

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOLUNABİLİR OCAK TOZLARININ
SU SPREYLERİ İLE BASTIRILMASININ
MODELLENMESİ

Kutan KORUYAN

Eylül, 2006
İZMİR

**SOLUNABİLİR OCAK TOZLARININ
SU SPREYLERİ İLE BASTIRILMASININ
MODELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı**

Kutan KORUYAN

Eylül, 2006

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖĞRENCİ ADI, tarafından **DANIŞMANIN ADI VE ÜNVANI** yönetiminde hazırlanan “**TEZİN BAŞLIĞI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ercüment Yalçın

Danışman

Prof. Dr. Mehmet Polat

Doç. Dr. Erol Kaya

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Her bilimsel çalışmada olduğu gibi, özveri, sebat ve özgüven sonucunda ortaya konan eser, yazarın kendisine ait bir çalışma ürünüdür. Ancak, tezin araştırma konusunun belirlenmesinden, kaynakların taranması, araştırmaların yapılması ve sonuçta tarafımdan yazılmış olan bu tezin ortaya çıkmasına değin geçen süreçte öğretim üyelerimin büyük katkısı olmuştur.

Öncelikle tezimin her aşamasında bana verdiği destek ve değerlendirme önerileri nedeniyle Tez Danışmanım Prof. Dr. Ercüment Yalçın'a; tez kapsamında kullanılan modelin oluşturulmasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Mehmet Polat'a; kaynak taramasındaki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Erol Kaya'ya ve bana sağladığı huzurlu çalışma ortamı için aileme teşekkür ederim.

Kutan KORUYAN

MODELLING OF SUPPRESSING THE RESPIRABLE MINE DUST BY WATER SPRAYS

ABSTRACT

Mine dust is very important in mining industry. In underground mining operations, the mine dust problem needs to be solved for health reasons. Furthermore, there are lots of methods for suppressing dust; one of the widely used is spraying the mine dust with water.

In this thesis, relative motion of a dust particle and a water droplet is examined with a projected mathematical model. With this model, the trajectory of the droplet and the dust particle can be observed. The underground mine conditions and dust or droplet characteristics such as droplet and dust diameter, dust density and, dust and droplet charges have been modified and examined. In addition, for different conditions, how efficiently the droplets can suppress the dust is observed.

Keywords: Mine dust, water sprays, water spray droplets, mathematical modeling

SOLUNABİLİR OCAK TOZLARININ SU SPREYLERİ İLE BASTIRILMASININ MODELLENMESİ

ÖZ

Ocak tozları madencilikte çok önemli bir yere sahiptir. Yeraltı madenciliği çalışmalarında, toz sorunu insan sağlığına etkilerinden dolayı çözümlenmesi gereken bir sorun oluşturmaktadır. Bunun yanında, tozu bastırmak için birçok yöntem bulunmasının yanında, yaygın olarak kullanılan metotlardan biri de tozların su ile spreyleneşidir.

Bu tezde, toz tanesinin ve su damlasının kurulan bir matematiksel model ile bağıl hareketi incelenmiştir. Damla ve toz yörüngeleri bu model ile gösterilmeye çalışılmıştır. Madenlerin ortam koşulları, damla ve toz çapı, toz yoğunluğu ve toz ve damla yükleri gibi damla veya toz özellikleri değiştirilip incelenmiştir. İlaveten, farklı koşullar için damlaların nasıl bir verimlilikle tozları bastırabildiğı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ocak tozları, su spreyleri, su damlaları, matematiksel modelleme

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖZ.....	v
BİRİNCİ BÖLÜM – GİRİŞ.....	1
İKİNCİ BÖLÜM – OCAK TOZLARI.....	3
2.1 Tozun Tanımı.....	3
2.2 Tozun Sınıflandırılması.....	4
2.3 Tozun Özellikleri.....	5
2.3.1 Fiziksel Özellikler.....	5
2.3.1.1 Toz Tanesinin Büyüklüğü.....	6
2.3.1.2 Farklı Çaplardaki Toz Tanesinin Ağırlığı.....	6
2.3.1.3 Toz Tanelerinin Görülebilme Durumları.....	7
2.3.1.4 Toz Tanelerinin Havada Askıda Kalma Özelliği.....	8
2.3.1.5 Ocak İçeride Tozun Taşınması.....	9
2.3.1.6 Elektrostatik Yük.....	10
2.3.2 Kimyasal Özellikler.....	11
2.3.3 Tozun Aglomerat Halinde Oluşu.....	12
2.4 Toz Oluşumu.....	13
2.5 Tozun Ölçümü.....	18
2.6 Tozun Hareketi.....	19
2.6.1 Newton Kanununa Uygun Toz Hareketi.....	20
2.6.2 Stokes Kanununa Uygun Toz Hareketi.....	20
2.6.3 Brownian Hareketi	21
2.7 Tozun Zararları	22
2.7.1 Patlayıcı Tozlar	23
2.7.2 Tozun Meydana Getirdiği Hastalıklar	24

