Şekil 4.9. Afşin-Elbistan numunelerinin toz patlama basıncı süre değişim grafiği



Şekil 4.10. Afşin-Elbistan numunelerinin toz konsantrasyonu-P_{max} değişimi grafiği



Şekil 4.11. Afşin-Elbistan numunelerinin toz konsantrasyonu-dp/dt değişimi grafiği



Şekil 4.12. Afşin-Elbistan numunelerinin toz konsantrasyonu-K_{St} değişimi grafiği

4.2. Soma Kömür Numuneleri Deney Sonuçları

4.2.1. Elek Analizi

Soma bölgesinden yeraltı üretim bölgesinden alınan doğal ocak tozu numunelerinin elek analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir. Ayrıca bölgeden alınan parça numune öğütülerek toz patlama testine gönderilmiştir. Bu numunenin elek analizi Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Soma doğal ocak tozu elek analizi sonucu

Boyut (µm)	90	75	63	44	33	25	15	8
Geçen (%)	100	82	80	76	70	66	50	40

Çizelge 4.8. Soma toz patlama küresinde deney yapılan numunenin elek analizi (DEKRA, 2016)

	Elek Boyutu	Soma
Elek aralığı (ağırlıkça %)	< 63 µm	100
	< 53 µm	97
	< 32 µm	65
	< 20 µm	44
Ortalama değer (D_{50})	<24 µm	

4.2.2. Kimyasal Analiz

Soma bölgesinden alınan numunelerin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla ASTM D3174'e göre kül elde edilmiş ve daha sonra bu küllerden XRF analiz yöntemiyle kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Soma bölgesinden alınan numunelerin XRF sonucu Çizelge 4.9'da verilmiştir. Aynı bölgeden alınan doğal toz numunelerden elde edilen küllerin XRF sonucu Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Soma numunelerinin XRF analiz sonuçları

Numune	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	MnO	K_2O
Soma	23,62	31,70	10,16	22,00	11,05	-	0,08	1,39

Çizelge 4.10. Soma doğal toz numunelerinin XRF analiz sonuçları

Numune	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	MnO	K_2O
Soma Doğal Toz	20,65	38,22	7,68	25,10	6,38	-	0,06	1,91

4.2.3. Kısa Analiz, Kükürt Analizi ve Alt Isıl Değer Analizi

Soma bölgesinden alınan numunelerin kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon özellikleri ile kükürt ve kalori değerleri belirlenerek kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analiz sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Aynı bölgeden alınan doğal toz numunelerinin analiz sonucu da Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Soma numunelerinin kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analizi sonuçları

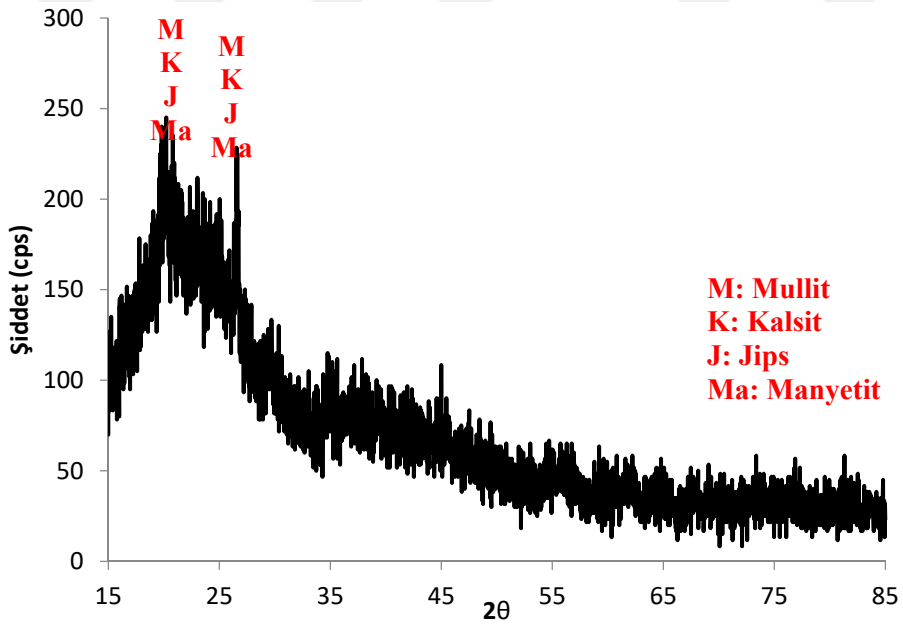
Analiz (adb) (havada kuru)	Soma
Sabit karbon (ağırlıkça %)	47,84
Kül (ağırlıkça %)	8,99
Uçucu madde (ağırlıkça %)	39,57
Nem (ağırlıkça %)	3,60
Kükürt (ağırlıkça %)	0,94
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	5472

Çizelge 4.12. Soma doğal toz numunelerinin kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analizi sonuçları

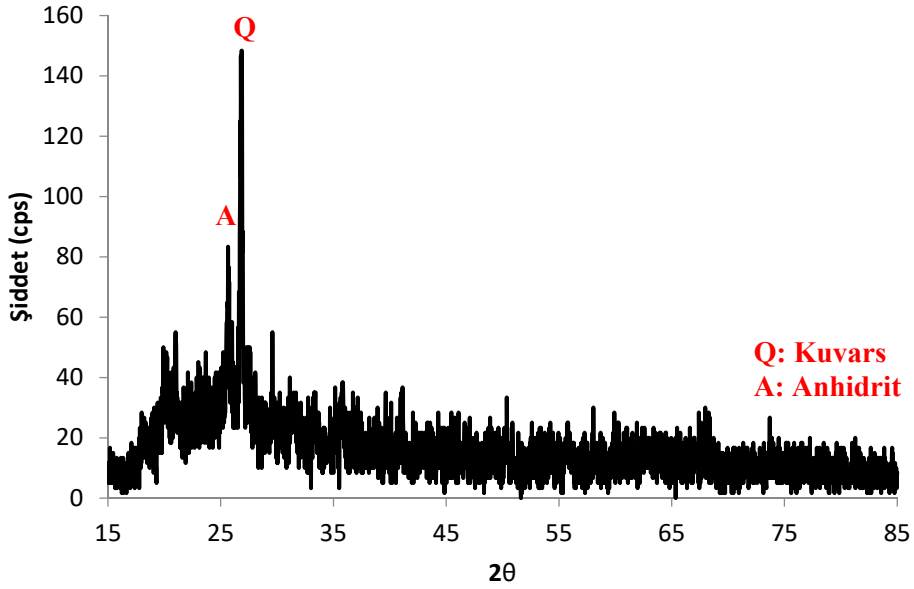
Analiz (adb) (havada kuru)	Soma
Sabit karbon (ağırlıkça %)	38,49
Kül (ağırlıkça %)	11,30
Uçucu madde (ağırlıkça %)	43,09
Nem (ağırlıkça %)	7,12
Kükürt (ağırlıkça %)	0,84
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	5148

4.2.4. XRD Analizleri

Soma kömürü ve bu kömürden elde edilen küllerde yapılan XRD analizlerinde kömür Müllit, Kalsit, Jips ve Manyetit ana mineralleri bulunurken (şekil 4.13) küllerde ana mineral olarak Kuvars ve Anhidrit (Şekil 4.14) tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. Soma kömürüne ait XRD grafiği

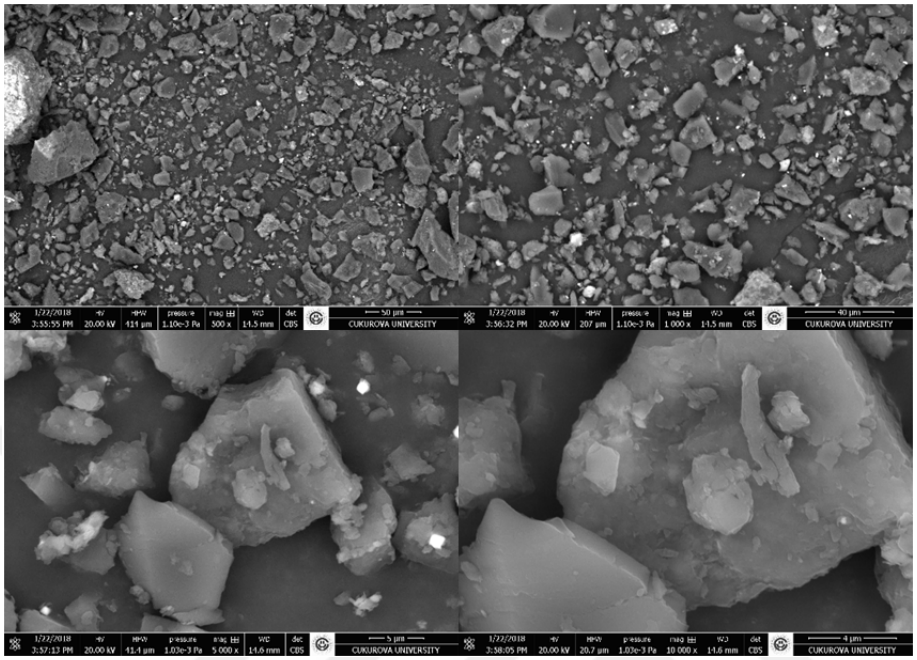


Şekil 4.14. Soma kömüründen elde edilen külün XRD grafiği

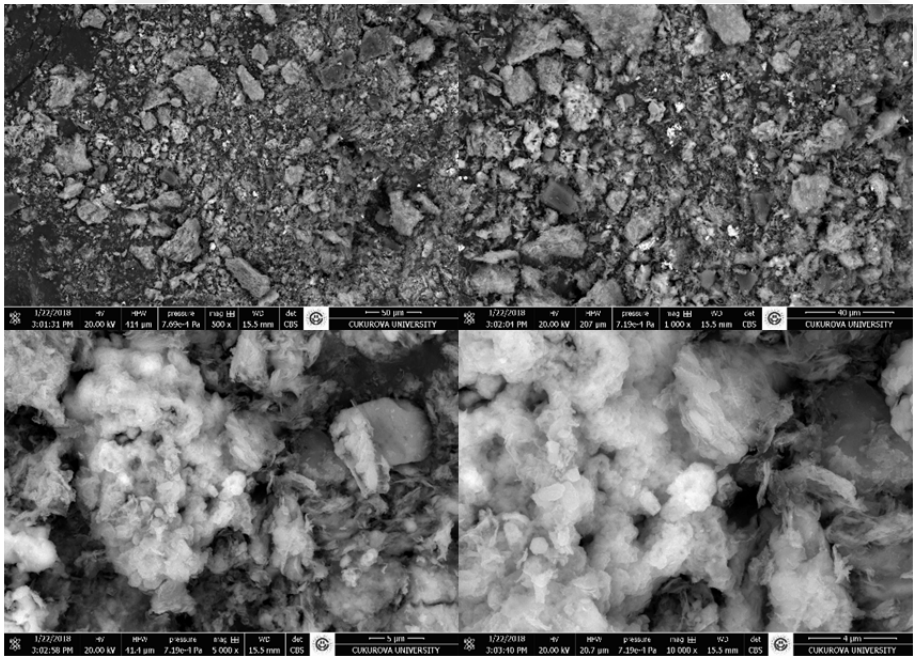
4.2.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi

Çalışma kapsamında kullanılan kömür tozları, kömür tozlarından elde edilen küller ve termik santralde yakılan kömür küllerinin SEM mikroskop görüntüleri çekilmiştir. Kömür toz numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.15'te verilmiştir.

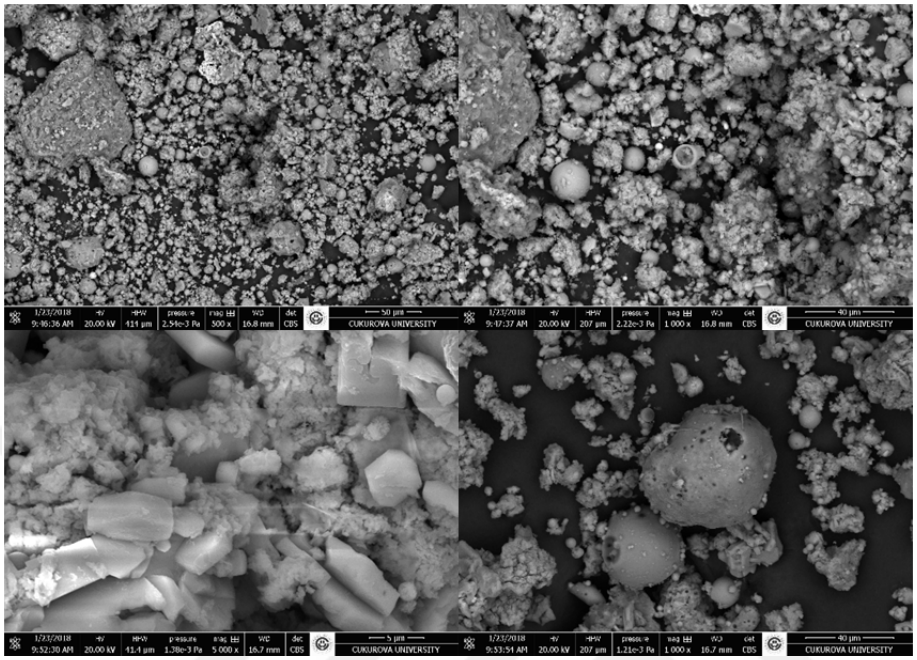
ASTM standardına uygun hazırlanan Soma kömür külüne ait SEM görüntüleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Soma termik santralinde yakılan kömürlere ait uçucu küllerin SEM görüntüleri Şekil 4.17'de verilmiştir. Soma kömürü tozlarının patlatılmasından elde edilen küllerin SEM görüntüleri ise Şekil 4.18'de verilmiştir.



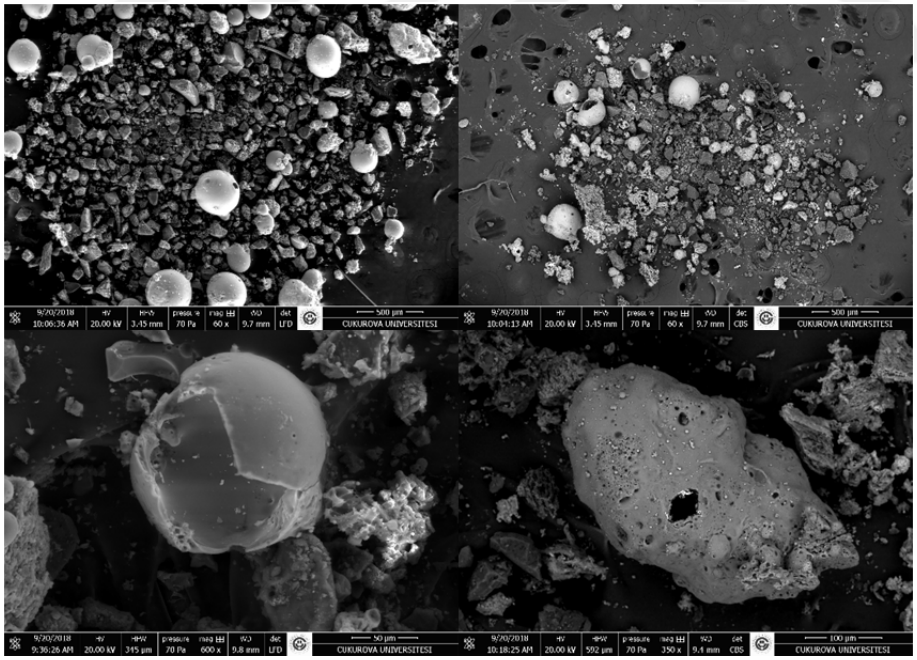
Şekil 4.15. Soma kömür tozuna ait SEM fotoğrafları



Şekil 4.16. Soma kömür külüne ait SEM fotoğrafları



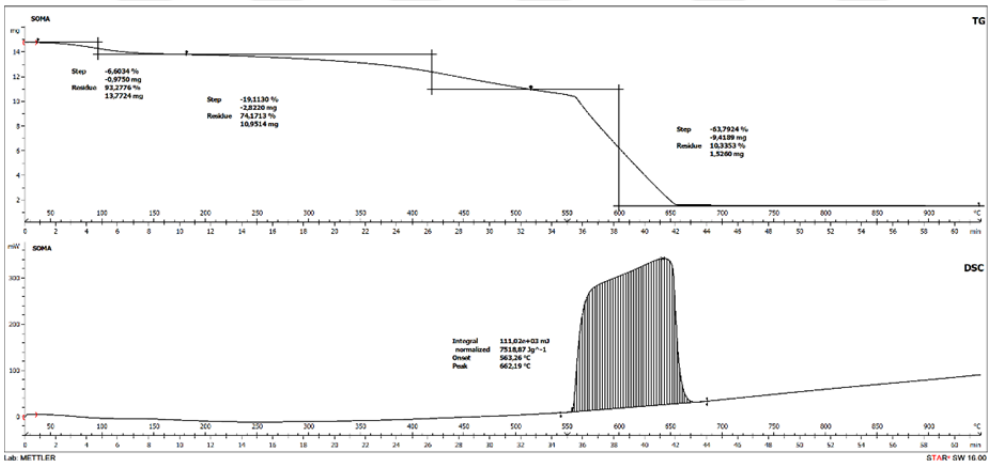
Şekil 4.17. Soma kömürü uçucu külüne ait SEM fotoğrafları



Şekil 4.18. Soma kömür tozlarının patlatılması ile elde edilen küllere ait SEM fotoğrafları

4.2.6. TGA-DSC Analizi

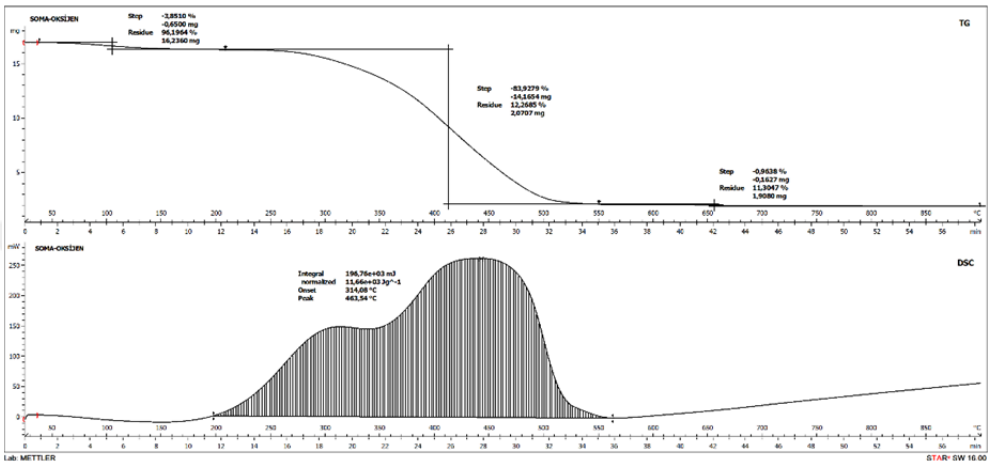
Soma kömür numunelerinin tutuşma sıcaklıkları, yanma süreleri, kütle kayıplarının belirlenmesi ve çıkan enerji miktarlarının bulunması için bölgeden alınan numuneler üzerinde TGA-DSC analizleri yapılmıştır. Kömür numunelerinde bu analizler iki farklı metotta yapılmıştır. Birinci metotta 550 ºC'ye kadar ortama sadece azot verilerek ısıtma yapılmış ve 550 ºC-950 ºC arasında ise oksijen verilerek yakma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.19). Bu işlem sırasında ilk 150 ºC'lik kısımda numune içinde bulunan %7,25 oranında nem uzaklaşmıştır. Bu metotta tutuşma sıcaklığı 220 ºC olarak tespit edilmiştir. 220 ºC-550 ºC arasında gerçekleşen ilk yanmada %21,93 oranında madde uzaklaşmıştır. Ortama oksijen verilmesi ile 550 ºC-650 ºC arasında yanma olayı gerçekleşmiştir. Bu yanma sonucunda %60,23'lük bir madde kaybı tespit edilmiş ve %8,89 oranında kül miktarı kalmıştır.



Şekil 4.19. Soma kömürüne ait I. Metot TGA-DSC grafiği

İkinci metot olarak 0 ºC-950 ºC arasında yakma işlemi gerçekleştirilmiş olup ortama başlangıçtan itibaren oksijen verilmiştir (Şekil 4.20). Bu metotta 150ºC'ye kadarlık kısımda %4,00 oranında nem ortamdan uzaklaşmıştır. Tutuşma

sıcaklığı 240 ºC olarak tespit edilmiştir. 240 ºC-550 ºC arasında yanma olayı gerçekleşmiş olup %83,90 oranında kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu metotta tespit edilen kül miktarı %11,30 olarak ölçülmüştür.

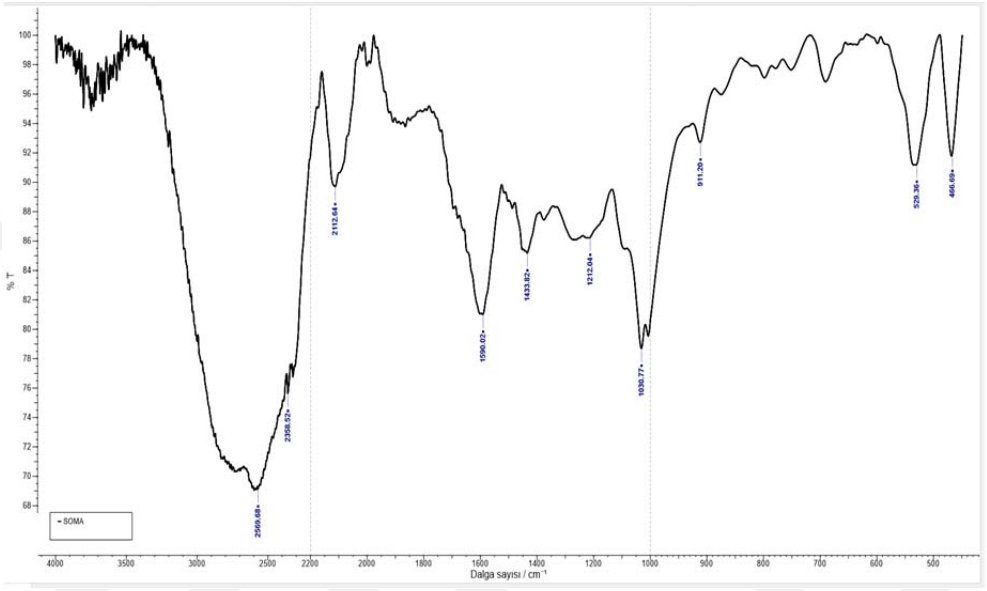


Şekil 4.20. Soma kömürüne ait II. Metot TGA-DSC grafiği

4.2.7. FTIR Analizi

Çalışılan kömür örneklerinin FTIR spektrumları incelendiğinde; aromatik C-H gerilme piki (3100-3000 cm^{-1}) Soma linyitinde gözlenmemiştir. Alifatik C-H gerilme piki (3000-2800 cm^{-1}) Soma linyit örneğinde de gözlenmiştir. Soma linyiti spektrumunda bu bölgede gözlenen şiddetli ve yayvan pik bu kömürlerin çok fazla alifatik yapıda olduğunu göstermektedir. Soma linyitlerinin FTIR spektrumunda 1590 cm^{-1} de gözlenen pik aromatik halkalardaki C=C gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda soma linyitinde FTIR spektrumunda gözlenen 1433 cm^{-1} deki pik alifatik C-H bükülme titreşiminden kaynaklanmaktadır. Soma linyitlerinin FTIR spektrumunda 1590 cm^{-1} 'in biraz üzerinde görülen küçük omuz şeklindeki pik C=O gerilme titreşimine aittir ve linyitin yapısındaki karbonil bileşiklerini gösterir. Öte yandan, Soma linyitinde 1035 cm^{-1} dolaylarında C-O-C birimlerinin gerilme titreşimine ait pik oldukça küçük sinyal olarak görülmektedir. Kömürde bulunan aromatik birimlerin varlığını gösteren bir diğer sinyal ise 900 ile

700 cm^{-1} arasında gözlenir. Bu bölgede Soma kömürlerinde bu bölgede sinyaller gözlenmektedir. Soma linyitinin yapısında bulunan mineral maddelere ait sinyaller ise 1030 cm^{-1}, 531 cm^{-1} ve 465 cm^{-1} de gözlenmiştir.



Şekil 4.21. Soma kömürüne ait FTIR analizi grafiği

4.2.8. Yüzey Alanı Analizi

Kömür tozları ve bu tozlardan elde edilen kül numunelerinin yüzey alanları BET cihazıyla ölçülmüş olup yüzey alanları BET yüzey alanı ve Langmuir yüzey alanı olarak iki şekilde hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Soma kömürü ve külüne ait yüzey alanları

Numune	BET alanı (m^2/g)	Langmuir alanı (m^2/g)
Kömür tozu	1,00	1,38
Kül	4,27	5,62

4.2.9. Toz Patlama Küresi Analizleri

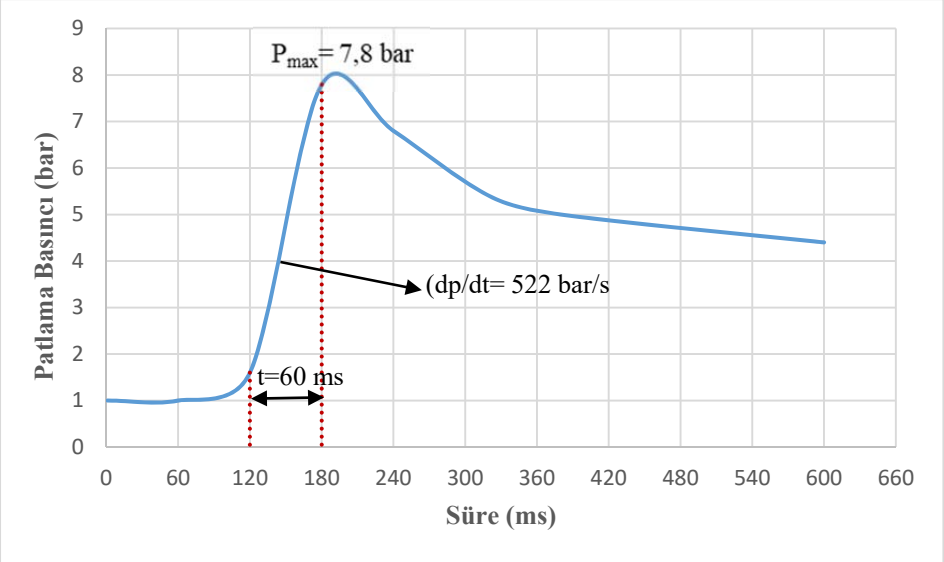
Soma numuneleri üzerinde yapılan toz patlayabilirlik testi sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Soma numunelerinin toz patlayabilirlik testi sonuçları (DEKRA, 2016)

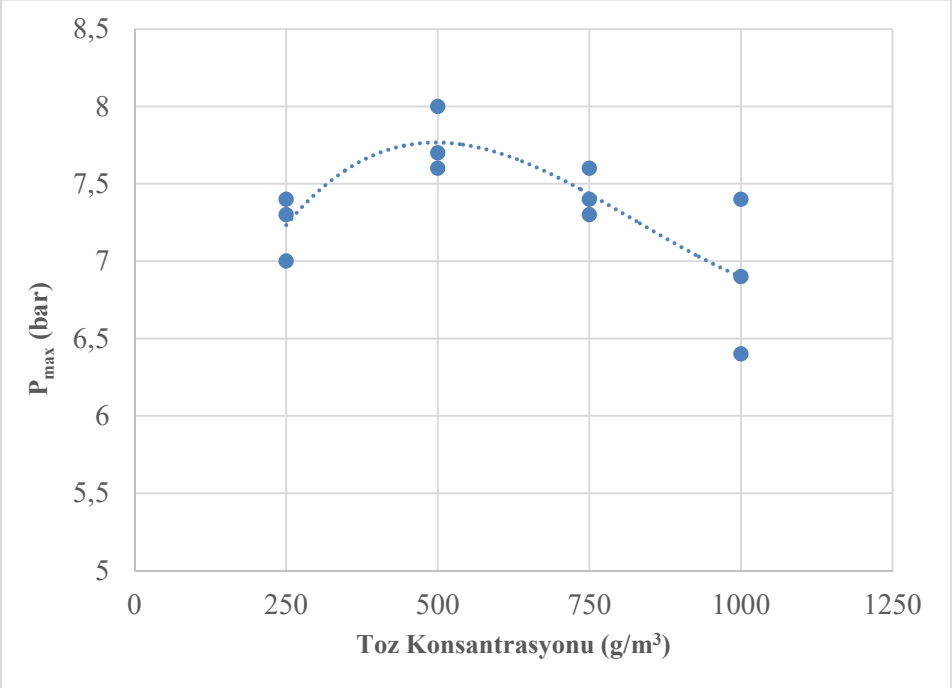
Numunenin Geldiği Yer	Soma
Nem (ağırlıkça %)	3,6
Ortalama Tane Boyutu (µm)	24
K_{St}-değeri (bar.m/s)	142
Toz Patlama Sınıfı	Patlar (S1)
P_{max} (bar)	7,8
LEL (g/m^3)	30
dp/dt_{max} (bar/s)	522

Patlama sırasında oluşan maksimum basınç zaman grafiği şekil 4.22'de verilmiştir.

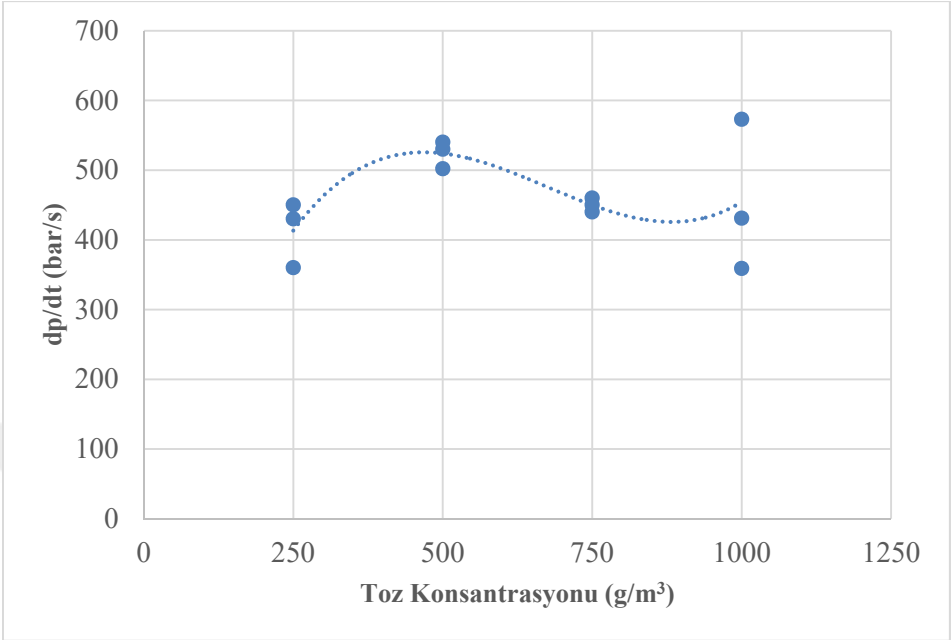
20-L toz patlama küresinde yapılan deneyler sonucunda Soma numunelerinin toz konsantrasyonu değişimine göre P_{max}, dp/dt ve K_{St} değerlerinin değişimleri şekil 4.23, 4.24 ve 4.25'te verilmiştir.



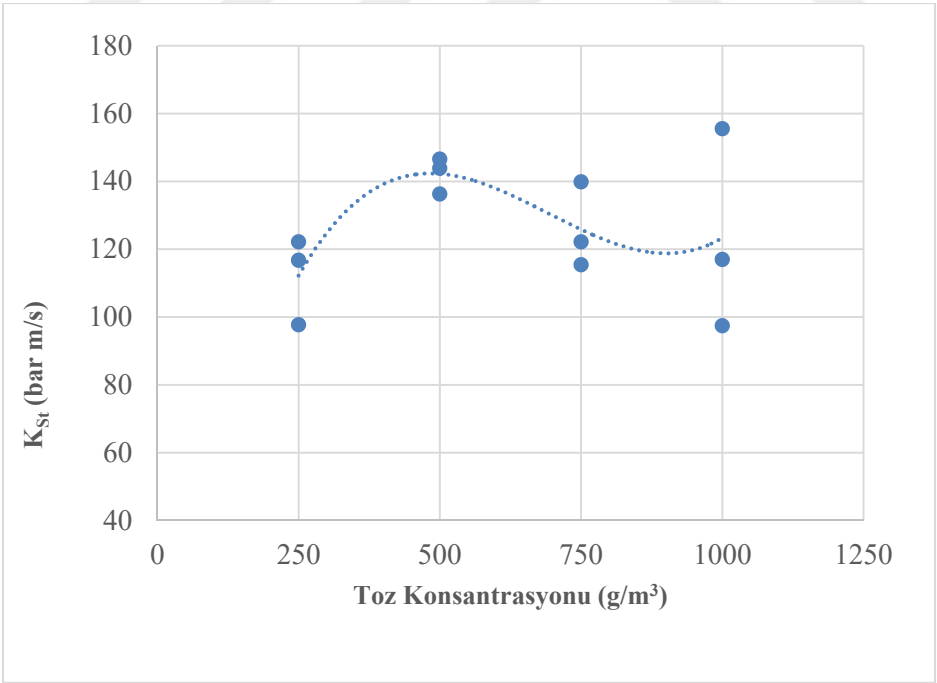
Şekil 4.22. Soma kömür tozlarına ait patlama basıncı zaman grafiği



Şekil 4.23. Soma numunelerinin toz konsantrasyonu-P_{max} değişimi grafiği



Şekil 4.24. Soma numunelerinin toz konsantrasyonu-dp/dt değişimi grafiği



Şekil 4.25. Soma numunelerinin toz konsantrasyonu-K_{St} değişimi grafiği

4.3. Tunçbilek Kömür Numuneleri Deney Sonuçları

4.3.1. Elek Analizi

Tunçbilek bölgesinden yeraltı üretim bölgesinden alınan doğal ocak tozu numunelerinin elek analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.15'te verilmiştir. Ayrıca bölgeden alınan parça numune öğütülerek toz patlama testine gönderilmiştir. Bu numunenin elek analizi Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Tunçbilek doğal ocak tozu elek analizi sonucu

Boyut (µm)	90	75	63	44	33	25	15	8
Geçen (%)	77	74	68	62	56	54	42	30

Çizelge 4.16. Tunçbilek toz patlama küresinde deney yapılan numunenin elek analizi (DEKRA, 2016)

	Elek Boyutu	Tunçbilek
Elek aralığı (ağırlıkça %)	< 63 µm	100
	< 53 µm	96
	< 32 µm	70
	< 20 µm	39
Ortalama değer (D_{50})	<24 µm	

4.3.2. Kimyasal Analiz

Tunçbilek bölgesinden alınan numunelerin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla ASTM D3174'e göre kül elde edilmiş ve daha sonra bu küllerden XRF analiz yöntemiyle kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Tunçbilek bölgesinden alınan numunelerin XRF sonucu Çizelge 4.17'de verilmiştir. Aynı

bölgeden alınan doğal toz numunelerinden elde edilen küllerin XRF sonucu Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Tunçbilek numunelerinin XRF analiz sonuçları

Numune	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	MnO	K_2O
Tunçbilek	20,36	40,88	19,62	8,42	7,15	2,30	0,60	0,67

Çizelge 4.18. Tunçbilek doğal toz numunelerinin XRF analiz sonuçları

Numune	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	MnO	K_2O
Tunçbilek	26,32	53,86	11,42	2,52	3,94	0,41	0,28	1,25

4.3.3. Kısa Analiz, Kükürt Analizi ve Alt Isıl Değer Analizi

Tunçbilek bölgesinden alınan numunelerin kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon özellikleri ile kükürt ve kalori değerleri belirlenerek kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analiz sonuçları Çizelge 4.19'da verilmiştir. Aynı bölgeden alınan doğal toz numunelerinin analiz sonucu da Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.19. Tunçbilek numunelerinin kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analizi sonuçları

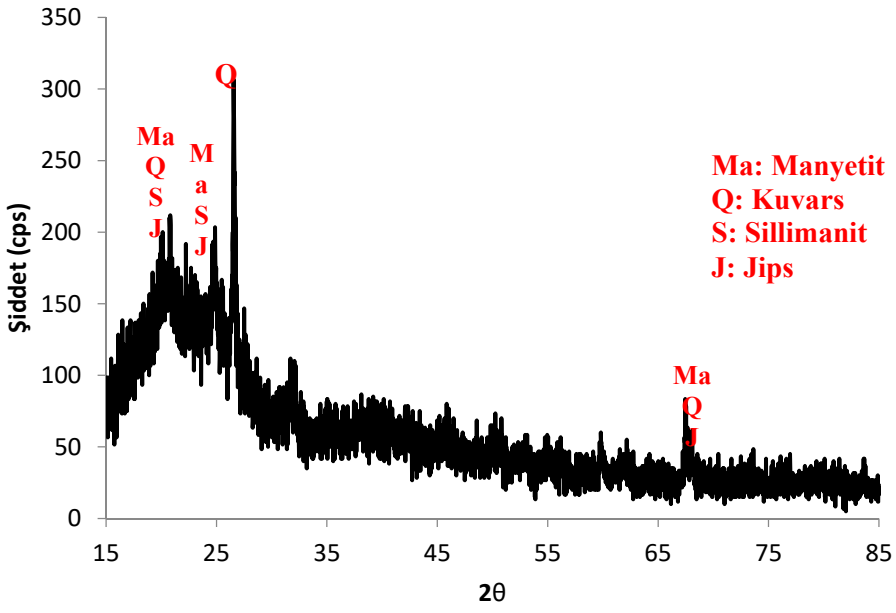
Analiz (adb) (havada kuru)	Tunçbilek
Sabit karbon (ağırlıkça %)	47,22
Kül (ağırlıkça %)	10,06
Uçucu madde (ağırlıkça %)	39,22
Nem (ağırlıkça %)	3,50
Kükürt (ağırlıkça %)	0,98
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	5650

Çizelge 4.20. Tunçbilek doğal toz numunelerinin kısa analiz, kükürt analizi ve alt ısıl değer analizi sonuçları

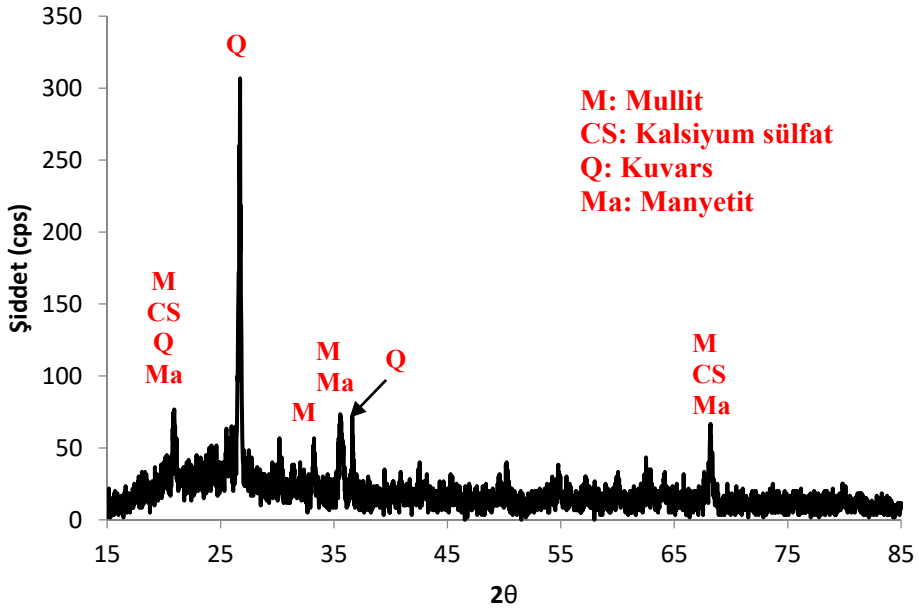
Analiz (adb) (havada kuru)	Tunçbilek
Sabit karbon (ağırlıkça %)	41,95
Kül (ağırlıkça %)	14,17
Uçucu madde (ağırlıkça %)	36,31
Nem (ağırlıkça %)	7,57
Kükürt (ağırlıkça %)	1,15
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	5378

4.3.4. XRD Analizi

Tunçbilek kömürü ve bu kömürden elde edilen küllerde yapılan XRD analizlerinde kömürde Sillimanitt, Kalsit, Jips ve Manyetit ana mineralleri bulunurken (şekil 4.26) küllerde ana mineral olarak Müllit, Kalsiyumsülfat, Kuvars ve Manyetit (Şekil 4.27) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.26. Tunçbilek kömürüne ait XRD grafiği

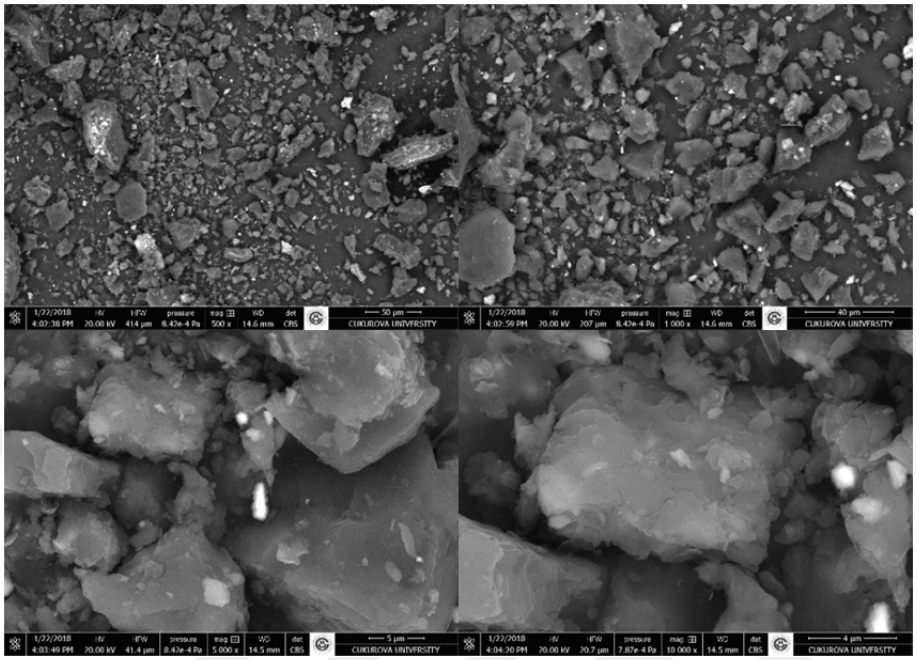


Şekil 4.27. Tunçbilek kömüründen elde edilen külün XRD grafiği

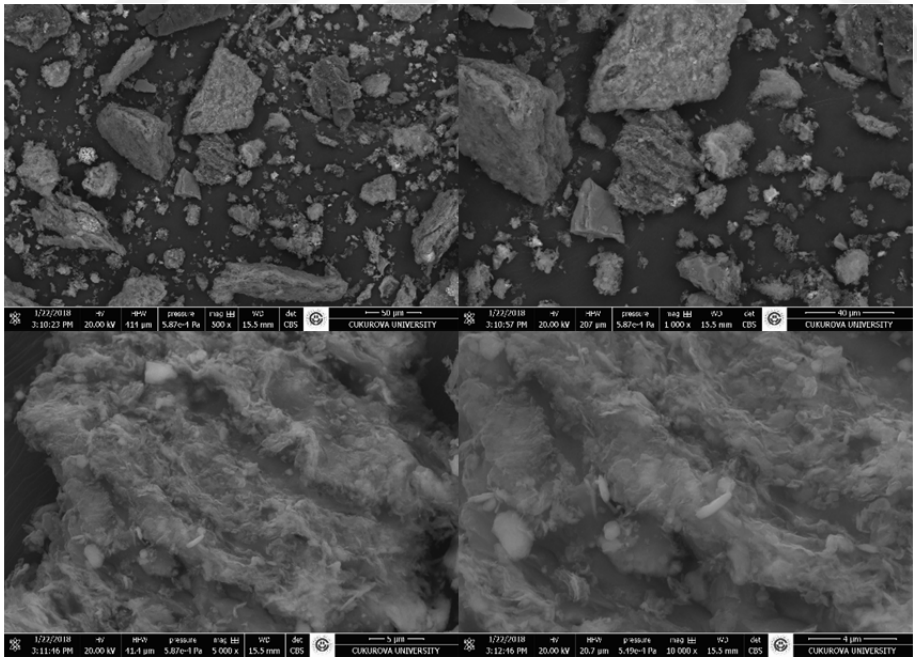
4.3.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi

Çalışma kapsamında kullanılan kömür tozları, kömür tozlarından elde edilen küller ve termik santralde yakılan kömür küllerinin SEM mikroskop görüntüleri çekilmiştir. Kömür toz numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.28'de verilmiştir.