2.7.3 Tozun Zararlılığına Etkiyen Faktörler	25
2.7.3.1 Tane Büyüklüğü	25
2.7.3.2 Toz Tanelerinin Bileşimindeki Maddeler	27
2.7.3.3 Farklı Toz Cinslerinin Zararları	27
2.7.3.4 Toz Sınır Değeri	28
2.8 Tozla Mücadele	29
2.8.1 Yeraltında Tozla Mücadele Yöntemleri	29
2.8.1.1 Havalandırma	30
2.8.1.2 Köpük	31
2.8.1.3 Islatma Araçları	32
2.8.1.4 Toz Toplayıcılar	32
2.8.1.5 Su Spreyleri	33
2.8.1.5.1 Islatma	35
2.8.1.5.2 Yüksek Basıncılı Spreyler	35
2.8.1.5.3 Sprey Damlalarının Elektrikle Yüklenmesi	36
2.8.2 Tozla Mücadele Yöntemlerinin Karşılaştırılması	38
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM – HAVADA ASILI TOZ TANELERİNİN SUSPREYLERİ İLE BASTIRILMASININ MODELLEMESİ	39
3.1 Giriş	39
3.2 Matematiksel Model	39
3.3 Model Üzerinde Yapılan Çalışmalar	55
3.3.1 Damla Yarıçapı Değişimi	56
3.3.2 Tane Yarıçapı Değişimi	57
3.3.3 Hava Yoğunluğu Değişimi	57
3.3.4 Tane Yoğunluğu Değişimi	58
3.3.5 Yük Değişimi	59
3.3.6 Tüm Özelliklerin Birbiri İle Değişimi	60
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM – SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	74

EKLER	77
--------------------	----

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

İnsanlık tarihi kadar eski olan madencilik, günümüzde diğer sektörlerle göre daha yüksek oranda emek ve sermaye kullanma gereksinimi taşımaktadır. Aynı zamanda diğer sektörlerle hammadde sağlama özelliği nedeniyle, ekonomik açıdan büyük önem arz etmektedir.

Yeraltı kaynaklarının ekonomik değer şekline dönüşebilmesi, uzun ve zahmetli bir süreci gerektirmekte; bunun yanında madenlerin yeraltından çıkarılması ve daha sonra işlenmesi aşamalarında, başta işgücü faktörü olmak üzere kullanılan tüm ekonomik faktörler her zaman önemli riskler taşımaktadır.

Bu risklerin en önemlileri yeraltı ocaklarında meydana gelmekte ve bu risklerden biri de ocak tozlarının oluşumundan gelen olumsuzluklardır. Tozlar, yeraltında çalışan işçiler üzerinde önemli sağlık problemleri yaratabilmekte, işgücü kayıplarına ve verim düşmelerine neden olabilmektedir. Ayrıca, tozlar yeraltında kullanılan makine ve teçhizat üzerinde etki yaratarak, bunların kullanım ve ekonomik ömürleri üzerine olumsuz etki yapmaktadır.

Tüm bu olumsuzluklara neden olan tozlardan kaynaklanan zararların en iyi ve uygun teknolojiler kullanılarak minimize edilmesi ya da istenilen sınır değerlerinde tutulabilmesi mümkündür. Bunun için, olumsuzluklara neden olan tozların fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve ocak koşullarını dikkate alan önce kuramsal ve deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Bu konuda yapılan önemli çalışmalardan biri de ocak tozlarının su spreyleri ile bastırılması ile ilgili olarak yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalarda gösterilen havada asılı toz tanelerinin su spreyleri ile bastırılmasındaki temel yaklaşımın özü, su

damlalarının ve toz tanelerinin belirli özellikleri ve ortam koşullarına bağlı olduğudur.