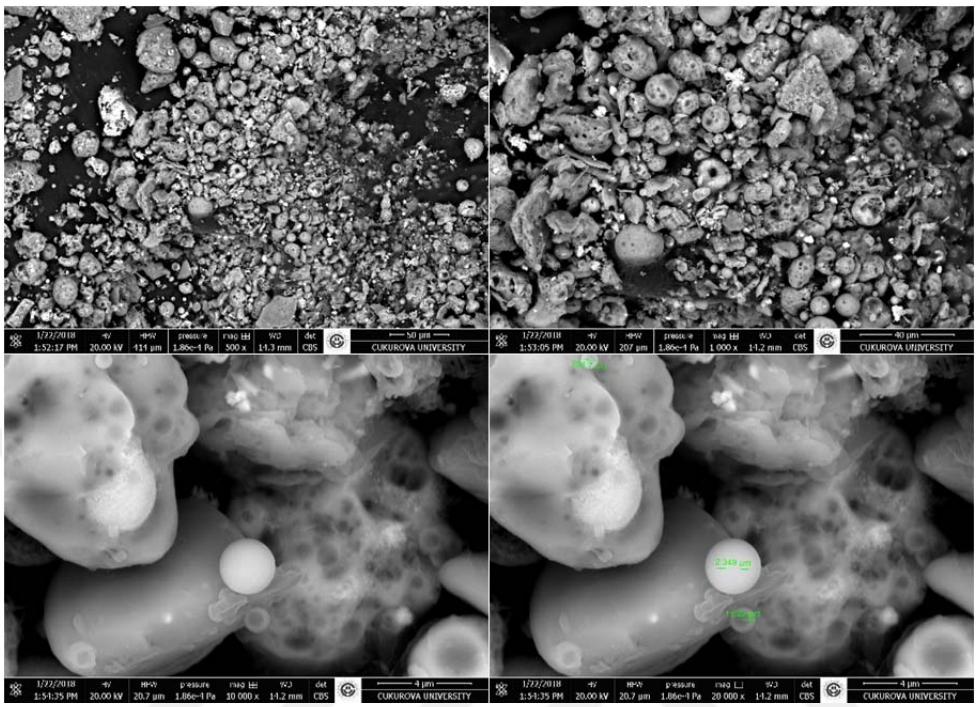
ASTM standardına uygun hazırlanan Tunçbilek kömür külüne ait SEM görüntüleri Şekil 4.29'da verilmiştir. Tunçbilek termik santralinde yakılan kömürlere ait uçucu küllerin SEM görüntüleri Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.28. Tunçbilek kömür tozuna ait SEM fotoğrafları



Şekil 4.29. Tunçbilek kömür külüne ait SEM fotoğrafları

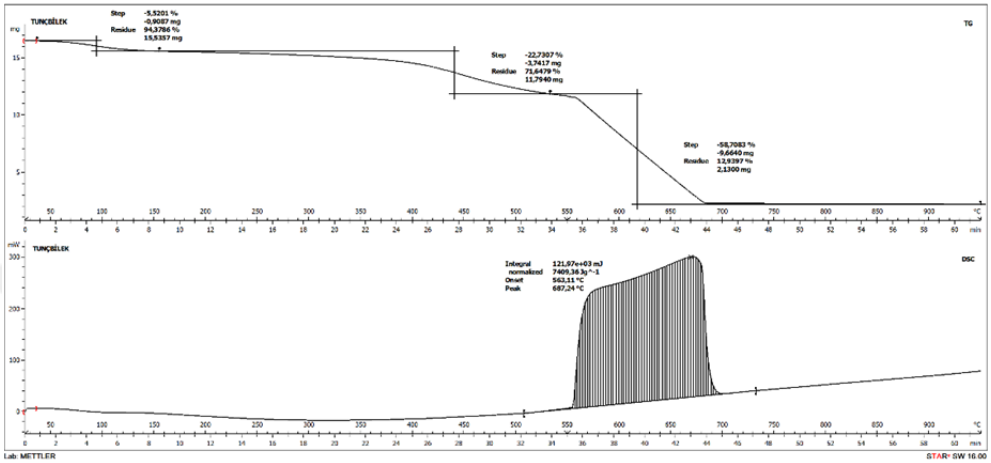


Şekil 4.30. Tunçbilek kömürü uçucu külüne ait SEM fotoğrafları

4.3.6. TGA-DSC Analizi

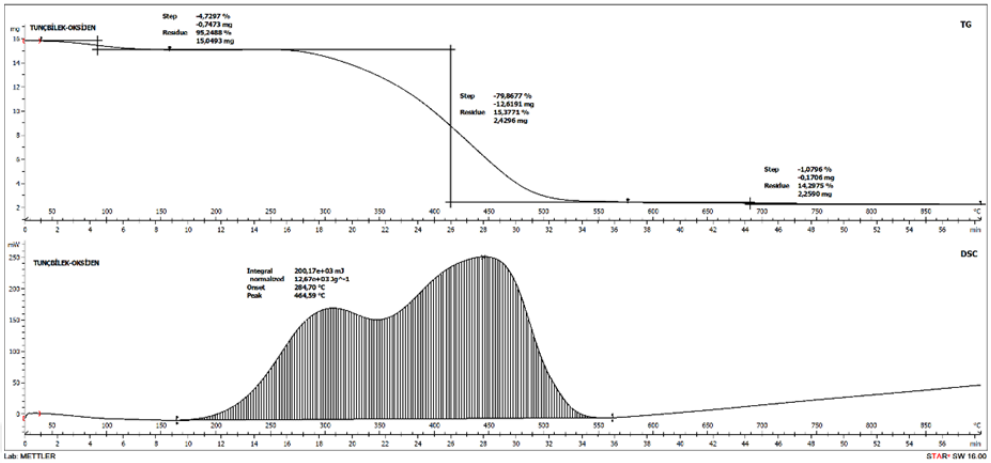
Tunçbilek kömür numunelerinin tutuşma sıcaklıkları, yanma süreleri, kütle kayıplarının belirlenmesi ve çıkan enerji miktarlarının bulunması için bölgeden alınan numuneler üzerinde TGA-DSC analizleri yapılmıştır. Kömür numunelerinde bu analizler iki farklı metotta yapılmıştır. Birinci metotta 550 ºC'ye kadar ortama sadece azot verilerek ısıtma yapılmış ve 550 ºC-950 ºC arasında ise oksijen verilerek yakma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.31). Bu işlem sırasında ilk 150 ºC'lik kısımda numune içinde bulunan %6,06 oranında nem uzaklaşmıştır. Bu metotta tutuşma sıcaklığı 200 ºC olarak tespit edilmiştir. 200 ºC-400 ºC arasında gerçekleşen ilk yanmada %5,38 oranında madde uzaklaşmıştır. 400 ºC-550 ºC ikinci bir yanma gerçekleşmiş ve %18,47 oranında madde kaybı gerçekleşmiştir. Ortama oksijen verilmesi ile 550 ºC-685 ºC arasında yanma olayı gerçekleşmiştir.

Bu yanma sonucunda %57,04'lük bir madde kaybı tespit edilmiş ve %12,95 oranında kül miktarı kalmıştır.



Şekil 4.31. Tunçbilek kömürüne ait I. Metot TGA-DSC analizleri

İkinci metot olarak 0 ºC-950 ºC arasında yakma işlemi gerçekleştirilmiş olup ortama başlangıçtan itibaren oksijen verilmiştir (Şekil 4.32). Bu metotta 150ºC'ye kadarlık kısımda %4,78 oranında nem ortamdan uzaklaşmıştır. Tutuşma sıcaklığı 220 ºC olarak tespit edilmiştir. 220 ºC-550 ºC arasında yanma olayı gerçekleşmiş olup %80,28 oranında kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu metotta tespit edilen kül miktarı %14,30 olarak ölçülmüştür.

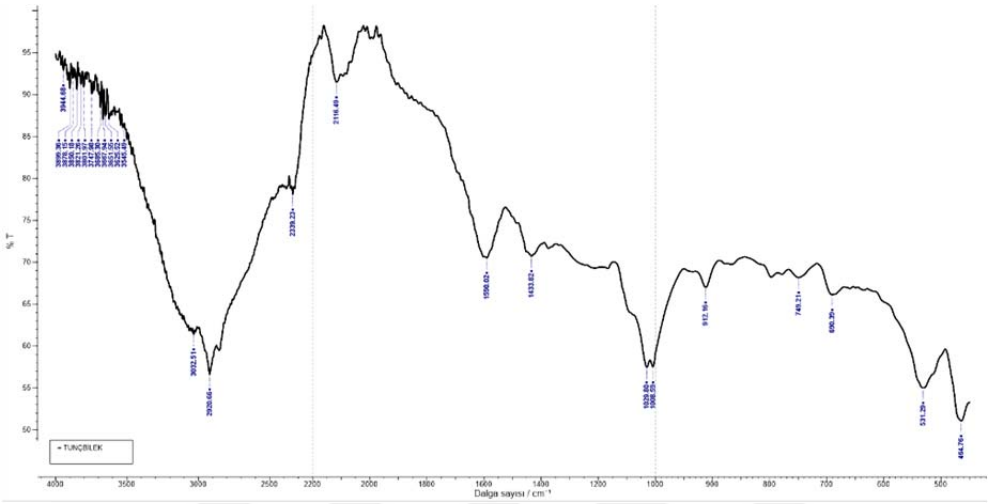


Şekil 4.32. Tunçbilek kömürüne ait II. Metot TGA-DSC analizleri

4.3.7. FTIR Analizi

Kömür numunelerinin yapısını incelemek üzere FTIR analizleri yapılmıştır (Şekil 4.33). Çalışılan kömür örneklerinin FTIR spektrumları incelendiğinde; Tunçbilek linyitinde aromatik C-H gerilme piki (3100-3000 cm^{-1}) gözlenmiştir. Bunun yanında alifatik C-H gerilme piki (3000-2800 cm^{-1}) Tunçbilek linyit örneğinde gözlenmiştir. Tunçbilek linyitinde FTIR spektrumunda bu bölgede gözlenen şiddetli ve yayvan pik bu kömürlerin çok fazla alifatik yapıda olduğunu göstermektedir. Tunçbilek linyitlerinin FTIR spektrumunda 1590 cm^{-1} de gözlenen pik aromatik halkalardaki C=C gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır. Tunçbilek linyitinde FTIR spektrumunda gözlenen 1433 cm^{-1} deki pik alifatik C-H bükülme titreşiminden kaynaklanmaktadır. Tunçbilek linyitlerinin FTIR spektrumunda 1590 cm-1 ‘in biraz üzerinde görülen küçük omuz şeklindeki pik C=O gerilme titreşimine aittir ve linyitin yapısındaki karbonil bileşiklerini gösterir. Öte yandan, 1035 cm^{-1} dolaylarında C-O-C birimlerinin gerilme titreşimine ait pik oldukça küçük sinyal olarak görülmektedir. Kömürde bulunan aromatik birimlerin varlığını gösteren bir diğer sinyal ise 900 ile 700 cm^{-1} arasında gözlenir. Bu bölgede Tunçbilek ve Soma kömürlerine bu bölgede sinyaller gözlenirken Elbistan

linyitinde görülmemektedir. Her üç linyitin yapısında bulunan mineral maddelere ait sinyaller ise 1030 cm^{-1}, 531 cm^{-1} ve 465 cm^{-1} de gözlenmiştir.



Şekil 4.33. Tunçbilek kömürüne ait FTIR analizi grafiği

4.3.8. Yüzey Alanı Analizi

Kömür tozları ve bu tozlardan elde edilen kül numunelerinin yüzey alanları BET cihazıyla ölçülmüş olup yüzey alanları BET yüzey alanı ve Langmuir yüzey alanı olarak iki şekilde hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Tunçbilek kömürü ve külüne ait yüzey alanları

Numune	BET alanı (m^2/g)	Langmuir alanı (m^2/g)
Kömür tozu	15,16	20,95
Kül	70,30	91,68

4.3.9. Toz Patlama Küresi Deneyleri

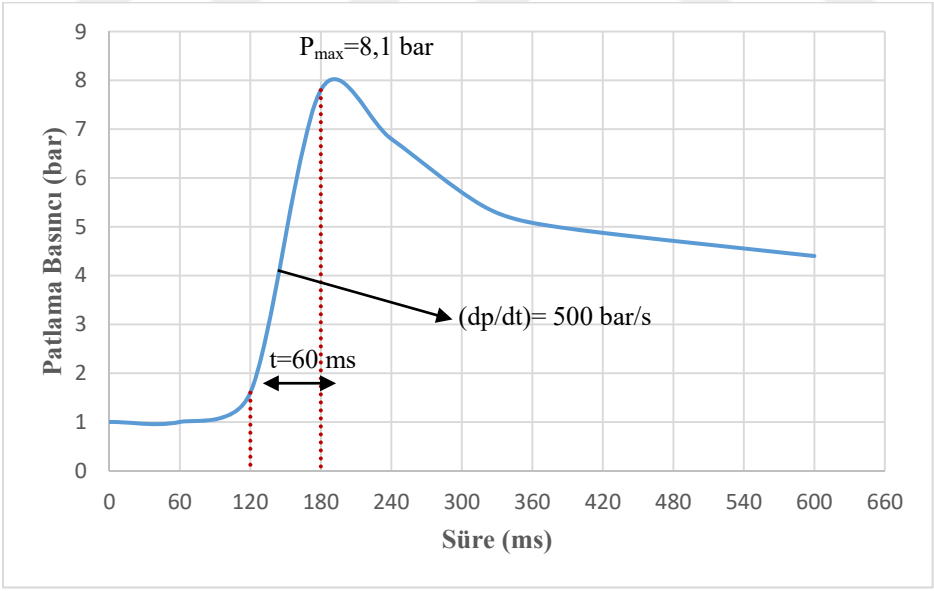
Tunçbilek numuneleri üzerinde yapılan toz patlayabilirlik testi sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Tunçbilek numunelerinin toz patlayabilirlik testi sonuçları (DEKRA, 2016)

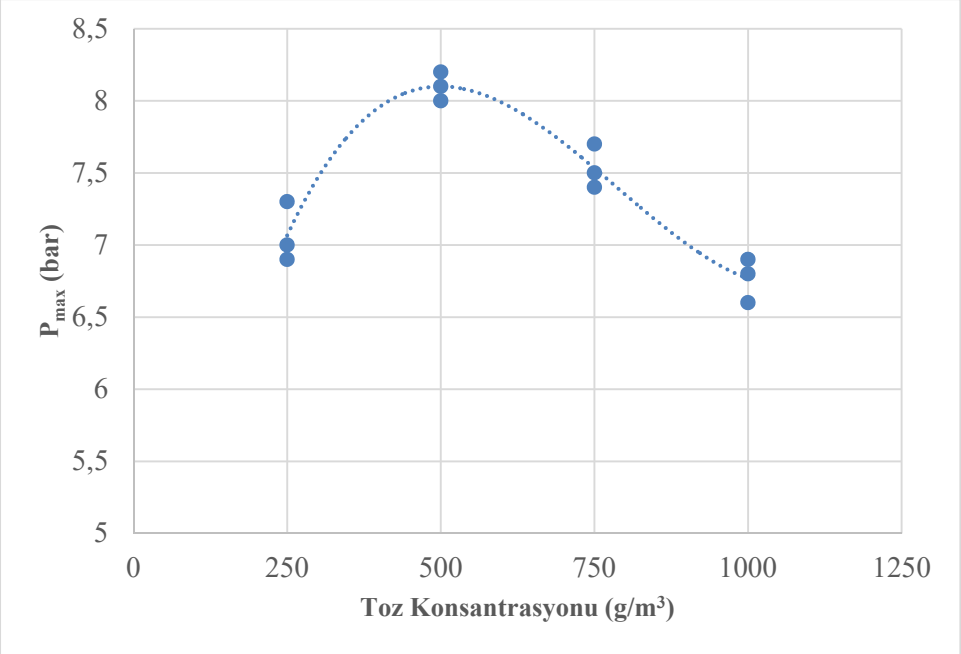
Numunenin Geldiği Yer	Tunçbilek
Nem (ağırlıkça %)	3,5
Ortalama Tane Boyutu (µm)	24
K_{St}-değeri (bar. m/s)	136
Toz Patlama Sınıfı	Patlar (S1)
P_{max} (bar)	8,1
LEL (g/m^3)	60
dp/dt_{max} (bar/s)	500

Patlama sırasında oluşan maksimum basınç zaman grafiği şekil 4.34'te verilmiştir.

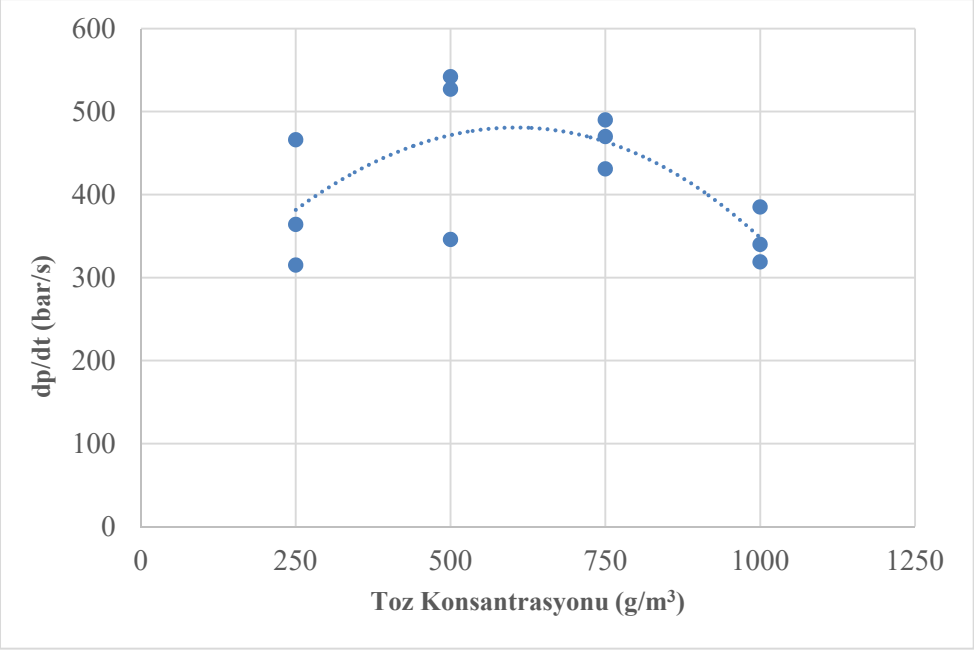
20-L toz patlama küresinde yapılan deneyler sonucunda Tunçbilek numunelerinin toz konsantrasyonu değişimine göre Pmax, dp/dt ve KSt değerlerinin değişimleri şekil 4.35, 4.36 ve 4.37'de verilmiştir.



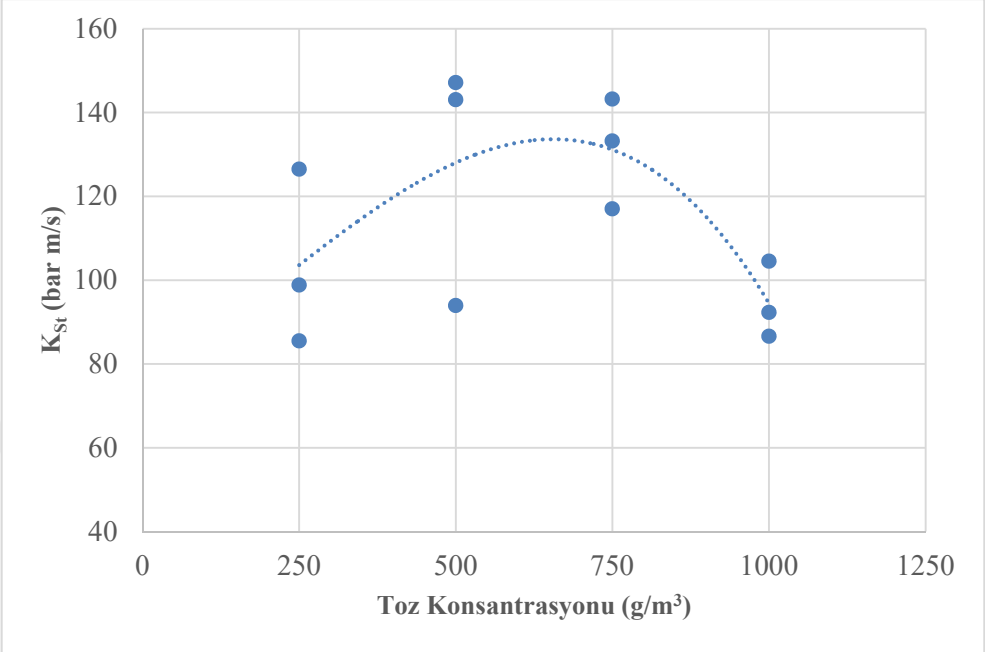
Şekil 4.34. Tunçbilek kömür tozları patlama basıncı zaman grafiği



Şekil 4.35. Tunçbilek numunelerinin toz konsantrasyonu-P_{max} değişimi grafiği



Şekil 4.36. Tunçbilek numunelerinin toz konsantrasyonu-dp/dt değişimi grafiği



Şekil 4.37. Tunçbilek numunelerinin toz konsantrasyonu-K_{St} değişimi grafiği

4.4. Kamera Görüntüsü Tabanlı Kömür Tozu Patlayabilirlik Ölçme Sistemi Analizleri

Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi ile deneyleri gerçekleştirmek maksadıyla hazırlanan taş tozu (Şekil 4.38) ve kömür tozu (Şekil 4.39) numunelerinin gerçek renginin ortaya çıkması için granül yapılı moleküler elek içine karıştırılarak beş dakika süre ile çalkalanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan laboratuvar deneyleri ile moleküler elek ile maksimum beş dakikalık bir çalkalama ile numunelerdeki nem oranının sıfıra yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sisteminde analizi yapılacak bütün numuneler beş dakikalık bir çalkalama işlemine tabi tutulmuştur. Dakikada yaklaşık 200 salınımlı bir çalkalama ile kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutulan numuneler 355 mikronluk elekten geçirilerek moleküler elekten ayrılması sağlanmıştır (Şekil 4.40).



Şekil 4.38. Kireç taşı tozu moleküler elek karışımı



Şekil 4.39. Kömür tozu moleküler elek karışımı



Şekil 4.40. 355 mikrometre elekten numunenin elenmesi

Kurutulan numuneler ölçüm yapılması için sistem ile beraber geliştirilen numune kaplarına yerleştirilerek elle preslenmiştir (Şekil 4.41). Kamera görüntüsünün pürüzsüz olması amacıyla preslenen numunenin yüzeyi düzgün hale getirilmiştir (Şekil 4.42).



Şekil 4.41. Toz numunesinin numune kabına yerleştirilmesi ve preslenmesi



Şekil 4.42. Numune kabına yerleştirilmiş toz numunesi

Numune kabına yerleştirilen toz numuneleri renk ölçümleri yapılabilmesi için cihazdaki numune gözüne yerleştirilerek cihaz çalıştırılır (Şekil 4.43).



Şekil 4.43. Kömür tozu numunesi ile doldurulmuş numune kabının ölçme cihazına yerleştirilmesi

Daha önce çalışma prensibi anlatılan cihazın çalıştırılması ve ölçüm alınması işlemi sırasıyla; cihazın açılarak sistemin hazır hale getirilmesi (Şekil 4.44) işlemi için sistem çalıştırılmaktadır.



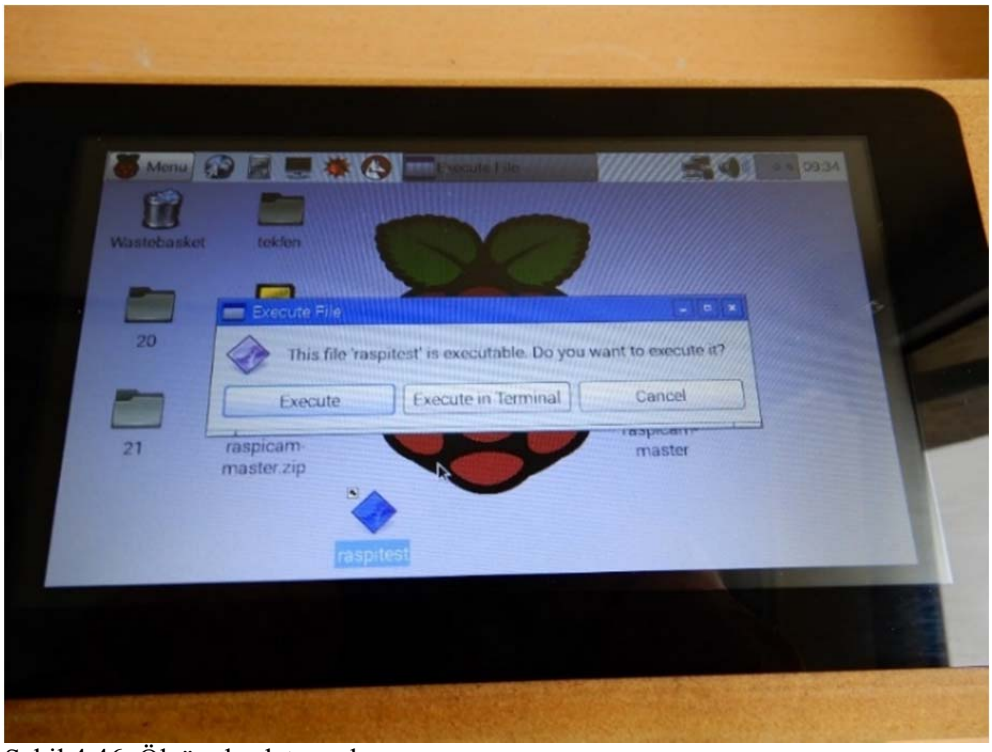
Şekil 4.44. Ölçme cihazının açılması

Açılan cihazda bulunan ve çalışma kapsamında geliştirilen test programı olan Raspitest programı çalıştırılır (Şekil 4.45)



Şekil 4.45. Raspitest programının çalıştırılması

Çalıştırılan programda verilerin kaydedileceği bir klasör oluşturulabilmesi için ölçümlerin ne şekilde alınacağı ile ilgili bir sorgu ekranı açılmaktadır (Şekil 4.46). Açılan bu sorgu ekranından Execute in Terminal seçeneği ile alınacak ölçümlerin belirleyeceğimiz bir klasöre aktarılması sağlanmaktadır.