Kuramsal nitelikteki bu çalışmalarda, belirli varsayımlar altında tozla mücadelede en iyi yaklaşımı ortaya koymak amaçlanmıştır. Kuramsal bazda ulaşılan modeller yardımıyla ulaşılan sonuçlar, pratikte test edilerek uygulanabilirliği kanıtlandıktan sonra en doğru sonucu vermektedir. Bu yüzden yaratılan modelin yanında, koşulların gerçek dünyada da aynı olması gerekmektedir. Bu çalışmadaki model, gerçek koşullara en uygun şekilde uygulanması için yaratılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

OCAK TOZLARI

2.1 Tozun Tanımı

İşçi sağlığı, çalışma ortamı koşulları ve emniyeti tehdit eden toz oluşumu madenciliğin önemli konularından biridir. Oluşan toz işçi sağlığına zarar verirken, iş verimini düşürüp maliyeti de arttırmaktadır. Bunun yanında, yeraltında çalışan makineler üzerinde de ciddi sorunlar yaratabilmektedir. Ocak havasına karışması ile patlayıcı özelliğe sahip olan kömür tozu ise, ileride istenmeyen büyük sorunlara yol açabilmektedir.

En genel anlamda tozun tanımı, Hurley ve diğer. (2004) tarafından şöyle yapılmıştır;

“Toz” terimi, konuşma dilinde genel bir anlamı ifade etmektedir. Kumaşlardan, eşyalardan, evcil hayvanlardan ve kendi derimizden oluşanlar; ayrıca madencilik ve kırma-öğütme gibi faaliyetlerden oluşan taneler ve kentsel yaşamda yanmayla oluşan duman, havada asılı veya çökmüş halde bulunmaktadır. Diğer bir deyişle toz; evsel faaliyetlerden, taşıt egzozlarından, fabrika bacalarından veya madencilik faaliyetlerinden dolayı oluşmaktadır (s. 1).

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 14.9.1990 tarih 20635 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan “Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik” kapsamındaki Madde 4'deki tozun tanımı şöyle yapılmıştır; “Maden ve taş ocaklarında ve tünel yapımında delme, kazma, lağım atma, doldurma, boşaltma, taşıma gibi işlemlerde işyeri havasına yayılan havada asılı olarak kalan kömür, maden filizleri ve kayaç parçacıkları”.

Yalçın ve Gürgen (1999) ise toz oluşumunu “Madencilikte hazırlık, üretim, doldurma, boşaltma, kırma, eleme ve nakliye çalışmaları sırasında cevher ve yan

taşın özelliklerine ilişkin toz oluşmaktadır” olarak belirtilmektedir (s. 91). Hartman, Muutmansky, Ramani, ve Wang (1997) ise, toz tanelerinin çapının 1 ila 100 µm arasında değiştiğini, fakat normal olarak 1–20 µm boyutta olduğunu belirtip, “Gerçek bir olgu olarak 1 µm’nin altındaki taneler sıklıkla oluşmamakta ve çoğunlukla 20 µm’nin üstündeki taneler nispeten çökelmektedir” cümleleriyle tanımlamıştır (s. 77). Önce ve Saraç (1986) ise, tozun, kaya ve cevher malzemesinin mekanik işlemler sonucu küçük parçacıklara ayrılmasıyla oluştuğunu söyleyerek, “Bu işlemlerin bünye yapısı ana maddesinin aynısı olan, mikroskop ile bile zor görülen küçüklükteki parçacıkların çıplak gözle görülebilen büyüklüğe kadar değişik boyutlarda tozun oluşmasına neden olurlar. Toz, genel anlamda çapı 1 mm.’den küçük hava içinde asılı kalabilen veya zamanla çökebilen parçacıklardır.” olarak tanımlamışlardır (s. 71).

2.2 Tozun Sınıflandırılması

Ocak havası içindeki tozlar, kazılan cevher, kömür veya yan taş özelliklerine göre çeşitlilik göstermektedir. Yalçın ve Gürgen’e (1999) göre, tozların sınıflandırılması fizyolojik etkilerine veya patlama özelliklerine göre şöyle yapılabilmektedir (s. 91);

1. Fibrojenik Tozlar (Solunum sistemine zararlı olanlar)

- Silis (Kuvars)
- Silikatlar (Asbest, talk, mika)
- Berilyum cevheri
- Kalay cevheri
- Bazı demir cevherleri
- Kömür (Antrasit, bitümlü kömür)

2. Kanserojen Tozlar

- Radyum
- Asbest
- Arsenik

3. Zehirli Tozlar (Organları, dokuyu, vb. zehirleyen tozlar)
 - Berilyum, arsenik, kurşun, uranyum, radyum, toryum, krom, vanadyum
4. Radyoaktif Tozlar (α ve β radyasyonu nedeniyle zararlı olanlar)
 - Uranyum, radyum ve toryum cevherleri
5. Patlayıcı Tozlar (Havada süspansiyon halinde iken yanabilirler)
 - Metalik tozlar (Magnezyum, alüminyum, çinko, kalay, demir)
 - Kömür (Bitümlü kömür ve linyit)
 - Piritli cevher
 - Organik tozlar
6. Az Zararlı Tozlar
 - Jips, kaolen, kalker

2.3 Tozun Özellikleri

Tozun özellikleri; fiziksel ve kimyasal özellikler olarak iki kısımda toplanmıştır. Bunun yanında, tozun aglomerat halde oluşu da önemli bir özelliktir.

2.3.1 Fiziksel Özellikler

Tozun fiziksel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- Toz tanesinin büyüklüğü
- Farklı çaplardaki toz tanesinin ağırlığı
- Toz tanelerinin görülebilme durumları
- Toz tanelerinin havada askıda kalma özelliği
- Ocak içeride tozun taşınması
- Elektrostatik yük

2.3.1.1 Toz Tanesinin Büyüklüğü

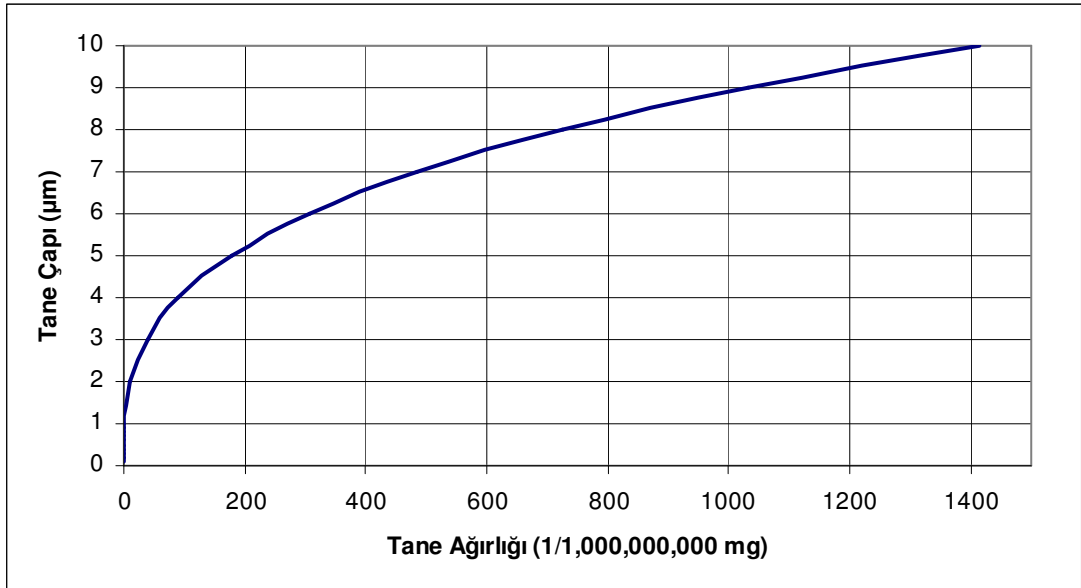
Toz taneleri çeşitli büyüklüklerde oluşmakta, çapları 1–100 μm arası değişmektedir. Taneler yarıçapları veya yoğunluğuna bağlı olarak havada asılı kalırlar ya da çökelirler.

Bunun yanında Yalçın ve Gürgen (1999) toz tanelerinin büyüklüğünün havada askıda kalmasına etkisini şöyle açıklamıştır;