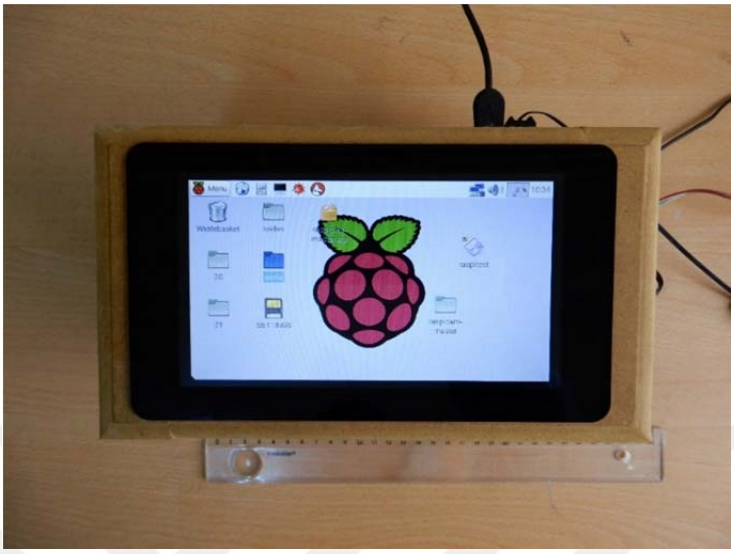
Şekil 4.46. Ölçüm başlatma ekranı

Execute in Terminal işlemini yaptıktan sonra açılan ekranda oluşturulmak istenen çalışma grubu, numune adı, kalori ve kül değerlerinin girilmesi istenmiştir. Gerekli bilgilerin girilmesi ile cihaz kendi içinde görüntü alma ve renk değerlerinin sayısallaştırıldığı işlemleri kendi içinde yaklaşık 1 dakikalık bir zaman diliminde gerçekleştirerek ekrana getirmektedir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. Çalışma grubu ve numune adının ekrana giriş ekranı görüntüsü

Her bir numune için aynı numunenin pozisyonu ve şartlar değiştirilmeden beşer kez tekrarlanmıştır. Bu tekrarlar ile cihaz içinde ışıklandırmadan kaynaklanabilecek küçük sapmaların ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Yapılan ölçümlerde beş tekrarlı ölçümlerde en sağlıklı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Yapılan ölçümler bittikten sonra ekranda çıkan devam etmek için r çıkış için e uyarısının ardından e ile işlem sonlandırılmaktadır. İşlemin sonlandırılması ile tekrar ana ekrana dönüldüğünde ekranda çalışma grubu olarak oluşturulan bir klasörün olduğu görülmektedir (Şekil 4.48).



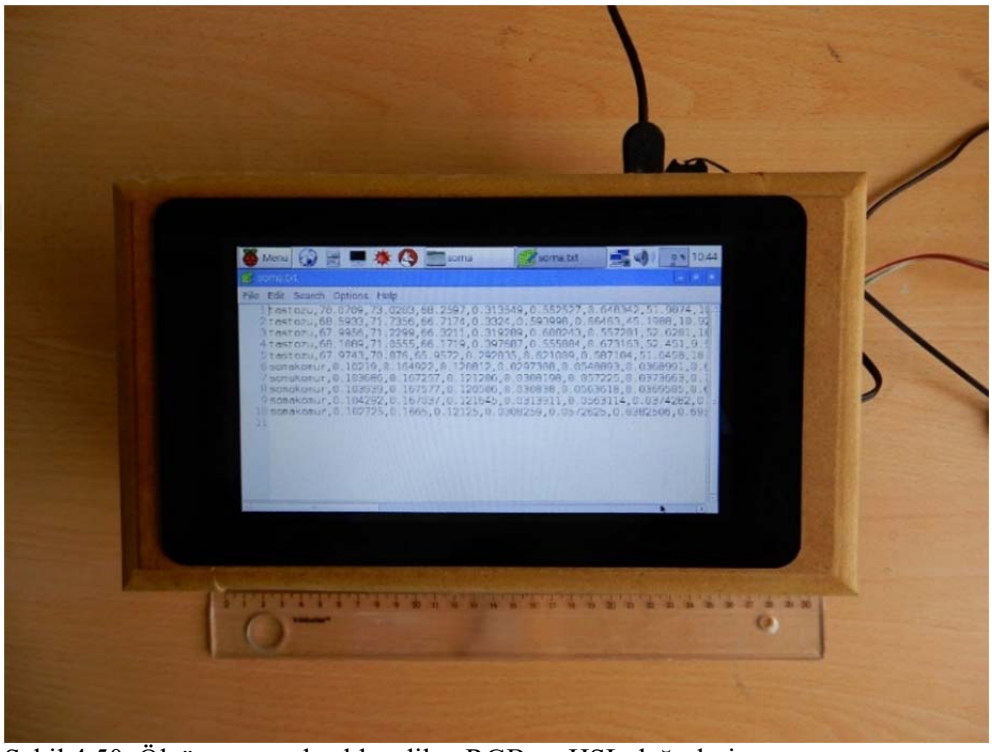
Şekil 4.48. Oluşturulan çalışma grubuna ait klasör görüntüsü

Ölçüm sonrasında oluşturulan çalışma klasörünün içine girildiğinde ölçüm sırasında kameradan alınan görüntüler ve renk ölçümü sayısal değerleri bulunmaktadır (Şekil 4.49).



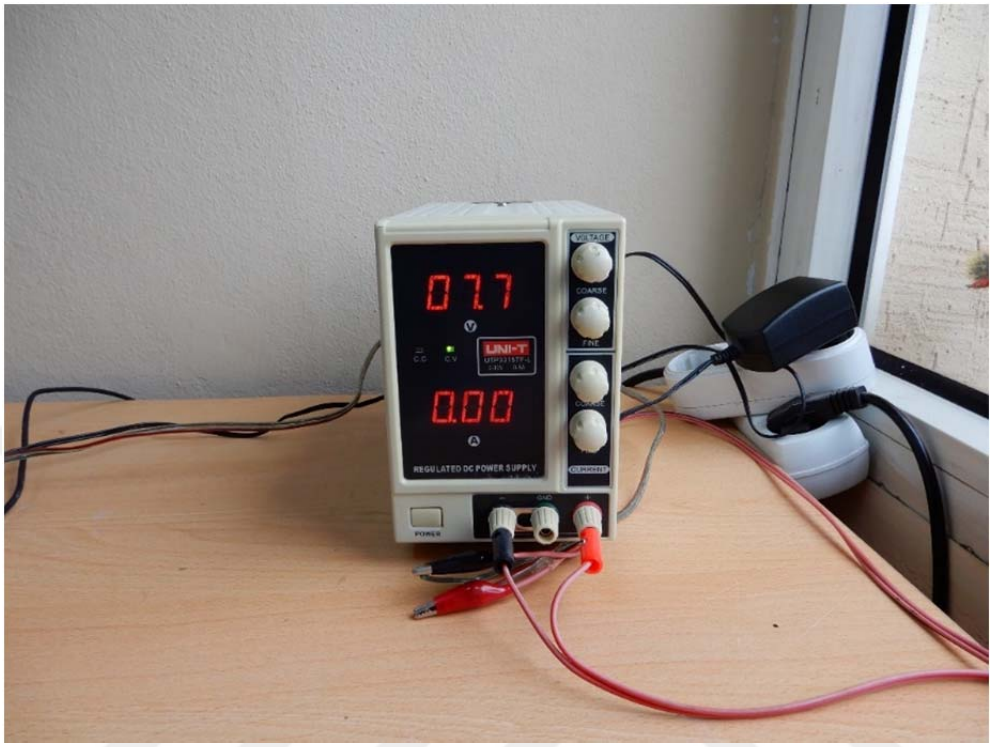
Şekil 4.49. Çalışma grubu klasöründeki görüntü ve veri dosyaları görüntüsü

Metin dosyası olarak oluşturulan veri dosyasının içinde kaydedilmiş olan RGB renk değerleri ve doygunluk HSL değerleri ile bu değerlere ait ortalamalar ve varyans değerleri bulunmaktadır (Şekil 4.50).



Şekil 4.50. Ölçüm sonunda elde edilen RGB ve HSL değerleri

Cihaz içinde bulunan aydınlatma sisteminin ışık şiddetini ayarlamak için voltaj güç regülatörü kullanılmıştır (Şekil 4.51). Renk ölçümü alınacak kömür numunelerinin cinsine göre ışığı yansıtmaları farklı olacağından her bir numune için ideal ışık şiddetinin bulunması gerekmektedir. Bu amaçla her bir numune için değişik voltaj değerleri denenmiş ve kömür cinsine uygun en düşük standart sapmayı veren değerler ile ölçümler alınmıştır.



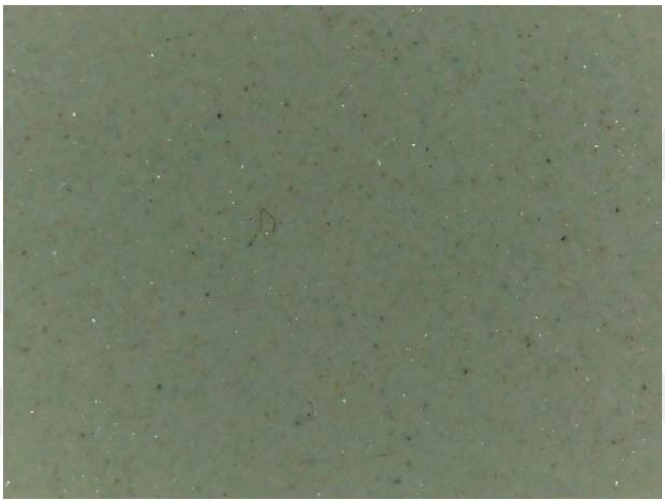
Şekil 4.51. Voltaj güç regülatörü

Kamera görüntüsü tabanlı ölçme sistemi ile yapılan ilk denemelerde RGB ve HSL değerlerinin belirlenmesi amacıyla taş tozu ve kömür tozlarından belirli oranlarda karışımlar yapılmıştır (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Taş tozu kömür tozu karışım oranları

No	Ağ. % taş tozu	No	Ağ. % taş tozu	No	Ağ. % taş tozu	No	Ağ. % taş tozu
1	100	8	82,5	15	65	22	47,5
2	97,5	9	80	16	62,5	23	45
3	95	10	77,5	17	60	24	42,5
4	92,5	11	75	18	57,5	25	40
5	90	12	72,5	19	55	26	37,5
6	87,5	13	70	20	52,5	27	35
7	85	14	67,5	21	50	28	32,5

Sistem içinde kullanılan aydınlatma şiddeti için ilk önce 9 voltluk bir gerilim seçilmiştir. %100 taş tozunun ışığı yansıtma dereceleri incelendiğinde 9 volttan (Şekil 4.52) 7,9 voltluk gerilim aralığına kadar benzer değerler verdiği tespit edilmiştir. 7,8 voltluk gerilimde (Şekil 4.53) ise renk ayrımının daha belirgin olduğu ortaya konmuştur.



Şekil 4.52. %100 taş tozunun 9 volt gerilimdeki görünümü



Şekil 4.53. %100 taş tozunun 7,8 volt gerilimdeki görünümü

Kömür tozu ve taş tozu karışımlarının RGB ve HSL değerlerinde de aynı durum gözlenmiş olup ışık şiddetinin fazla olmasından kaynaklı hatalar tespit edilmiştir. Bunlardan en önemlisi kömür tozunun ışığı yansıtma özelliğinden dolayı beyaz olan %100 taş tozundan daha beyaz olarak okunmasıdır (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. 9 Volt gerilimde ölçülen %100 taş tozu ve %97,5 taş tozu kömür tozu karışımı

No	Kırmızı	Yeşil	Mavi	VarR	VarG	VarB	Hue	Sat	Lght	VarH	VarS	VarL
1	109,30	121,70	99,06	0,55	0,56	0,63	48,43	24,03	111,16	1,68	0,68	0,67
1	109,46	121,73	99,25	0,50	0,55	0,68	47,37	24,84	111,03	1,23	0,43	0,65
1	109,48	121,75	99,30	0,48	0,55	0,67	45,30	27,20	110,48	1,12	0,30	0,58
1	109,42	121,72	99,35	0,48	0,54	0,67	47,71	25,83	110,71	1,04	0,32	0,66
1	109,28	121,79	99,42	0,54	0,54	0,68	44,79	27,16	110,46	1,54	0,68	0,67
2	110,27	118,07	101,65	2,31	2,36	1,94	44,14	19,52	110,07	1,43	0,49	2,36
2	110,88	118,10	101,53	2,26	2,41	1,93	44,15	18,99	110,21	2,01	0,46	2,27
2	111,17	118,20	101,22	2,35	2,36	1,87	43,52	19,86	110,04	1,56	0,35	2,20
2	111,20	118,26	101,09	2,35	2,49	1,86	41,64	21,11	109,76	2,82	0,58	2,18
2	111,28	118,25	101,19	2,28	2,40	1,92	41,95	20,02	109,99	2,72	0,48	2,37

Normal ışık altında birbirinden rahatlıkla ayrılabilecek renk farkları bulunan %50 taş tozu ve %50 kömür tozu karışımı ile 9 volt gerilimde ölçülen arasında RGB ve HSL değerleri arasında çok az bir fark tespit edilmiştir (Şekil 4.54 ve Çizelge 4.25).



Şekil 4.54. %50 taş tozu ve %50 kömür tozu karışımının 9 volt gerilimde görüntüsü

Çizelge 4.25. 9 Volt gerilimde ölçülen %100 taş tozu ve %50 taş tozu kömür tozu ka rışımı

No	Kırmızı	Yeşil	Mavi	VarR	VarG	VarB	Hue	Sat	Lght	VarH	VarS	VarL
1	109,30	121,70	99,06	0,55	0,56	0,63	48,43	24,03	111,16	1,68	0,68	0,67
1	109,46	121,73	99,25	0,50	0,55	0,68	47,37	24,84	111,03	1,23	0,43	0,65
1	109,48	121,75	99,30	0,48	0,55	0,67	45,30	27,20	110,48	1,12	0,30	0,58
1	109,42	121,72	99,35	0,48	0,54	0,67	47,71	25,83	110,71	1,04	0,32	0,66
1	109,28	121,79	99,42	0,54	0,54	0,68	44,79	27,16	110,46	1,54	0,68	0,67
21	101,97	110,73	105,74	15,87	14,81	14,70	72,68	16,21	105,98	7,44	3,07	15,68
21	102,10	110,82	105,42	15,58	15,08	14,54	70,28	15,18	106,26	9,89	2,13	15,61
21	101,90	110,85	105,61	15,88	14,95	14,73	70,69	15,52	106,25	6,45	2,12	14,91
21	102,05	110,88	105,41	15,93	15,05	14,68	70,23	14,97	106,35	7,82	1,97	14,77
21	101,91	110,91	105,55	15,68	14,98	14,95	72,42	15,99	106,06	6,33	2,26	15,15

Gerilim değerleri 9 volttan aşağıya doğru 0,1 voltluk düşüşlerle ideal ışık şiddeti bulunmuştur. Bu değer çalışılan linyit kömürlerinde 7,7 volt iken kıyaslama için denenmiş olan Zonguldak taş kömürlerinde ise 7,8 volt olarak tespit edilmiştir. %100 taş tozu ve %97,5 taş tozu kömür tozu karışımı Çizelge 4. 26'da ve %100 taş tozu ile %50 taş tozu kömür tozu karışımı renk kıyaslamaları Çizelge 4.27'de verilmiştir.

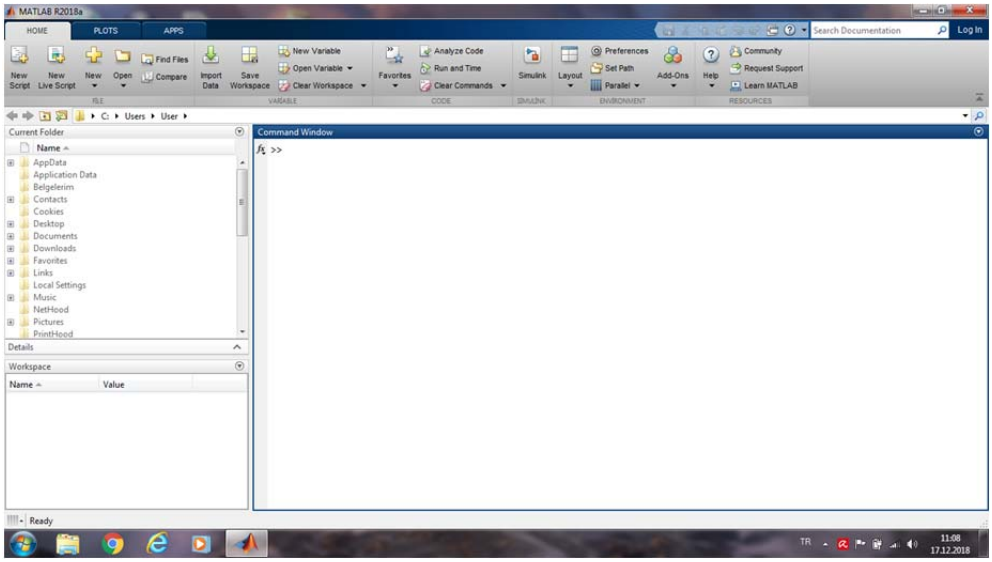
Çizelge 4.26. 7,8 Volt gerilimde ölçülen %100 taş tozu ve %97,5 taş tozu kömür tozu karışımı

No	Kırmızı	Yeşil	Mavi	VarR	VarG	VarB	Hue	Sat	Lght	VarH	VarS	VarL
1	89,12	93,30	89,30	0,29	0,40	0,53	57,49	7,77	90,17	15,45	0,37	0,42
1	88,42	92,69	88,63	0,30	0,42	0,55	63,97	7,89	89,94	18,73	0,38	0,43
1	88,62	92,53	88,37	0,29	0,41	0,49	57,05	8,22	89,81	12,39	0,54	0,41
1	88,30	92,42	88,32	0,30	0,41	0,56	55,28	7,56	89,73	14,72	0,22	0,37
1	88,30	92,54	88,15	0,29	0,39	0,54	59,79	8,23	89,86	11,20	0,53	0,48
2	71,15	77,37	71,31	1,68	1,48	1,36	56,76	14,11	73,57	7,59	2,57	1,54
2	70,98	77,30	71,26	1,58	1,53	1,34	59,05	14,26	73,46	9,75	1,82	1,58
2	71,01	77,21	71,34	1,56	1,54	1,32	62,18	14,01	73,43	6,84	1,72	1,48
2	71,25	77,12	71,09	1,60	1,47	1,42	57,63	13,59	73,47	7,60	1,99	1,53
2	71,09	77,00	71,13	1,63	1,52	1,35	58,03	13,99	73,25	3,93	2,43	1,65

Çizelge 4.27. 7,8 Volt gerilimde ölçülen %100 taş tozu ve %50taş tozu kömür tozu karışımı

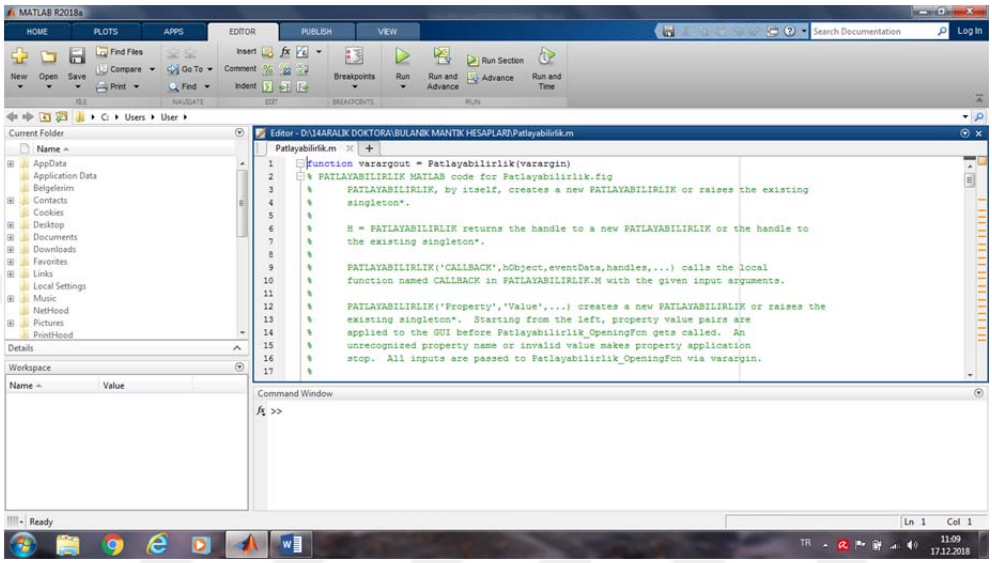
No	Kırmızı	Yeşil	Mavi	VarR	VarG	VarB	Hue	Sat	Lght	VarH	VarS	VarL
1	89,12	93,30	89,30	0,29	0,40	0,53	57,49	7,77	90,17	15,45	0,37	0,42
1	88,42	92,69	88,63	0,30	0,42	0,55	63,97	7,89	89,94	18,73	0,38	0,43
1	88,62	92,53	88,37	0,29	0,41	0,49	57,05	8,22	89,81	12,39	0,54	0,41
1	88,30	92,42	88,32	0,30	0,41	0,56	55,28	7,56	89,73	14,72	0,22	0,37
1	88,30	92,54	88,15	0,29	0,39	0,54	59,79	8,23	89,86	11,20	0,53	0,48
21	0,38	1,38	0,55	0,12	0,35	0,17	13,24	49,98	0,88	9,35	126,91	0,22
21	0,38	1,36	0,55	0,12	0,34	0,17	12,48	46,80	0,85	8,46	110,92	0,22
21	0,38	1,35	0,54	0,12	0,34	0,17	12,92	49,01	0,87	8,34	109,78	0,21
21	0,38	1,37	0,52	0,12	0,35	0,16	13,05	49,65	0,88	9,59	135,24	0,23
21	0,37	1,31	0,52	0,11	0,33	0,16	12,97	49,43	0,85	8,71	123,13	0,20

Kamera görüntüsü tabanlı ölçme sistemi ile numunelerin RGB ve HSL değerleri elde edildikten sonra elde edilen verilerin değerlendirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde yapay zekâ yöntemlerinden MLP ve GRNN kullanılmıştır. MATLAB programı altında çalıştırılan bu programlarda hesaplama yapılabilmesi amacıyla program çalıştırılmaktadır (Şekil 4.55).



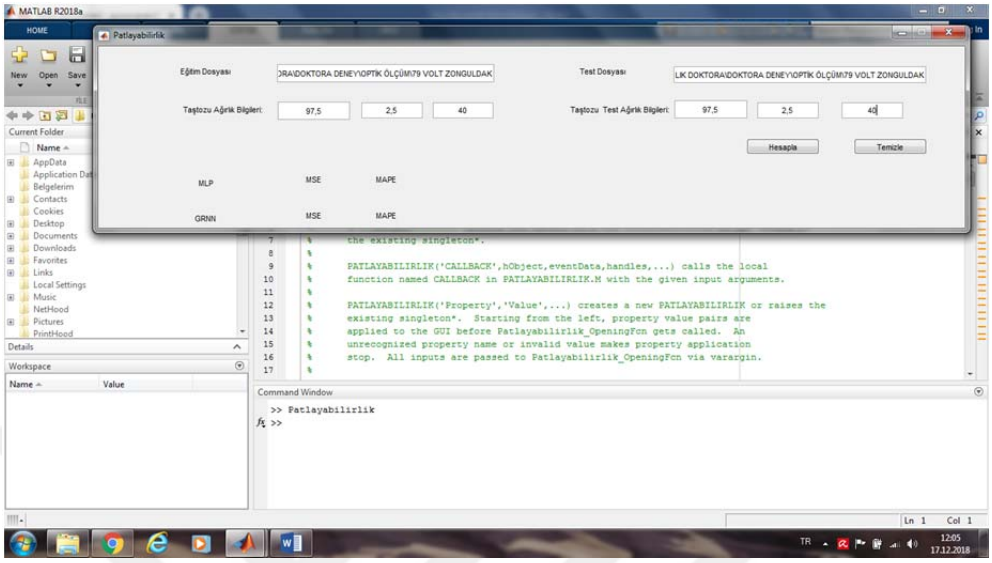
Şekil 4.55. MATLAB programı ana ekran görüntüsü

Program çalıştıktan sonra test edilecek değerlerin olduğu dosya içinden çalıştırılacak numuneye ait dosya çalıştırılmaktadır (Şekil 4.56).



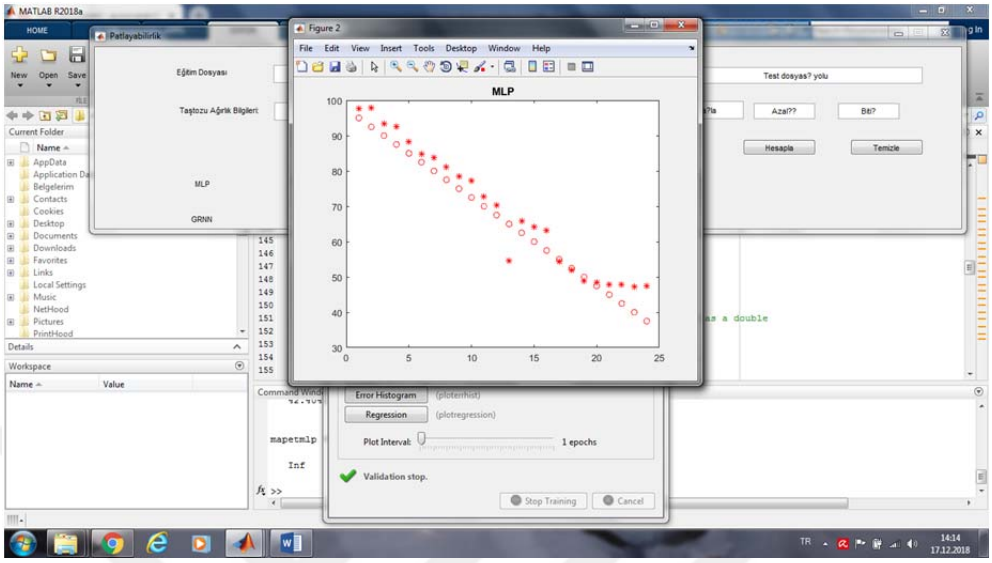
Şekil 4.56. MATLAB programında test edilecek dosya giriş ekranı

Çalışmanın daha pratik ve hızlı olması amacıyla programa bir ara yüz oluşturulmuştur (Şekil 4.57). Bu ara yüz yardımıyla bilgisayarda kayıtlı klasör içindeki txt dosyası, test numunelerinin içindeki taş tozu oranları ve eğitim numuneleri gibi bilgiler girilmiştir.

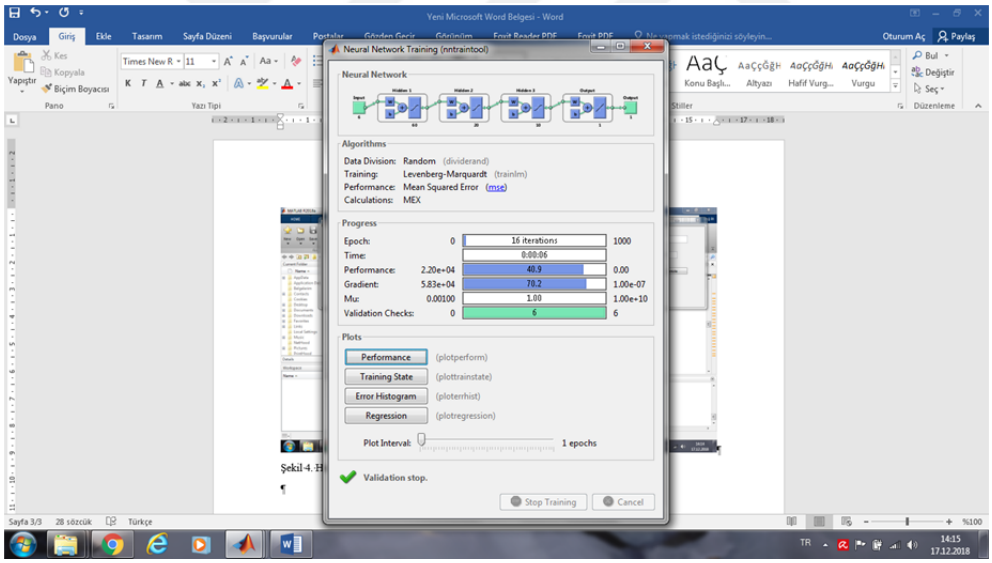


Şekil 4.57. MATLAB programında veri girişi ara yüz ekranı

Gerekli bilgiler girildikten sonra hesapla butonuyla program çalıştırılmaktadır. Arka planda MLP ve GRNN aynı anda çalışarak bütün olasılıkları denemektedir. Bu işlem sonrasında grafikler çizilmektedir(Şekil 4.58). Ayrıca MATLAB yardımıyla eğitilmiş verilerle ilgili sonuçlar da ayrı bir ekranda verilmektedir (Şekil 4.59).



Şekil 4.58. Hesaplama sonunda elde edilen MLP grafiği

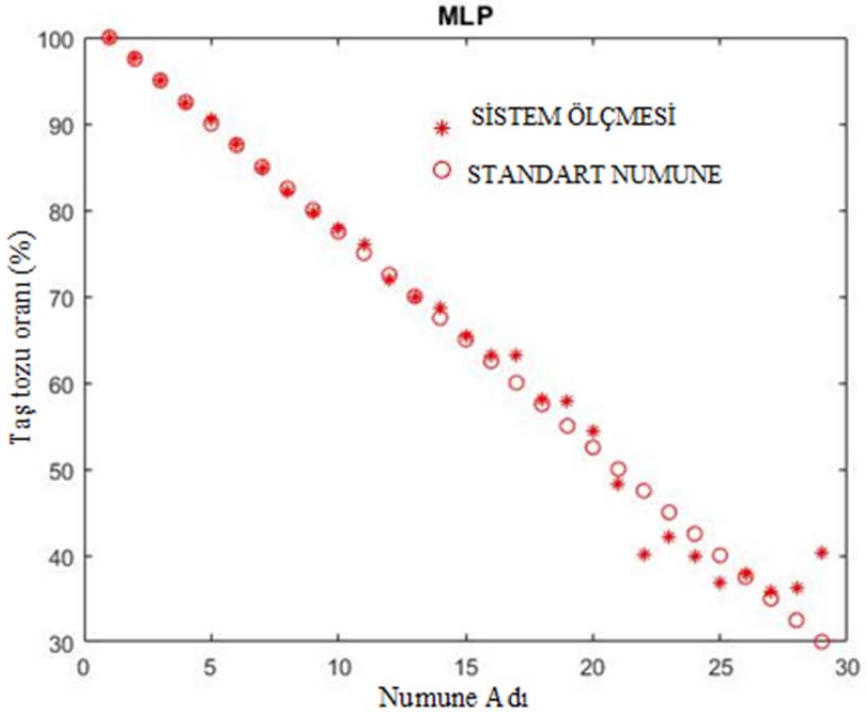


Şekil 4.59. Eğitilmiş verilerin ekran görüntüsü

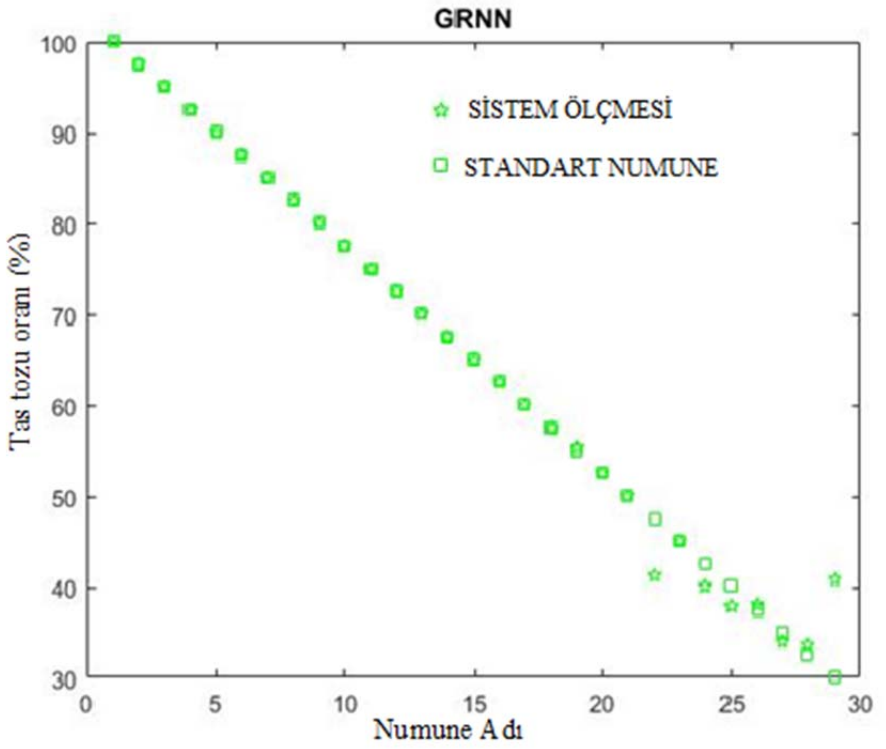
Üç sahadan alınan kömür tozu numuneleri kamera görüntüsü tabanlı ölçme sistemi ile alınan ölçümler ve MATLAB programı tabanlı yapay zekâ yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda Afşin-Elbistan sahasında kömür üretimimi açık ocak (Yerüstü) tekniği ile yapıldığı için şistleme

uygulaması yapılmamaktadır. Bu nedenle Afşin-Elbistan kömür tozları için kamera görüntüsü tabanlı ölçme sistemi denenmemiştir. Soma ve Tunçbilek sahasından alınan numuneler üzerinde işleme devam edilmiştir. Ayrıca bu sahalara ek olarak Zonguldak-Kozlu sahasından alınan numuneler de çalışılmıştır. Soma sahasından alınan MLP ve GRNN sonuçları Şekil 4.60 ve 4.61'de verilmiştir.

Yapay zekâ yöntemleriyle yapılan hesaplamalarda belli bir hata payının olacağı hesap edilmiştir. Bu hata payları her iki yöntem açısından iki şekilde değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.28'de verilmiştir. Hata payı yöntemleri; MSE (mean square error)(Ortalama karesel hata) ve MAPE (Mean Absolute Percentage Error)(Ortalama Mutlak Yüzde Hata) olarak alınmıştır.



Şekil 4.60. Soma kömür tozuna ait MLP sonuç grafiği

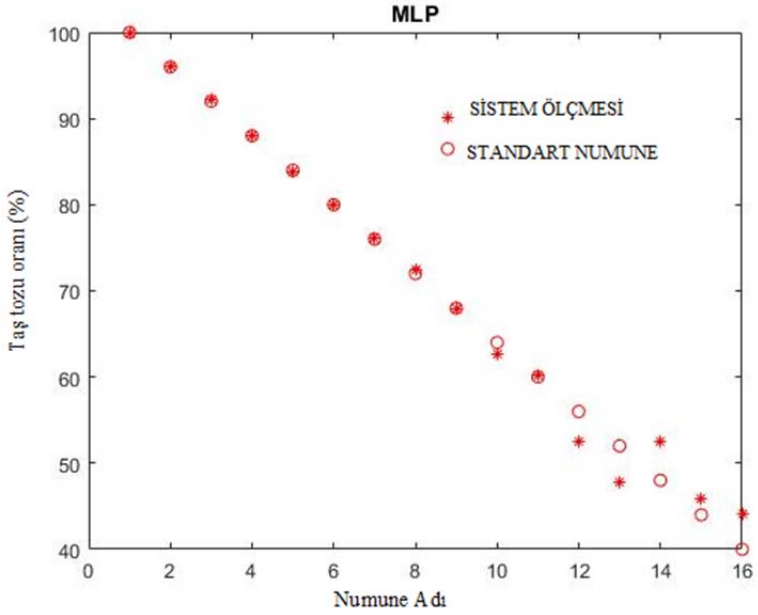


Şekil 4.61. Soma kömür tozuna ait GRNN sonuç grafiği

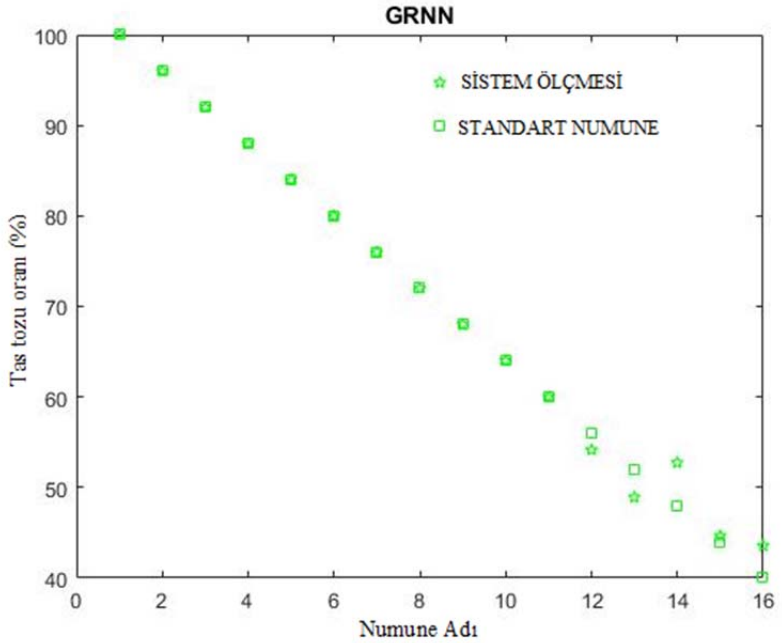
Çizelge 4.28. Soma kömür tozlarına ait hata payları oranları

Yöntem	MSE (%Ağırlıkça)	MAPE (%Ağırlıkça)
GRNN	5,203	0,97
MLP	7,503	3,680

Tunçbilek sahasından alınan numunelerin sonuçları Şekil 4.62 ve 4.63'te verilmiştir. Hata payları ise Çizelge 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.62. Tunçbilek kömür tozuna ait MLP sonuç grafiği

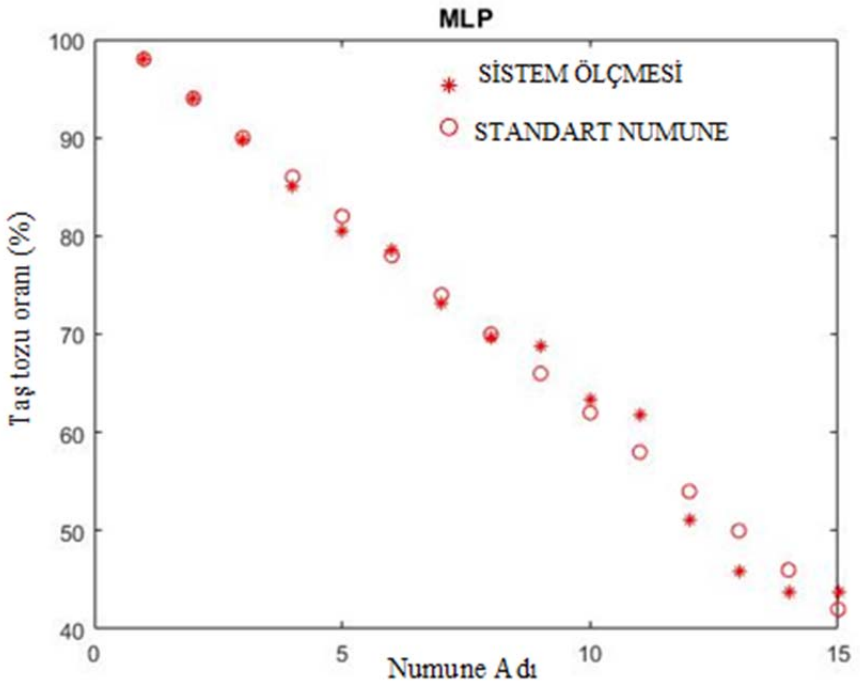


Şekil 4.63. Tunçbilek kömür tozuna ait GRNN sonuç grafiği

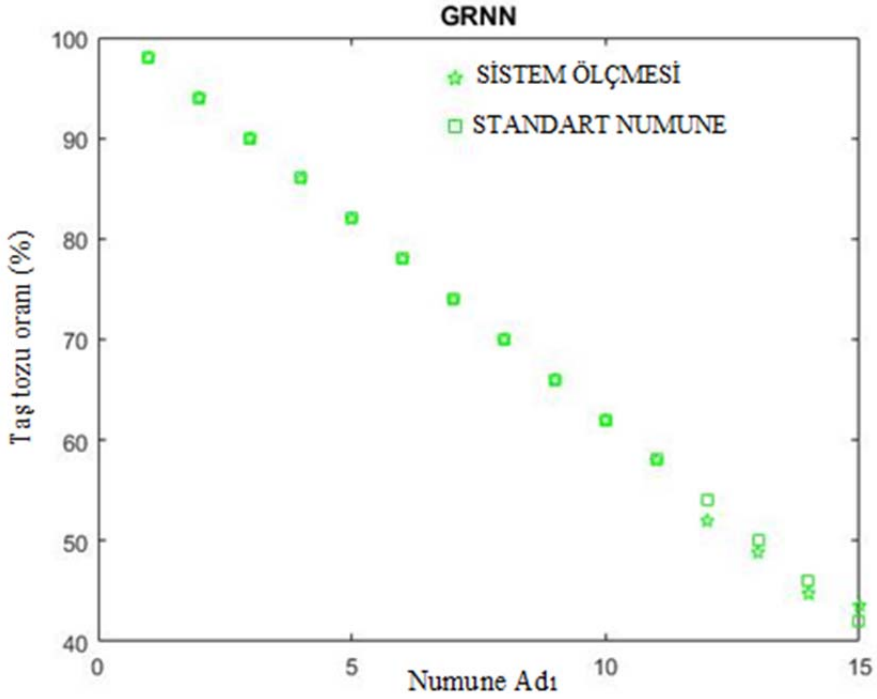
Çizelge 4.29. Tunçbilek kömür tozlarına ait hata payları oranları

Yöntem	MSE(%Ağırlıkça)	MAPE(%Ağırlıkça)
GRNN	0,519	0,756
MLP	2,188	1,805

Zonguldak sahasından alınan numunelerin sonuçları Şekil 4.64 ve 4.65'te verilmiştir. Hata payları ise Çizelge 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.64. Zonguldak kömür tozuna ait MLP sonuç grafiği



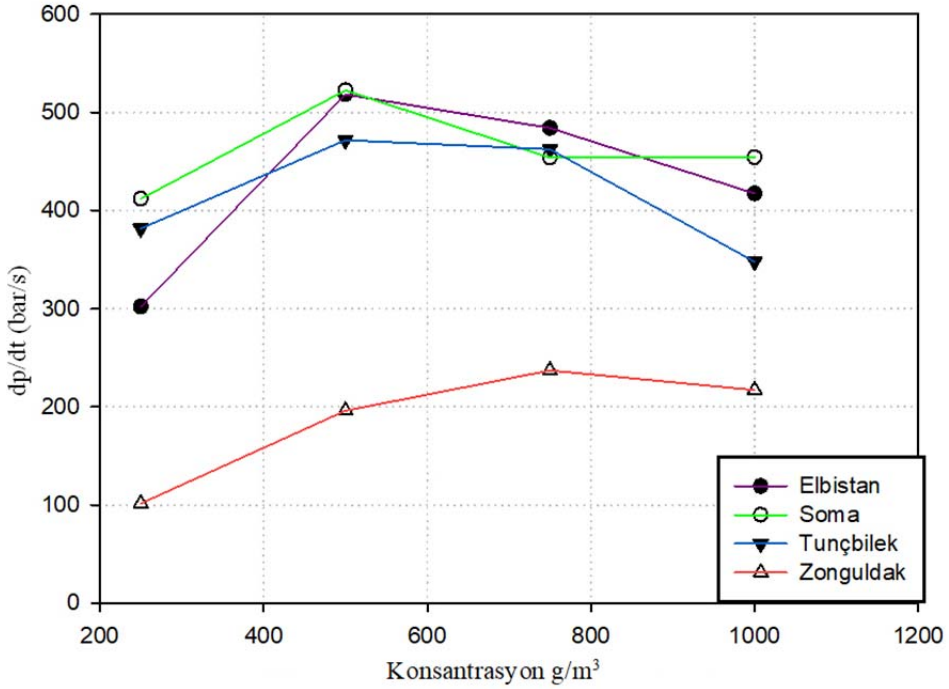
Şekil 4.65. Zonguldak kömür tozuna ait GRNN sonuç grafiği

Çizelge 4.30. Zonguldak kömür tozlarına ait hata payları oranları

Yöntem	MSE(%Ağırlıkça)	MAPE(%Ağırlıkça)
GRNN	0	0
MLP	2,21	1,70

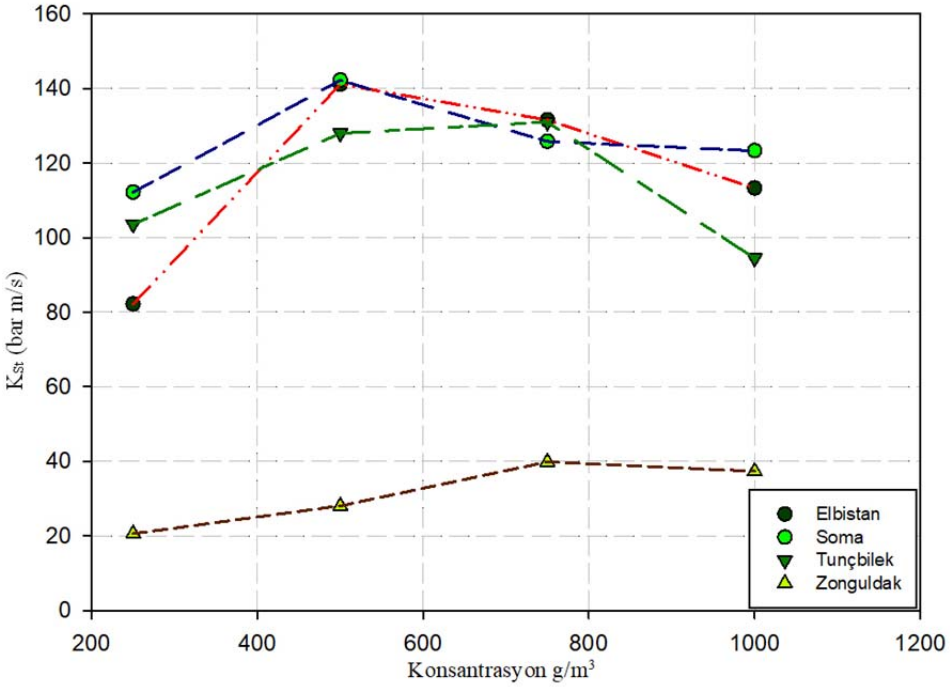
4.5. Taş Kömürü ve Linyitlerin Patlayabilirlik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında patlayabilirlik deneyleri yapılan linyit kömürleri ile daha önceden yapılmış olan Zonguldak/Kozlu taş kömürü patlayabilirlik deney sonuçları kıyaslanmıştır. Maksimum Patlama Basıncı Yükselme Oranı $(dp/dt)_{max}$ bakımından kıyaslama yapıldığında linyitlerin 500 bar/s-520 bar/s aralığında değerler aldığı gözlenmiştir. Buna karşılık taş kömürlerinin 225 bar/s-235 bar/s arasında değerler aldığı gözlenmiştir (Şekil 4.66).



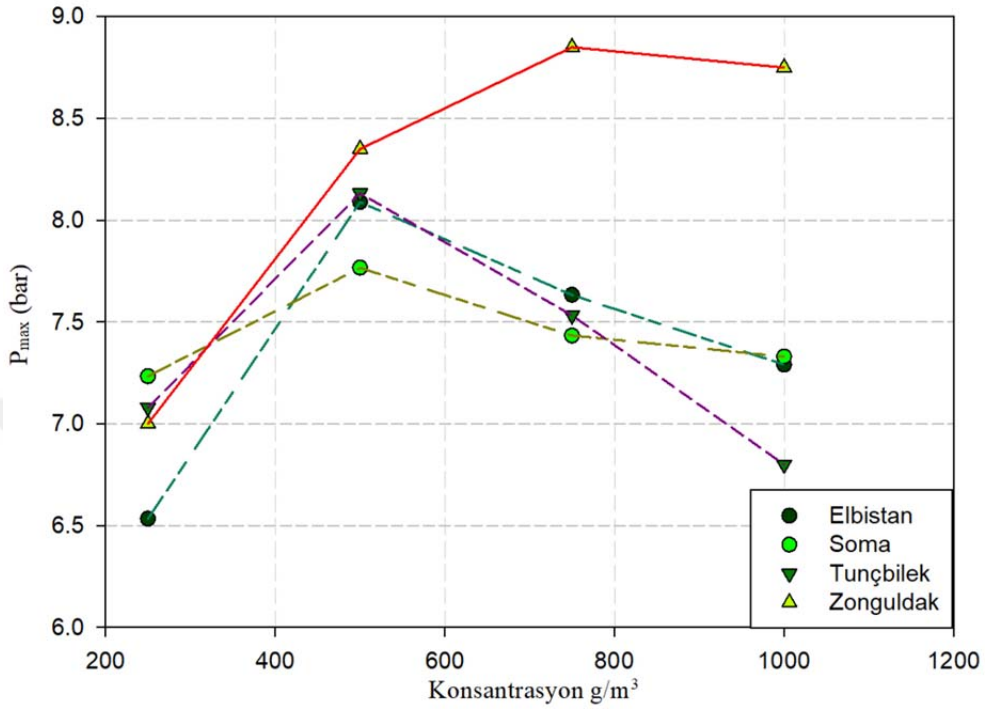
Şekil 4.66. Linyit kömürleri ile taş kömürlerinin toz konsantrasyonuna bağlı dp/dt değişim grafiği

Bunun yanında iki tür kömürün konsantrasyona bağlı Toz Patlayabilirlik Sabiti (K_{St}) incelendiğinde linyitlerin K_{St} değerleri 136 bar m/s-142bar m/s arasında iken taş kömürlerinde bu değer yaklaşık 40 bar m/s civarında bulunmuştur (Şekil 4.67).



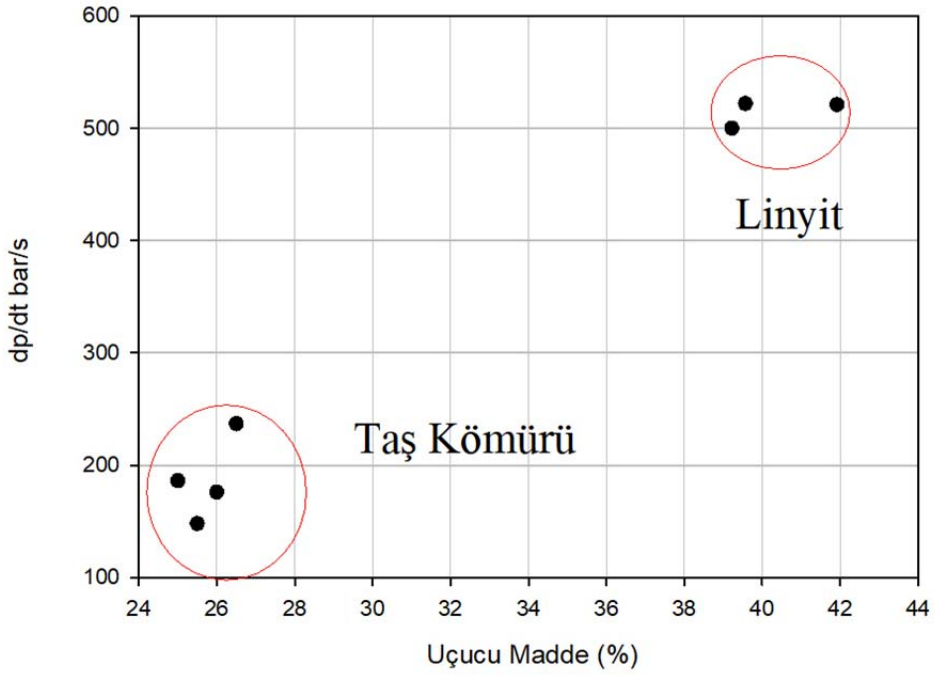
Şekil 4.67. Linyit kömürleri ile taş kömürlerinin konsantrasyonuna bağlı K_{St} değişim grafiği

Ayrıca Maksimum Patlama Basıncı (P_{max}) değerleri açısından iki kömür türü incelenmiş olup linyitlerde maksimum patlama basıncına 500 g/cm^3 konsantrasyonlarında ulaşıldığı tespit edilmiştir. Linyitlerde P_{max} değerleri 7,8 bar-8,2 bar arasında bulunmuştur. Buna karşılık taş kömürlerinde P_{max} değerlerine 750 g/cm^3 konsantrasyonlarında ulaşılmış olup bu değer yaklaşık 9 bar-9,4 bar seviyelerinde tespit edilmiştir (Şekil 4.68).



Şekil 4.68. Linyit kömürleri ile taş kömürlerinin konsantrasyona bağlı P_{max} değişim grafiği

Kömür tozlarında Maksimum Patlama Basıncı Yükselme Oranı $(dp/dt)_{max}$ değerini en çok etkileyen parametre uçucu madde içeriği olarak tespit edilmiştir. Bu bakımdan iki tür kömür kıyaslandığında da linyitlerde uçucu madde miktarı %39,22-%41,92 aralığında iken bu değer taş kömürlerinde %25-%27 civarında tespit edilmiştir. Yine uçucu madde oranına bağlı dp/dt değişimleri incelendiğinde linyitlerin 500 bar/s civarında iken bu değer taş kömürlerinde 235 bar/s civarında bulunmuştur (Şekil 4.69).



Şekil 4.69. Linyit kömürleri ile taş kömürlerinin uçucu madde oranına bağlı dp/dt değişim grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doktora çalışması olarak yürütülen bu çalışma kapsamında yapılan deneyler ve gözlemler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- ✓ Afşin-Elbistan, Soma ve Tunçbilek kömürlerinin patlama özellikleri linyit kömürlerinin patlayabilirlik özellikleri ilk defa bu çalışma kapsamında incelenerek OSHA sınıflamasına göre St1 sınıfında patlar cinste olduğu ortaya konulmuştur.
- ✓ Afşin-Elbistan, Soma ve Tunçbilek kömürlerinin patlama değerleri sırasıyla 141 bar m/s, 142 bar m/s ve 136 bar m/s olarak bulunmuştur. Bu değerler dikkate alındığında literatürdeki linyit kömürlerinin patlayabilirlik özelliği ile paralel özellikler gösterdiği anlaşılmıştır.
- ✓ İncelenen linyit kömür numunelerine ait maksimum patlama basınçları olan P_{max} değerleri sırasıyla 8,2 bar, 7,8 bar ve 8,1 bar olarak bulunmuştur. Bu değer daha önce çalışılmış olan taş kömürlerine ait olan yaklaşık 9 barlık değerlere oldukça yakın bir değerdir.
- ✓ Afşin-Elbistan, Soma ve Tunçbilek kömürlerinin orijinal nem içerikleri %14-50 arasında değişmektedir. Ancak TKİ genel müdürlüğü tarafından incelenmek üzere Soma ve Tunçbilek yeraltı ocaklarından temin edilen kömür tozlarının doğal nem içerikleri %7 civarında olup bu nem oranlarında patlayabilir özellik göstermektedir. EÜAŞ genel müdürlüğü tarafından temin edilen Afşin-Elbistan Brüden kömür numunelerinde ise doğal nem oranı %5 civarında olup patlama tehlikesi bulunmaktadır.
- ✓ Bu çalışmada patlayabilirlik deneyleri 63 µm ve daha küçük tane boyutlu numuneler için yapılmıştır. Sahadan temin ettiğimiz toz numunelerinin ortalama (D_{50}) tane boyutları 20 µm civarında olduğu için patlayabilirlik testi yapılan numunelerin ortalama tane boyutu da (D_{50}) 20 µm civarında seçilmiştir.

- ✓ Patlayabilirlik testi yapılan Afşin-Elbistan kömür numunelerinin külündeki Ca içeriği %50,95olarak bulunmuştur. Kısa analiz sonucunda uçucu madde içeriği %41,92, kül miktarı %28,60 ve alt ısıl değeri 3593 Kcal/kg olarak ölçülmüştür.
- ✓ Afşin-Elbistan kömüründe inorganik madde olarak Kalsit, Kuvars ve Pirofillit minerallerine rastlanmıştır.
- ✓ Afşin-Elbistan kömür numuneleri üzerinde yapılan TGA analizlerinde kömürlerin tutuşma sıcaklığı 220 ºC olarak bulunmuştur.
- ✓ Afşin-Elbistan kömür numuneleri üzerinde yapılan FTIR analizleri ile bu kömürlerin alifatik yapıda olduğu görülmüştür. Ayrıca linyitlerde karakteristik olarak bulunan 900 ile 700 cm^{-1} arasındaki aromatik bağların bu kömürlerde olmadığı tespit edilmiştir.
- ✓ Kömür depolama ve tesis tasarımında tasarım açısından çeşitli standartlar kullanılmaktadır (BS EN 14491, ve NFPA68, NFPA 69, NFPA654). Patlama güvenliği önlemlerinde, tasarım parametreleri bakımından Çalışma kapsamında incelenen kömür tozu patlamalarının tehlikelerini bertaraf etmek için P_{max}, $(dp/dt)_{max}$ ve K_{St}, değerleri kullanılabilir.
- ✓ Patlayabilirlik testi yapılan Soma kömür külü numunelerinde Ca içeriği %20,00 olarak bulunmuştur. Alt ısıl değeri 5472 Kcal/kg olarak bulunan numunelerde uçucu madde içeriği /39,57 ve kül içeriği %8,90 olarak bulunmuştur.
- ✓ Soma kömür numunelerinde yapılan XRD analizi ile inorganik madde olarak Müllit, Kalsit, Jips ve Manyetit minerallerine rastlanmıştır.
- ✓ Soma kömür numunelerinde yapılan TGA analizleri sonucunda bu numunelerin tutuşma sıcaklığı 240 ºC olarak bulunmuştur.
- ✓ Soma kömür numunelerine ait FTIR analizlerinde Alifatik C-H gerilme piki 3000cm^{-1}-2800 cm^{-1} arasında gözlenmiştir. Soma linyiti spektrumunda bu bölgede gözlenen şiddetli ve yayvan pik bu kömürlerin çok fazla alifatik yapıda olduğunu göstermektedir. Kömürlerin yapısında

karakteristik olarak bulunan 900 ile 700 cm^{-1} arasındaki aromatik bağların Soma kömürlerinde de olduğu görülmüştür.

- ✓ Patlayabilirlik testi yapılan Tunçbilek kömür kül numunelerinde Ca değeri %8,42 olarak bulunmuştur. Kısa analiz sonucunda uçucu madde miktarının %39,22 ve kül miktarının %10,06 olduğu tespit edilmiştir. Alt ısıl değeri Tunçbilek numuneleri için 5650 Kcal/kg olarak bulunmuştur.
- ✓ Tunçbilek numuneleri üzerinde yapılan XRD analizinde inorganik madde olarak Manyetit, Kuvars, Sillimanit ve Jips minerallerine rastlanmıştır.
- ✓ Tunçbilek kömür numunelerinde yapılan TGA analizlerinde bu kömürlerin tutuşma sıcaklıkları 220 ºC olarak bulunmuştur.
- ✓ Tunçbilek kömür numuneleri üzerinde yapılan FTIR analizlerinde 3100 cm^{-1}-3000 cm^{-1} arasında aromatik C-H gerilme pikinin yanında 3000cm^{-1}-2800 cm^{-1}arasındaki alifatik gerilme pikleri de tespit edilmiştir. Kömürlerin yapısında karakteristik olarak bulunan 900 ile 700 cm^{-1} arasındaki aromatik bağların Tunçbilek kömürlerinde de olduğu görülmüştür.
- ✓ Diğer patlayabilirlik değerleri ile bir korelasyon bulunamamasına rağmen P_{max} değerlerinin yüksek ısıl değere sahip kömürlerde arttığı gözlenmiştir.
- ✓ Uçucu madde içeriğinin (külsüz bazda) artmasıyla dp/dt_{max} değerinin arttığı gözlenmiştir.
- ✓ Yüksek uçuculu Türk linyit kömür tozları Zonguldak taş kömür tozuyla karşılaştırıldığında daha düşük konsantrasyonlarda patlayabilir olduğu görülmüştür. Afşin-Elbistan ve Tunçbilek kömürleri en düşük 60 g/m^3konsantrasyonda patlarken Soma kömür tozları 30 g/m^3 konsantrasyonda patlamıştır. Zonguldak kömür tozlarının en düşük patlama konsantrasyonu 125 g/m^3 olarak tespit edilmiştir.
- ✓ Soma ve Tunçbilek yeraltı kömür madenlerinde kireç taşı tozu serpme (şistleme) uygulamasına kesinlikle devam edilmelidir.
- ✓ Kömür tozu patlamalarının engellenmesi amacıyla yeraltı kömür ocaklarında taş tozu serpilmesi uygulaması yaygın olarak yapılmaktadır.

Zonguldak TTK yeraltı kömür ocaklarında da bu uygulama yapılmaktadır. Şistleme uygulaması etkin bir şekilde uygulanmadığı takdirde kömür tozlarının patlama tehlikesi bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen Kamera Görüntüsü Tabanlı Ölçme Sistemi ile taş tozu/kömür tozu karışımının içerisindeki taş tozu oranının hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebilmesi mümkün olacaktır.

- ✓ Kamera Görüntüsü Tabanlı Ölçme Sistemi, yeraltı maden ocaklarında biriken kömür tozlarının patlayabilirlik seviyesini numunenin alındığı yerde ve 2 dakika içerisinde ölçebilmektedir.
- ✓ Sistem özelliği; kömür tozu numunesinin kamera görüntüsünden elde edilen renk bileşenlerine ve/veya ağırlığına bağlı olarak kömür tozu numunesinin patlayabilirlik derecesini belirlemekte ve ölçülen sonuca göre kullanıcısını yönlendirmektedir.
- ✓ Kamera Görüntüsü Tabanlı Ölçme sistemi kömür tozlarının patlayabilirlik seviyesini kamera görüntüsünün renk ayrımına bağlı olarak ölçmekte ve kullanıcısını yönlendirmektedir.
- ✓ Toz patlayabilirlik ölçümlerini yaklaşık ±%0,57'lik bir hata payı ile değerlendirmektedir.
- ✓ Kamera Görüntüsü Tabanlı Ölçme Sistemi kalibrasyon ayarları yapılarak her türlü kömür numunesindeki taş tozu/kömür tozu oranını belirlemek amacıyla kullanmak mümkün olacaktır.
- ✓ Kamera Görüntüsü Tabanlı Ölçme Cihazı gerekli kalibrasyon ayarları yapıldığı taktirde, koyu renkli yantaş ve arakesme tabakalarını doğru bir şekilde tespit edebilmektedir.

KAYNAKLAR

Abbasi, T., Abbasi, S., A., 2007. Dust Explosions–Cases, Causes, Consequences, And Control. Journal of Hazardous Materials 140 (2007) 7–44.

Abuswer, M., Amyotte, P., Khan, F., 2013. A Quantitative Risk Management Framework for Dust and Hybrid Mixture Explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 26 (2013) 283e289.

Agarwal, S. C.: 1966. Dispersibility of Dust and Its Effects on Coal Dust in Flammation. J. Mines Metals Fuels 1966, Nr. 4.

Akat, U., Çağlayan, A., Ivak, M,, 1978, Dursunbey-Orhaneli-Susurluk-Kepsut Arasındaki Bölgenin Jeolojisi: MTA Rapor No; 6618 (Yayınlanmamış)

Akdeniz, N, Ve Konak, N., 1979 a, Simav-Emet-Dursunbey-Demirci Yörelerinin Jeolojisi: MTA Rapor No: 6547 (Yayınlanmamış),

Akdeniz, N, ve Konak, N., 1979 b, Menderes Masifinin Simav Dolaylarındaki Kaya Birikimleri ve Metabazik Metaultramafik Kayaların Konumu: Türkiye Jeo. Kur, Bült,, 22/2, 175484.

Al-Daoud, 2009. A comparison between three neural network models for classification problems. Journal of Artificial Intelligence, 2 (2009), pp. 56-64.

Amyotte, P., R., 2006. Solid Inertants and Their Use in Dust Explosion Prevention and Mitigation. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19 (2006) 161–173.

Amyotte, P., R., Khan, F., I., Basu, A., Dastidar, A., G., Dumeah, R., K., Erving, W., L., 2006. Explosibility Parameters for Mixtures of Pulverized Fuel and Ash. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19 (2006) 142–148.

Amyotte, P., R., Basu, A., Khan, F., I., 2005. Dust Explosion Hazard of Pulverized Fuel Carry-Over. Journal of Hazardous Materials A122 (2005) 23–30.

Amyotte, P., R., Pegg, M., J., Khan, F., I., Nifuku, M., Yingxin, T., 2007. Moderation of Dust Explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 20 (2007) 675–687.

Amyotte, P., R., Eckhoff, R., K., 2010. Dust Explosion Causation, Prevention and Mitigation: An Overview, Journal of Chemical Health and Safety, vol., 17. P., 15-28.

Amyotte, P., R., 2014. Some Myths and Realities about Dust Explosions. Process Safety and Environmental Protection 92 (2014) 292–299.

Anchirico, R., Benedetto, A., D., Garcia-Agreda, A., Russo, P., 2011. Study of The Severity of Hybrid Mixture Explosions and Comparison to Pure Dust-Air and Vapor-Air Explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 24 648-655.

ANKO, 2018. Laboratory equipment company. www. Anko-lab.com internet sitesi.

Arık, F., 2002, Gümüşköy (Kütahya) Gümüş Yataklarının Jeokimyasal Modellemesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 318 s.

ASTM D3173, 2013. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. West Conshohocken.

ASTM D3174, 2012. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. West Conshohocken.

ASTM D3175, 2011. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. West Conshohocken.

ASTM D5865-13 2013. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. West Conshohocken.

ASTM D4239-14e2, 2014. Standard Test Method for Sulphur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion. West Conshohocken.

ASTM D5373, 2016. Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke. West Conshohocken.

ASTM D7582-15, 2015. Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis. West Conshohocken.

ASTM E1226, 2012. Standard Test Method for Explosibility of Dust Clouds. West Conshohocken.

ASTM E1515, 2014. Standard Test Method for Minimum Explosible Concentration of Combustible Dusts. . West Conshohocken.

Ayaydın, C., 1987, Kuyu Sistemi İle Üretim Yapılacak Sahaların Jeolojisi Ve Mevcut Sondajların Havza Jeolojisiyle Korelasyonu.

Bai, C., Gong, G., Liu, Q., Chen, Y., Niu, G., 2011. The Explosion Overpressure Field and Flame Propagation of Methane/Air and Methane/Coal Dust/Air Mixtures. Safety Science 49 (2011) 1349–1354.

Bauer, H. D.: Staubbekaempfung - Ergebnisse neuer Untersuchungen, Teil I und II, Schlaegel u. Eisen 1968, Heft 2 – 3.

Bind, V., K., Roy, S., Rajagopal, C., 2012. A Reaction Engineering Approach to Modeling Dust Explosions. Chemical Engineering Journal 207–208 (2012) 625–634.

BS EN 14034-1, 2004. Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds - Part 1: Determination of the Maximum Explosion Pressure P_{max} of Dust Clouds. London, UK.

BS EN 14034-2, 2006. Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds – Part 2: Determination of the Maximum Rate of Explosion Pressure Rise $(Dp/Dt)_{max}$ of Dust Clouds. London, UK.

BS EN 14034-3, 2004. Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds – Part 3: Determination of the Lower Explosion Limit LEL of Dust Clouds. London, UK.

BS EN 14034-4, 2004. Determination of Explosion Characteristics of Dust Clouds – Part 4: Determination of The Limiting Oxygen Concentration LOC of Dust Clouds. London, UK.

Buzkan, İ., 1992. Kuzeybatı Anadolu Taşkömür Havzası Zonguldak Kömürlerinin Jeokimyasal Özellikleri. Türkiye &. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı. S 353-366.

Cao, W., Gao, W., Liang, J., Xu, S., Pan, F., 2014. Flame-Propagation Behavior and a Dynamic Model for the Thermal-Radiation Effects in Coal-Dust Explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 29 (2014) 65e71.

Cashdollar K., L., Chatrathi, K., 1992. Minimum Explosible Dust Concentrations Measured in 20-L and 1 m3 Chambers. Combust. Sci. And Tech., 1992, vol. 87, pp. 157-171.

Cashdollar K., L. 1996. Coal Dust Explosibility, Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 9. No. 1. pp. 65-16, 1996

Cashdollar K., L. 2000. Overview of Dust Explosibility Characteristics. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 13 (2000) 183–199

Cashdollar K., L., Zlochower, I., A., 2007. Explosion Temperatures and Pressures of Metals and Other Elemental Dust Clouds. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 20 (2007) 337–348.

Chawla, N., Amyotte, P., R., Pegg M., J., 1996. A Comparison of Experimental Methods to Determine the Minimum Explosible Concentration of Dusts. Fuel Vol. 75, No. 6, pp. 654-658, 1996.

Chunmiao, Y., Chang, L., Gang, L., 2011. Coal Dust Explosion Prevention and Protection Based on Inherent Safety. Procedia Engineering 26 (2011) 1517 – 1525.

Cloney, C., T., Amyotte, P., R., Khan, F., I., Ripley, R., C., 2013. Development of an Organizational Framework for Studying Dust Explosion Phenomena. Journal of Loss Prevention in the Process Industries xxx (2013) 1-8.

ÇSGB, 2009. Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi, yayın No: 43, Ankara

Cybulski, W.: 1956. Recherches sur la Dependence de l'explosibilité d'un Mélange de Poussiére de Charbon et de Poussiére Stérile de Composition et de sa Repartition. 9. Int. Konferenz der Leiter Grubensicherheitliche Versuchsanstalten. Brüssel–Heerlen.

Dahoe, A., E., Cant, R., S., Pegg, M., J., Scarlett, B., 2001. On the Transient Flow in the 20-Liter Explosion Sphere. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 14 (2001) 475–487.

Dastidar, A., G., Amyotte, P., R., Pegg, M., J., 1997. Factors Influencing the Suppression of Coal Dust Explosions. Fuel Vol. 76, No. 7, pp. 663-670, 1997.

Dastidar, A., Amyotte, P., Going, J., Chatrathi, K., 2001. Inerting of Coal Dust Explosions in Laboratory and Intermediate-Scale Chambers. Fuel 80 (2001) 1593-1602.

Davis, S., G., Hinze, P., C., Hansen, O., R., Wingerden, K., V., 2011. Does Your Facility Have a Dust Problem: Methods for Evaluating Dust Explosion Hazards? Journal of Loss Prevention in the Process Industries 24 (2011) 837e846.

DEKRA EXAM GmbH, 2016. Explosion protection/Plant safety Dinnendahlstr. 9 * 44809 Bochum, Germany.

DME 2001. Coal Mining Safety and Health Regulation, Draft. Australia: Queensland Department of Mines and Energy.

Didari, V., 1985. Kömür Tozu Patlaması. Madencilik Dergisi, Aralık Sayısı, 24. Cilt, 4. Sayı.

Du, B., Huang, W., Kuai, N., Yuan, J., Li, Z., Gan, Y., 2012. Experimental Investigation on Inerting Mechanism of Dust Explosion. Procedia Engineering 43 (2012) 338–342.

Dufuad, O., Perrin, L., Traore, M., Chazelet, S., Thomas, D., 2009. Explosions of Vapour/Dust Hybrid Mixtures: A Particular Class. Powder Technology 190 (2009) 269–273.

Dufuad, O., Perrin, L., Bideau, D., Laurent, A., 2012. When Solids Meet Solids: A Glimpse Into Dust Mixture Explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 25 (2012) 853-86.

Eckhoff, R., K., 2004. Partial Inerting an Additional Degree of Freedom in Dust Explosion Protection. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 17 (2004) 187–193.

Eckhoff, R., K., 2005. Current Status and Expected Future Trends in Dust Explosion Research. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 18 (2005) 225–237.

Eckhoff, R., K., 2009. Understanding Dust Explosions. The Role of Powder Science and Technology. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22 (2009) 105–116.

Eckhoff, R., K., Dust Explosion Prevention and Mitigation, Status and Developments in Basic Knowledge and in Practical Application, International Journal of Chemical Engineering. S. 1-12.

Eckhoff, R., K., 2012. Does The Dust Explosion Risk Increase When Moving From Mm-Particle Powders to Powders of Nm-Particles? Journal of Loss Prevention in the Process Industries P. 448-459.

Ediz, T., G., Görgülü, A., Dixon, W., D., 1993. Kömür Tozu Patlamalarının İlerlemesinin Durdurulması için Yeni Bir Yaklaşım. Türkiye 13. Maden Kongresi.

Ergin, Z., 1978. Kömür Ocaklarındaki Patlamalar. (Yayınlanmamış).

Erkmen and Yildirim, 2008. Improving classification performance of sonar targets by applying general regression neural network with PCA. Expert Systems with Applications, 35 (2008), pp. 472-475.

Erol, İ., 2012. Türkiye Taşkömürü Kurumu Ocaklarında Solunabilir Toz İçindeki Kül Ve Kuvars Miktarlarının Sistematik Olarak Ölçülmesi Ve İstatistiksel Değerlendirilmesi. Doktora tezi.

Fischer, K.: 1955. Die Wirkung des Gesteinsstaubes bei Kohlenstaubexplosionen. Glückauf 1955, Heft 11/12.

Fischer, K.:1957 Ablauf von Kohlenstaubexplosionen. Zeitschrift für Elektrochemie 1957, Heft 5.

Going, J., E., Chatrathi, K., Cashdollar K., L. 2000. Flammability Limit Measurements for Dusts in 20-L and 1-M^3 Vessels. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 13 (2000) 209–219.

Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dali, M., Öz, D., Tuncalı, E. 1993. Türkiye Linyit Envanteri, MTA, Ankara, s. 269-272.

Harris, M., L., Sapko, M., J., Cashdollar, K., L., and Verakis, H., C., 2008. Field Evaluation of the Coal Dust Explosibility Meter (CDEM). SME Annual Meeting. National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research Pittsburgh, PA Spokane, WA.

Harris, M., L., Sapko, M., J., Varley, F., D., Weiss, E., S., 2012. Coal Dust Explosibility Meter Evaluation and Recommendations for Application.

Harris, M., L., Sapko, M., J., Zlochower, I., A., Perera, I., E., Weiss, E., S., 2015. Particle Size and Surface Area Effects on Explosibility Using A 20-L Chamber. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 37 (2015) 33-38.

Harteis, S., P., Alexander, D., W., Harris, L., Sapko, M., J., Weiss, E., S., 2016. Review of Rock Dusting Practices in Underground Coal Mines. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Pittsburgh, PA. Spokane, WA

Houim, R., W., Oran, E., S., 2015. Numerical Simulation of Dilute and Dense Layered Coal-Dust Explosions. Proceedings of the Combustion Institute 35 (2015) 2083–2090.

Holbrow, P., Andrews, S., Lunn, G., A., 1996. Dust Explosions in Interconnected Vented Vessels. J. Loss Prrv. Process Ind. Vol. 9. No. 1.pp.91-103.

HSE, 2003. Safe Handling of Combustible Dusts: Precautions against Explosions. Caerphilly Business Park, UK.

Humphreys, D., O'beirne, T. 2000. Stone Dust Requirements and Options. Australian Coal Association Research Program Project C8011 — Final Report to ACARP, Brisbane, Australia.

ISO 6184-1:1985. Explosion Protection Systems. Part 1: Determination of Explosion Indices of Combustible Dusts in air. New York.

ISO 6184-2:1985. Explosion Protection Systems. Part 1: Determination of Explosion Indices of Combustible Gases in Air. New York.

İnci, U. 1998a. Miocene Synvolcanic Alluvial Sedimentation in Lignite-Bearing Soma Basin, Western Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences 7, 63-78.

İnci, U. 1998b. Lignite and Carbonate Deposition in Middle Lignite Succession of the Soma Formation, Soma Coalfield, Western Turkey. International Journal of Coal Geology 37, 287-313.

İnci, U. 2002. Depositional Evolution of Miocene Coal Successions in the Soma Coalfield, Western Turkey. International Journal of Coal Geology 51, 1-29.

İnci, U., Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Arpalıyiğit, İ. 2003. Kırkağaç ve Soma Grabenlerinin Kuvaterner Jeolojisi. IV Kuvaterner Çalıştayı, Genişletilmiş Bildiri Özetleri,.25-35, İTÜ.

Kaya, O,, 1972, Tavşanlı Yöresi Ofiyolit Sorununun Ana Çizgileri: Türkiye Jeo./Kur. Bült,, 1, 26- 108.

Kizil, M., S., Peterson, J., English, W., 2001. The Effect of Coal Particle Size on Colorimetric Analysis of Roadway Dust. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 14 (2001) 387–394

Konak, N., 1982, Simav Dolayının Jeolojisi ve Metamorfik Kayaçların Evrimi: İstanbul Yer Bilimleri Derg.,1-2, 313-337.

Krasnyansky, M., 2006. Prevention and Suppression of Explosions in Gas-Air and Dust-Air Mixtures Using Powder Aerosol-Inhibitor. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19 (2006) 729–735.

KTİ (2005) Kozlu Taşkömürü İşletmesi Brifingi, Kozlu Taşkömürü İşletme Müdürlüğü, Zonguldak.

Kuai, N., Huang, W., Yuan, J., Du, B., Li, Z., Wu, Y., 2011. Experimental Investigations of Coal Dust-Inertant Mixture Explosion Behaviors. Procedia Engineering 26 (2011) 1337–1345.

Kuai, N., Li, J., Chen, Z., Huang, W., Yuan, J., Xu, W., 2011. Experiment-Based Investigations of Magnesium Dust Explosion Characteristics. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 24 (2011) 302-313.

Kuai, N., Huang, W., Du, B., Yuan, J., Li, Z., Gan, Y., Tan, J., 2013. Experiment-Based Investigations on the Effect of Ignition Energy on Dust Explosion Behaviors. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 26 (2013) 869e877.

Lebküchner, R.F., 1959, Seyitömer-Kütahya Neojen Sahasında Jeoloji ve Linyit Yatakları ile İlgili Olarak Yapılan Etüdler Hakkında Rapor: MTA Rapor No: 2985 (Yayınlanmamış).

Lebküehner, R.F., 1957, Linyit Bulunması Muhtemel Ayvalı (Kütahya) Sahasında Yapılan Jeolojik ve Madencilikle İlgili Etüdlerin Neticesi Hakkında Rapor: MTA Rapor No: 2984 (Yayınlanmamış).

Li, Q., Lin, B., Dai, H., Zhao, S., 2012. Explosion Characteristics of H_2/Ch_4/Air and Ch_4/Coal Dust/Air Mixtures. Powder Technology 229 (2012) 222–228.

Li, Q., Wang, K., Zheng, Y., Ruan, M., Mei, X., Lin, B., 2016. Experimental Research of Particle Size and Size Dispersity on the Explosibility Characteristics of Coal Dust. Powder Technology 292 (2016) 290–297.

Li, Y., Xu, H., Wang, X., 2013. Experimental Study on the Influence of Initial Pressure on Explosion of Methane-Coal Dust Mixtures. Procedia Engineering 62, 980–984.

Liu, Q., Bai, C., Li, X., Jiang, L., Dai, W., 2010. Coal Dust/Air Explosions in a Large-Scale Tube. Fuel 89 (2010) 329–335.

Liu, Y., Sun, J., Chen, D., 2007. Flame Propagation in Hybrid Mixture of Coal Dust and Methane. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 20 (2007) 691–697.

Lucci, C., Cortese, R. (1995). Instruments for Measuring Dust Accumulation and Composition in Underground Coal Mines. In Proceedings of the 7th US Mine Ventilation Symposium, (Lexington, Kentucky), Society of Mining, Metallurgy and Exploration Inc. ISBN 0-87335-133-9; 251–256.

Lunn, G., A., Holbrow, P., Andrews, S., Gummer, J., 1996. Dust Explosions in Totally Enclosed Interconnected Vessel Systems. J. Lass Prev. Process Ind. Vol. 9. No. 1. Pp. 45-58.

Man, C., K., Harris, M., L., 2014. Participation of Large Particles in Coal Dust Explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 27 (2014) 49e54.

Maucher, A,, 1936, Seyitömer Linyit Havzasının Petrografik Raporu : MTA Rapor No2; 108 (Yayınlanmamış).

Mittal, M., 2013. Limiting Oxygen Concentration for Coal Dusts for Explosion Hazard Analysis and Safety. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 26 (2013) 1106e1112.

Mittal, M., 2014 Study of Explosıbılıty Data of Coal Dust for Designing Explosion Safety Measures. Mittal, International Journal of Advanced Engineering Technology (Yayınlanmamış).

Murphy, M., M., Westman, E., C., Lannacchione, A., Barczak, T., M., 2012. Relationship Between Radiated Seismic Energy and Explosive Pressure for Controlled Methane and Coal Dust Explosions in an Underground Mine. Tunneling and Underground Space Technology 28 (2012) 278–286

Nagy, J., Portman, W., 1961. Explosibility of Coal Dust in Atmosphere Containing a Low Percentage of Methane. R L 5815, Bureau of Mines U. S. A.

Nagy, J., Conn, J., W., Verakis, H., C., 1969. Explosion Development in a Spherical Vessel. Report of Investigations 7279.

Nebert, K,, 1962, Serpantin Kitleleri Arasına Sıkışmış Bir Neojacı Blokuna Misal Olmak Üzere Alabarda (Tavşanlı) Linyit Bölgesi: MTA Dergisi, 58,-31-37

Nebert, K.. F., I960, Tavşanlı Batı ve Kuzeyindeki Linyit İhtiva Eden Neojen Sahasının Mukayeseli Stratigrafisi ve Tektoniği: MTA Dergisi, 54, 7-35.

NFPA 69, 2014. Standard on Explosion Prevention Systems. 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02169, Usa.

Norman, F., Berghmans, J., Verplaetsen, F., 2012. The Dust Explosion Characteristics of Coal Dust in an Oxygen Enriched Atmosphere. Procedia Engineering 45 (2012) 399 – 402.

Okay, A. 1981, Kuzeybatı Anadolu'da Ofiolitlerin Jeolojisi ve Mavişist Metamorfizması (Tavşanlı- Kütahya): Türkiye Jeo. Kur. Bült., 24/1, 85-

OSHA, 2009, Hazard Communication Guidance for Combustible Dusts. U.S. Department of Labor.

Önen, N., 1936. Orta Anadolu Linyit Yatakları Hakkında Rapor. MTA, Ankara.

Pejic, L., M., Torrent, J., G., Querol, E., Lebecki, K., 2013. A New Simple Methodology for Evaluation of Explosion Risk in Underground Coal Mines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 26 (2013) 1524e1529.

Pekmezciler, S,, 1953, Seyitömer Linyit Havzası Hakkında Rapor: MTA Rapor No, 2025 (Yayınlanmamış).

Prostański, D., 2015. Experimental Study of Coal Dust Deposition in Mine Workings with the Use of Empirical Models. Journal of Sustainable Mining 14 (2015) 108-114.

P. BŞV. 2017/11637, 2017. Kamera görüntüsü tabanlı kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi Patent başvuru dosyası. Adana.

Rice, G., S., 1910. Explosibility of Coal Dust. United States Geological Survey Report.

Rongjun, S., Runzhi, L., Zichao, H., 2012. Material Evidence Analysis upon Accident Investigation of Gas and Coal Dust Explosion. Procedia Engineering 45 (2012) 458 – 463.

Safe Dust (2001). Enhancing Safety and Productivity in Coal Mining [Online]. Available at Http://Www.Aec.Co.Za/Pt/Nep/Index.Htm. Pelindaba Tech, South African Nuclear Energy Corporation.

Saltoğlu, S., 1971. Zonguldak Havzası Kömür Tozlarının Patlama Karakteristiklerinin Tesbiti ve Kömür Tozu Patlamalarının Taş Tozu ile Önlenmesi Üzerine Yapılan Etüd. Zonguldak.

Sapko, M. J., (1989). Review Paper: Prevention And Suppression of Coal Mine Explosions. İn Proceedings of the 23rd International Conference of Safety in Mines Research Institutes, Washington, Dc, 11–15 September 1989.

Sapko, M., J., Weiss, E., S., Cashdollar, K., L., Zlochower, I., A., 2000. Experimental Mine and Laboratory Dust Explosion Research at Niosh. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 13 (2000) 229–242

Sapko, M., J., Cashdollar, K.,L., Green, G., M., 2007. Coal Dust Particle Size Survey of Us Mines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 20 (2007) 616–620.

Sapko, M., J., Weiss, E., S., Harris, M., L., Man, C., Harteis, S., P., A (2010) Centennial of Mine Explosion Prevention Research. Nioshtic-2 Publications Search.

Sarli, V., D., Sanchirico, R., Russo, P., Di Benedetto, A., 2015. CFD Modeling and Simulation of Turbulent Fluid Flow and Dust Dispersion in the 20-L Explosion Vessel Equipped With the Perforated Annular Nozzle. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 38 (2015) 204e213.

Schulte - Rhonhof, Fischer,·K., Meerbach, H.: 1963. Untersuchungen über Den Verlauf Und Die Bekaempfung Von Schlagwetter-Und Kohlenstaubexplosionen. Verlag -·Glückauf.

Snoeys, J., Going, J., E., Taveau, J., R., 2012. Advances in Dust Explosion Protection Techniques: Flameless Venting. Procedia Engineering 45 (2012) 403 – 413.

Specht, 1991. A general regression neural network. Neural Networks, 3 (1990), pp. 109-118.

Späth, H., Yu, A., S., Dewen, N., 2011. A New Dimension in Coal Mine Safety: Explospot, Active Explosion Suppression Technology. Procedia Engineering 26 (2011) 2191 – 2198.

Taveau, J., 2010. Correlations for Blast Effects from Vented Dust Explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 23 (2010) 15–29.

Taveau, J., 2011. Secondary Dust Explosions: How to Prevent them or Mitigate their Effects? 7th Global Congress on Process Safety, Unpublished.

Torrent, J., G., Gómez, A., R., Anez, N., F., Pejıc, L., M., Tascón, A., 2016. Influence of the Composition of Solid Biomass in the Flammability and Susceptibility to Spontaneous Combustion. Fuel 184 (2016) 503–511.

TS 690 ISO 589, 2002. Taşkömürü - Toplam Rutubet Tayini. Ankara,

TS ISO 1171, 2014. Katı Mineral Yakıtlar - Kül Miktarı Tayini. Ankara,

TS 4744, 2013. Kahverengi Kömürler Ve Linyitler- Numune Alma Prensipleri-Rutubet Miktarı Tayini Ve Genel Analizler İçin Numune Hazırlama. Ankara.

TTK (2010) Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü 2010 Yılı Faaliyet Raporu. Nisan 2011, Zonguldak, 118 S.

TTK (2015) Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü 2015 Yılı Faaliyet Raporu. 2015, Zonguldak, 8 S.

TTK (2016) Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü 2016 Yılı Personel Yapısı Web Sitesi.

Tuncalı, E., Çiftçi, B., Yavuz, N., Toprak, S., Köker, A., Gencer, Z., Ayçık, H., Şahin, N., 2002. Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal Ve Teknolojik Özellikleri Kitabı, MTA yayınları, Ankara.

USBM [1965]. Float Coal Hazard in Mines: A Progress Report. By Nagy J, Mitchell Dw, Kawenski Em. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Rı 6581.

Üçüncü, K., 2011. Toz Patlamaları. Aralık 2011 Versiyon B.

Von Der Breuer, G., 1955, Seyitömer 10. Sondajının Damar Profilinin Mikropalontolojik Tetkiki; MTA Rapor No : 2339 (Yayınlanmamış),

Wangsholm, E. 2012.An Experimental Study on the Influence of the Particle Size of Chemically Active Inhibitors in Turbulent Combustion Dissertation for the Degree of Master of Science on the Subject of Process Safety Technology Norway.

Wanxing, R., Deming, W., Qing, G., Bingzhao, Z., 2014. Application of Foam Technology for Dust Control in Underground Coal Mine. International Journal of Mining Science and Technology 24 (2014) 13–16.

Wehner, E.: 1957. Das Explosionsvermögen Von Steinkohlenbrikettstaeuben. Vdi - Berichte 19/1957 S. 89.

Weiguo, C., Liyuan, H., Jianxin, Z., Sen, X., Shanshan, Q., Feng, P., 2012. 2012 International Symposium on Safety Science and Technology Research on Characteristic Parameters of Coal-Dust Explosion. Procedia Engineering 45 (2012) 442 – 447.

Winter, J. - Gütaire, M.: 1969. Procédes De Neutralization Des Poussiére Inflammables. Doc. Tech. Cbarb. France, Nr. 1.

Xu, H., Li, Y., Zhu, P., Wang, X., Zhang, H., 2013. Experimental Study on the Mitigation via an Ultra-Fine Water Mist of Methane/Coal Dust Mixture Explosions in the Presence of Obstacles. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 26 (2013) 815e820.

Yan_Qiang, L., Yue-Ping, Q., Xiao-Bin, Y., Liang, T., 2011. New Progress on Coal Mine Dust in Recent Ten Years. Procedia Engineering 26 (2011) 738 – 743.

Yao, H., Yu, M., Zheng, L., An, A., 2011. Study on Suppression of the Coal Dust/Methane/Air Mixture Explosion in Experimental Tube by Water Mist. Procedia Engineering 26 (2011) 803 – 810.

Yıldırım, Ö., S., Saraç, S., 1996. Kömür Tozu Patlama Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve 20j Hacimli Küresel Patlama Odası. 10. Madencilik Kongresi Kitabı S. 355-364.

Yörükoğlu, M., 1991. Afşin-Elbistan Projesi Ve TKİ Kurumu AEL Müessesesinde Madencilik Çalışmaları. Madencilik Dergisi, Eylül 1991, Sayı No:3,Ankara, S.13-29.

Yuan, J., Weı, W., Huang, W., Du, B., Lıu, L., Zhu, J., 2014. Experimental Investigations on the Roles of Moisture in Coal Dust Explosion. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 45 (2014) 2325–2333.

Yuan, Z., Khakzad, N., Khan, F., Amyotte, P., 2015. Dust Explosions: a Threat to the Process Industries. Process Safety and Environmental Protection 98 (2015) 57–71.

Zhen-Feng, L., Shao-Long, C., An, A., Peng, H., 2011. Experimental Study on Inhibiting the Gas and Coal Dust Explosion by Water Mist in Tube with Obstacle. Procedia Engineering 26 (2011) 1851 – 1856.

Zheng, Y., P., Feng, C., G., Jing, G., X., Qian, X., M., Li, X., J., Liu, Z.,Y., Huang, P, 2009. A Statistical Analysis of Coal Mine Accidents Caused by Coal Dust Explosions in China. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22 (2009) 528–532.

ÖZGEÇMİŞ

28/03/1978 yılında Mardin'de doğdu. İlköğrenimini Mardin'de, orta ve lise öğrenimimi Adana'da tamamladı. 2000 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü'nden 2004 yılında mezun oldu ve aynı yıl Maden Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 2008 yılında yüksek lisansını tamamladı. 2011 yılında aynı bölümde doktora çalışmasına başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

EKLER

EK-1

TÜRK PATENT
TÜRK PATENT VE MARKA KURUMU

ARAŞTIRMA RAPORU

Başvuru Numarası:
2017/11637

A. BULUŞUN PATENT SINIFI (IPC[8])
G01N 25/54, G01N 21/84 (2018.01)

B. ARAŞTIRILAN ALANLAR
G01N

Araştırma esnasında kullanılan elektronik veri tabanları ve -uygun olduğu durumlarda- kullanılan bazı anahtar kelimeler
EPODOC, WPI, EPOQUE İngilizce ve Almanca Tüm-metin Veri tabanları (TXTE, TXTDE), TÜRKPATENT Patent Veri tabanı, Espacenet

"coal, dust, explosion, explosivity, measurement, detecting, testing, device, camera, image, sample, analysis" ve bunların uygun kombinasyonları

C. İLGİLİ DOKÜMANLAR

Kategori	Dokümanlar	İlgili Olduğu İstem
A	**CN201397312YY** (CHONGQING INST OF COAL SCI RES) 3 Şubat 2010 (03.02.2010) Tüm doküman	1-5
A	**CN103604833A** (UNIV ANHUI SCI) 26 Şubat 2014 (26.02.2014) Tüm doküman	1-5

☐ İlgili Dokümanlar sonraki sayfadan devam etmektedir. ☐ Patent Ailesi Üyeleri ekine bakınız.

Kategorilerin Açıklaması:

"X"	Buluşun yeni olmadığını veya buluş basamağı içermediğini tek başına gösteren doküman	"E"	Başvuru tarihinde veya başvuru tarihinden sonra yayımlanan doküman
"Y"	Buluşun buluş basamağı içermediğini başka bir dokümanla bir araya getirildiğinde gösteren doküman	"T"	Buluşun altında yatan ilke veya teoriyi anlamak için belirtilen doküman
"A"	Tekniğin bilinen durumunu belirten ama buluşla tam olarak ilgili olmayan doküman	"L"	Başka nedenlerle belirtilen doküman
"O"	Yazılı olmayan açıklama	"D"	Başvuruda belirtilen doküman
"P"	Başvuru tarihi ile rüçhan tarihi arasında yayımlanan doküman	"&"	Aynı patent ailesinin dokümanı

Türk Patent ve Marka Kurumu - Patent Dairesi Başkanlığı
Hipodrom Cad. No:115 06330 Yenimahalle/ANKARA
Tel: (312) 303 1182
Faks: (312) 303 1220

Araştırmayı Yapan Uzman:
Kürşad KALKAN

TÜRK PATENT
TÜRK PATENT VE MARKA KURUMU

ARAŞTIRMA RAPORU

Başvuru Sahibi: **SUPHİ URAL**		
Başvuru No: **2017/11637**	Başvuru Tarihi: **08/08/2017**	(İlk) Rüçhan Tarihi –
Patent Sınıfı (IPC[8]): **G01N 25/54, G01N 21/84 (2018.01)**		

GENEL GÖZLEMLER

Buluş Bütünlüğü

☒ Var (başvuru sadece bir buluş konusunu içermektedir)

☐ (başvuru birden çok buluş konusunu içermektedir) (Bakınız: Bölüm III)

Tarifname Takımı

☒ Rapor aşağıda belirtilen tarifname takımı esas alınarak düzenlenmiştir.

Tarifname 13 sayfa (Orijinal)

İstem 5 adet (Orijinal)

Resim 6 sayfa (Orijinal)

Açıklık

☒ Tüm istemler araştırılabilir niteliktedir.

☐ ... nolu istemler araştırılabilir nitelikte değildir. (Bakınız: Bölüm IV)

☐ Başvuruyla ilgili diğer görüşler (Bakınız: Bölüm II)

Raporun Tamamlandığı Tarih: **17/09/2018**

Türk Patent ve Marka Kurumu - Patent Dairesi Başkanlığı
Hipodrom Cad. No:115 06330
Yenimahalle/ANKARA
Tel: (312) 303 1182
Faks: (312) 303 1220

Araştırmayı Yapan Uzman:

Kürşad KALKAN

EK-2

Test Execution

In conformity with set rules and regulations, the following characteristics were to be determined of the dust-like products mentioned below. The test findings and results apply exclusively to tested samples. The tests are described in the appendices annexed to this test report.

The products was analyzed and tested in its state as delivered.

Characteristic Variable	**Test Basis**	**Description**
Particle Size Distribution, Sieve Analysis	DIN 66165 part 1 and 2	Appendix 1
Moisture	Total Moisture	Appendix 2
Maximum Explosion Pressure	DIN EN 14034-1	Appendix 3 (20-l-spherical ball)
Maximum Rate of Explosion Pressure Rise and/or K_{st}-Value	DIN EN 14034-2	
Lower Explosion Limit (Explosibility)	DIN EN 14034-3	

DEKRA EXAM GmbH

Expert Body for
Explosion Protection
and Plant Safety

Carl-Beyling-Haus
Dinnendahlstrasse 9
44809 Bochum
Germany

Phone +49.234.3696-180
Fax +49.234.3696-150

exam-info@dekra.com
http://www.dekra-exam.eu

Explosion Characteristics
of
Lignite Coal Number "Code: E", "Code: S" and "Code: T"
- - - - - - - - - -

Client:	Cukurova University, TR - ADANA
Responsible:	Dipl.-Ing. Jörg Liebetruth Tel. +49.234.3696-179
Reference:	16EXAM 11000E BVS-Lie/Pri
Date:	24.10.2016

DEKRA EXAM GmbH

Dr. Jochen Hübner

Jörg Liebetruth

This test report consists of 6 pages and may only be published unchanged.

Test Findings and Results

Sample Designation		Lignite Coal Number "Code: E"	Lignite Coal Number "Code: S"	Lignite Coal Number "Code: T"
Received on		12/09/2016	12/09/2016	12/09/2016
Status		Dust-Like Product	Dust-Like Product	Dust-Like Product
Moisture φ		5.5 % by wt.	3.6 % by wt.	3.5 % by wt.
Median M		< 20 µm	24 µm	24 µm
Fraction with a particle size in sample	< 53 µm	96 % by wt.	97 % by wt.	96 % by wt.
	< 32 µm	73 % by wt.	65 % by wt.	70 % by wt.
	< 20 µm	53 % by wt.	44 % by wt.	39 % by wt.
Dust Explosibility		YES	YES	YES
Maximum Explosion Pressure p_{max}		8.2 bar	7.8 bar	8.1 bar
Maximum Rate of Explosion Pressure Rise K_{St}-value		141 $bar \cdot m \cdot s^{-1}$	142 $bar \cdot m \cdot s^{-1}$	136 $bar \cdot m \cdot s^{-1}$
Lower Explosion Limit LEL		60 $g \cdot m^{-3}$	30 $g \cdot m^{-3}$	60 $g \cdot m^{-3}$

The tests were performed at following average ambient conditions: 22 °C / 1013 hPa

Appendix 1 Particle Size Distribution, Median Value

The reaction behaviour of dusts is very much dependent upon the particle size. Therefore, the particle size distribution is closely related to the explosion characteristics and hence it must always be taken into account when interpreting the burning and explosion characteristics.

Consequently, explosion investigations for dusts always start with a determination of the particle size distribution and median value, respectively.

The median value is taken recourse to in order to describe the particle size and, hence, to give a precise characterization of a dust sample. Its determination is accomplished by a sieve analysis in conformity with DIN 66165 part 1 and 2 „ Particle size analysis; sieve analysis; general principles and procedure". The relevant screening residue is determined and plotted in a logarithmic coordinate system. Then the median value corresponds to the 50 % value of the summarized distribution curve thus represented. This is the particle diameter at which 50 % by wt. of the dust sample each have a smaller and larger diameter, respectively.

Appendix 2 Moisture

The explosion characteristics of dusts are influenced by the moisture contents. As moisture increases, the ignition sensitivity and reactivity of dusts decrease. In general, the characteristics are only influenced noticeably if the water portion accounts for more than 10 % by wt. Below this level, there might be an influence on the whirling-up of dusts.

The total moisture is determined on a heated laboratory balance, applying a thermogravimetrical method. The sample is warmed-up to a mass constancy of max. 105 °C ± 2 °C. The mean value is computed from at least two analyses.

Appendix 3 Dust Explosiveness, Maximum Explosion Pressure, Maximum Rate of Explosion Pressure Rise, Lower Explosion Limit (20-l spherical ball)

Dust is considered explosive, if a flame propagation occurs in a mixture of dust and air after ignition which is accompanied by a pressure rise in a closed vessel. Dust explosion characteristics, i.e. maximum explosion pressure and maximum time-related rate of pressure rise and/or K_{St}-value describe the maximum impacts to be expected of a dust explosion.

An experimental determination is carried out in a closed 20-l spherical ball in rough conformity with DIN EN 14034. The dust sample to be analysed is at first placed in a dust storage container mounted outside to the 20-l spherical ball. This storage container has a volume of 0.6 l and has been pressurized to 20 bar of compressed air. After an outlet valve has been opened, the dust is blown by the expanding compressed air into the 20-l spherical ball (starting pressure 0.4 bar_{abs}). To obtain a most homogeneous mixture of dust and air, the dust is dispersed through a fan-shaped nozzle jet.

Utilized as ignition source to determine the dust explosiveness and oxygen limit concentration are two chemical igniters with a total energy of 2 kJ. To determine the maximum explosion pressure pmax and the maximum rate of explosion pressure rise $(dp/dt)_{max}$ and/or K_{St}-value, two chemical igniters having a total energy of 10 kJ are utilized as ignition source for the mixture of dust and air. The igniters are placed in the middle of the container and ignited 60 ms (ignition time lag) after starting the dust input. Each igniter has a mass of 1.2 g and consists of zirconium (40 % by wt.), barium nitrate (30 % by wt.) and barium peroxide (30 % by wt.).

The tests are carried out at ambient temperature. The measurement and recording of the explosion pressure dependent upon time are performed by using quartz-crystal type pressure transducers combined with an amplifier, control module and a measuring data acquisition system.

The tests are generally commenced at a dust concentration of 250 $g \cdot m^{-3}$. This rate is either increased in increments by 250 $g \cdot m^{-3}$ or halved until the maximum values for explosion pressure and time-related rate of pressure rise are obtained. The maximum explosion pressure and the maximum time-related rate of pressure rise are determined in three test series. The relevant value is formed from the mean value of these three test series. From the value of the maximum time-related rate of pressure rise, one can determine the K_{St}-value through the equation $K_{St} = (dp/dt)max \cdot V1/3$ ("cubic law"). The K_{St}-value is numerically identical to the so called K_{max}-value (ISO 6184-1) in bar $m \cdot s^{-1}$ or the maximum time-related rate of pressure rise in a vessel with a volume of 1 m^3.

The lower explosion limit defines the level of dust concentration above which the mixtures of dust and air are explosive. To determine this level, the dust concentration is halved until no further explosion can be initiated in three consecutive tests. The upper explosion limit is difficult to determine experimentally. In general it is in the order of magnitude of several 1000 $g \cdot m^{-3}$.

On account of inaccuracies in the analytical test methods, the explosion characteristics determined may deviate by up to ± 10 % from each determined value.

Ek 3

Staub: Pmax, Kmax **Lignite coal, Code E / BVS 16160**

Test	Serie	Konz. [g/m3]	Pm [bar]	dP/dt [bar/s]	tv eff [ms]	
7	1	250	5,9	198	60	10 kJ
8	1	500	**8,0**	460	59	10 kJ
9	1	750	7,9	**468**	59	10 kJ
10	1	1000	7,5	375	60	10 kJ
11	1	1250	6,6	292	59	10 kJ
12	2	250	6,7	360	60	10 kJ
13	2	500	7,8	**545**	59	10 kJ
14	2	750	**7,9**	460	60	10 kJ
15	2	1000	7,5	456	59	10 kJ
16	3	250	7,0	348	59	10 kJ
17	-	500	,0	0	59	ohne Zünder
18	3	500	**8,5**	**550**	59	10 kJ
19	3	750	7,1	524	59	10 kJ
20	3	1000	6,9	421	60	10 kJ

KSEP 7.0 BVS16160_161006A.K20 6-Okt-2016

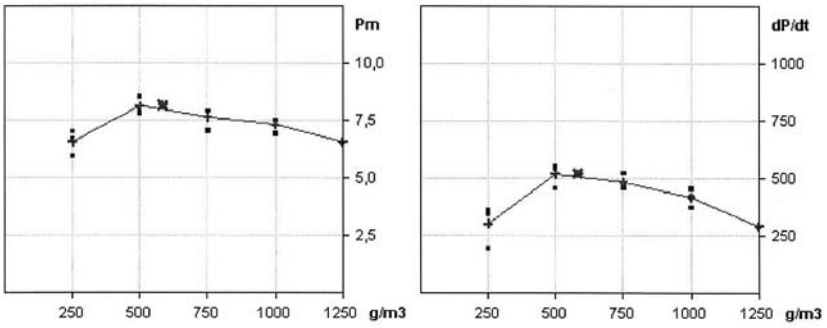


Dekra Exam - **Bassarab**

Produkt:	**Lignite coal, Code E / BVS 16160**
Auftraggeber:	Cukurova University Rectorate
Prüfgrund:	Tgb-Nr. 16/11100 / Sd-Nr. 180225977
Produktherkunft:	Eingang: 16.09.2016
Vorbereitung:	Anlieferungszustand
Medianwert:	

Explosionskenngrössen

Max. Explosionsdruck:	Pmax	=	**8,2**	bar	± 10%
Max. zeitlicher Druckanstieg:	(dP/dt)max	=	**521**	bar / s	± 12%
Spezifische Kenngrösse:	Kmax	=	**141**	m·bar / s	± 12%



Staub: UEG **Lignite coal, Code E / BVS 16160**

Test	Serie	Konz. [g/m3]	Pm [bar]	dP/dt [bar/s]	tv eff [ms]	
3	1	125	**1,0**	**21**	60	2 kJ
4	1	60	,0	0	60	2 kJ
5	1	60	,0	0	60	2 kJ
6	1	60	,0	0	60	2 kJ

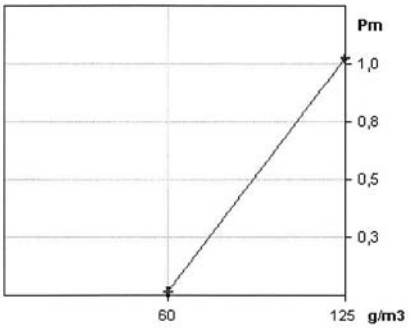


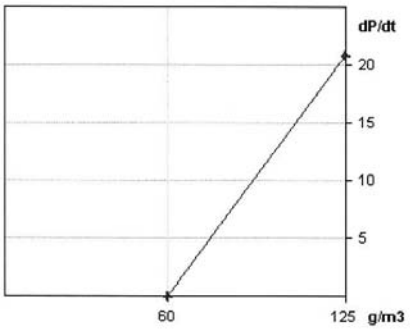
Dekra Exam - Bassarab

Produkt:	**Lignite coal, Code E / BVS 16160**
Auftraggeber:	Cukurova University Rectorate
Prüfgrund:	Tgb-Nr. 16/11100 / Sd-Nr. 180225977
Produktherkunft:	Eingang: 16.09.2016
Vorbereitung:	Anlieferungszustand
Medianwert:	

Explosionskenngrössen

Untere Explosionsgrenze: UEG = **60** g/m3 ± 10%





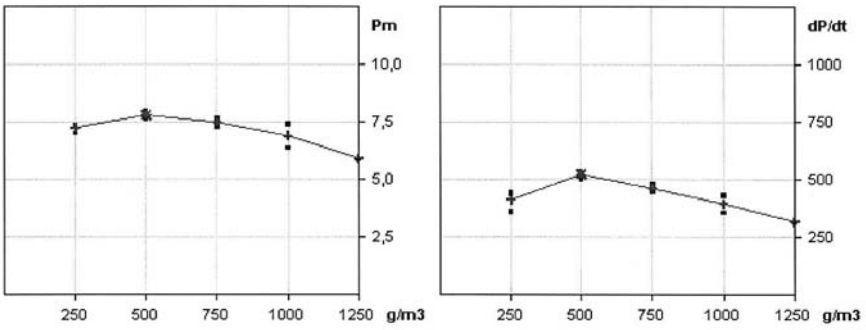


Dekra Exam - **Bassarab**

Produkt:	**Lignite coal, Code S / BVS 16161**
Auftraggeber:	Cukurova University Rectorate
Prüfgrund:	Tgb.-Nr. 16/11100 / SD-Nr. 180225977
Produktherkunft:	Eingang: 16.09.2016
Vorbereitung:	Anlieferungszustand
Medianwert:	

Explosionskenngrössen

Max. Explosionsdruck:	Pmax	=	**7,8**	bar	± 10%
Max. zeitlicher Druckanstieg:	(dP/dt)max	=	**522**	bar / s	± 12%
Spezifische Kenngrösse:	Kmax	=	**142**	m·bar / s	± 12%



Staub: Pmax, Kmax **Lignite coal, Code S / BVS 16161**

Test	Serie	Konz. [g/m3]	Pm [bar]	dP/dt [bar/s]	tv eff [ms]	
7	1	250	7,3	443	60	10 kJ
8	1	500	**7,6**	**534**	59	10 kJ
9	1	750	7,4	450	59	10 kJ
10	1	1000	7,4	431	60	10 kJ
11	2	250	7,0	360	60	10 kJ
12	2	500	**7,7**	**531**	60	10 kJ
13	2	750	7,3	451	60	10 kJ
14	-	1000	6,9	573	60	10 kJ
15	2	750	7,7	484	60	10 kJ
16	2	1250	5,9	317	59	10 kJ
17	3	250	7,4	433	60	10 kJ
18	3	500	**8,0**	**502**	60	10 kJ
19	3	750	7,6	461	60	10 kJ
20	3	1000	6,4	359	59	10 kJ

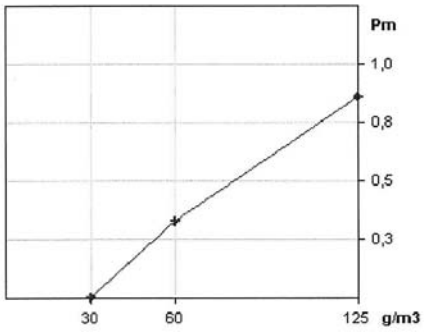


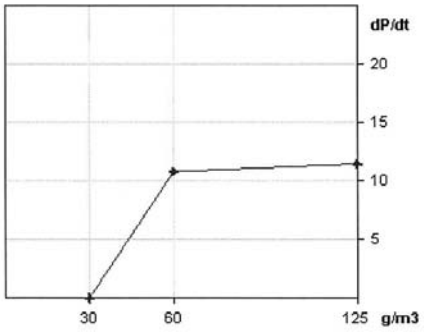
Dekra Exam - **Bassarab**

Produkt:	**Lignite coal, Code S / BVS 16161**
Auftraggeber:	Cukurova University Rectorate
Prüfgrund:	Tgb.-Nr. 16/11100 / SD-Nr. 180225977
Produktherkunft:	Eingang: 16.09.2016
Vorbereitung:	Anlieferungszustand
Medianwert:	

Explosionskenngrössen

Untere Explosionsgrenze: UEG = **30** g/m3 ± 10%





Staub: UEG **Lignite coal, Code S / BVS 16161**

Test	Serie	Konz. [g/m3]	Pm [bar]	dP/dt [bar/s]	tv eff [ms]	
2	1	125	**,9**	**11**	60	2 kJ
3	1	60	,3	11	60	2 kJ
4	1	30	,0	0	60	2 kJ
5	1	30	,0	0	60	2 kJ
6	1	30	,0	0	60	2 kJ

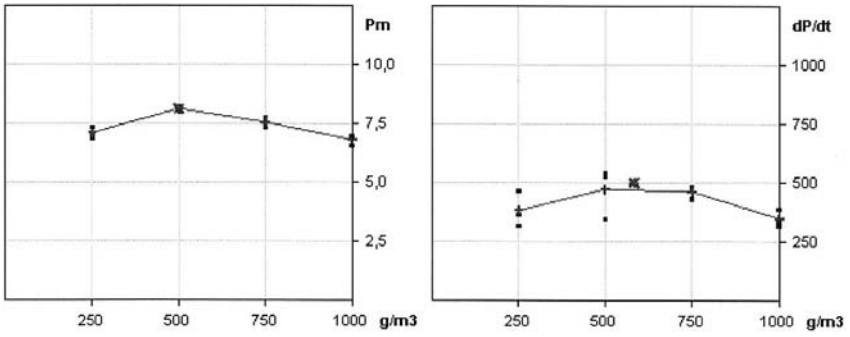


Dekra Exam - **Bassarab**

Produkt:	**Lignite coal, Code T / BVS 16162**
Auftraggeber:	Cukurova University Rectorate
Prüfgrund:	Tgb.-Nr. 16/11100 / SD-Nr. 180225977
Produktherkunft:	Eingang: 16.09.2016
Vorbereitung:	Anlieferungszustand
Medianwert:	

Explosionskenngrössen

Max. Explosionsdruck:	Pmax	=	**8,1**	bar	± 10%
Max. zeitlicher Druckanstieg:	(dP/dt)max	=	**500**	bar / s	± 12%
Spezifische Kenngrösse:	Kmax	=	**136**	m·bar / s	± 12%



Staub: Pmax, Kmax **Lignite coal, Code T / BVS 16162**

Test	Serie	Konz. [g/m3]	Pm [bar]	dP/dt [bar/s]	tv eff [ms]	
6	1	250	7,3	466	60	10 kJ
7	1	500	**8,2**	**542**	60	10 kJ
8	1	750	7,7	480	60	10 kJ
9	1	1000	6,6	385	60	10 kJ
10	2	250	7,0	364	59	10 kJ
11	2	500	**8,0**	**527**	60	10 kJ
12	2	750	7,5	476	60	10 kJ
13	2	1000	6,9	340	59	10 kJ
14	3	250	6,9	315	60	10 kJ
15	3	500	**8,2**	346	60	10 kJ
16	3	750	7,4	**431**	60	10 kJ
17	3	1000	6,9	319	59	10 kJ

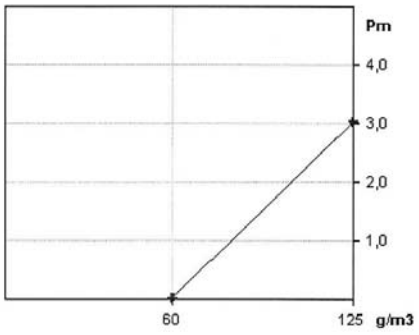


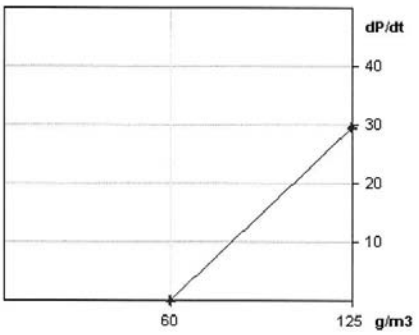
Dekra Exam - **Bassarab**

Produkt:	**Lignite coal, Code T / BVS 16162**
Auftraggeber:	Cukurova University Rectorate
Prüfgrund:	Tgb.-Nr. 16/11100 / SD-Nr. 180225977
Produktherkunft:	Eingang: 16.09.2016
Vorbereitung:	Anlieferungszustand
Medianwert:	

Explosionskenngrössen

Untere Explosionsgrenze: UEG = **60** g/m3 ± 10%





Staub: UEG **Lignite coal, Code T / BVS 16162**

Test	Serie	Konz. [g/m3]	Pm [bar]	dP/dt [bar/s]	tv eff [ms]	
2	1	125	**3,0**	**30**	59	2 kJ
3	1	60	,0	0	60	2 kJ
4	1	60	,0	0	60	2 kJ
5	1	60	,1	0	59	2 kJ