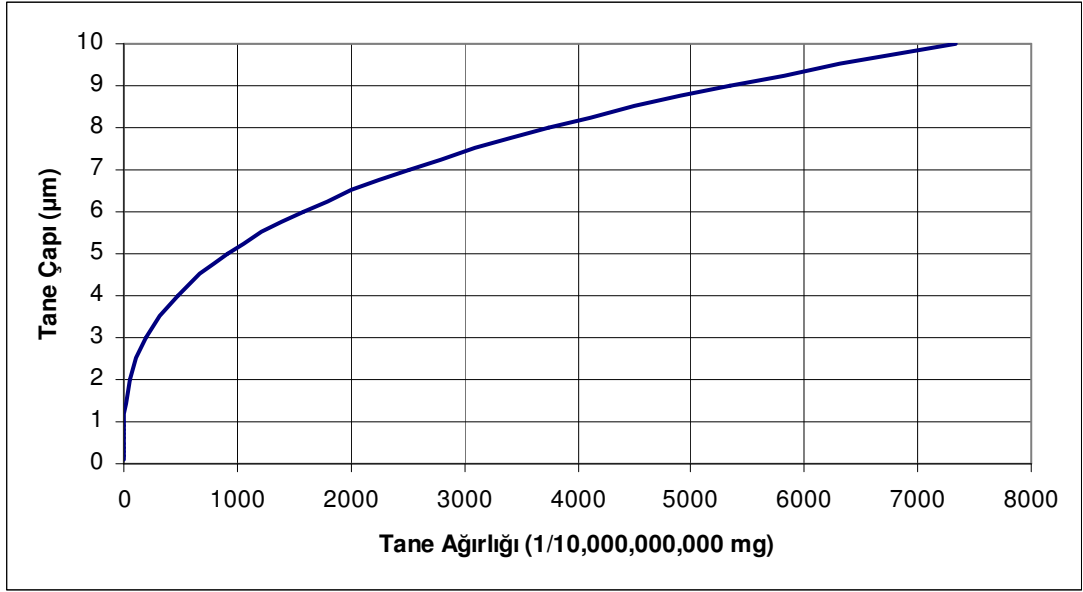
Büyük tanecikler ancak kuvvetli hava akımlarından ve patlamalardan dolayı oluşan şokla havaya karışır. Bunlar uzun süre askıda kalamazlar ve hava akımı ile uzağa taşınamazlar. Taşıma yolunun uzaklığı, toz taneciğinin şekli ve özgül ağırlığı ile hava hızı ve havanın girdaplanmasına bağlı olarak değişir (s. 97).

2.3.1.2 Farklı Çaplardaki Toz Tanesinin Ağırlığı

Tozun ağırlığı çapı ile orantılı şekilde artmaktadır. Şekil 2.1’de kuvars ve Şekil 2.2’de kömür taneleri için tane ağırlığı ve tane çapının nasıl değiştiği verilmektedir.



Şekil 2.1 Kuvars tanelerinin tane büyüklüğüne bağlı olarak tanecik ağırlığı (özgül ağırlık: 2,7 gr/cm^3) (Saltoğlu S. çev., 1970).



Şekil 2.2 Kömür tanelerinin tane büyüklüğüne bağlı olarak tanecik ağırlığı (özgül ağırlık: 1,4 gr/cm³) (Saltoğlu S. çev., 1970).

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'den kolaylıkla görüleceği üzere, tane çapı artarken tane ağırlığı da artmaktadır. Fakat bu doğrusal bir artış olmamaktadır.

Çok küçük tanelerin ağırlıkları da çok azdır. Örneğin, Saltoğlu S. (çev., 1970) 'ye göre, kuvars taneleri için 1 µm çapındaki 707353648,6 tanecik 1 mg ağırlığında olduğunu belirtmiştir (s. 43).

2.3.1.3 Toz Tanelerinin Görülebilme Durumları

Saltoğlu S. (çev., 1970), "Gün ışığında ve bilhassa kuvvetli bir ışık huzmesinde farklı renkteki bir fonda 10 µm büyüklüğündeki toz tanecikleri görülebilmektedir. Işıklandırılması hiçbir zaman tam olamayan kuyularda ise, 100 µm büyüklükteki tanecikler dahi görülemez" olarak toz tanelerinin görülebilme durumlarını ışık ve tane iriliğine bağlamıştır (s. 43).

Bununla beraber, yeraltı ocakları gibi ışığın çok fazla olmadığı ortamlarda insan sağlığına zararlı ince tozların görülememesi ve fark edilememesi ocak havasının kirli

olabileceğini göstermektedir ve bu görülememe durumu için belirli aralıklarda doğru bir şekilde toz ölçümleri yapılması gerekmektedir.

2.3.1.4 Toz Tanelerinin Havada Askıda Kalma Özelliği

Toz taneleri oluşma şekli ve kendi özelliklerine göre farklı tane büyüklüklerinde dağılım göstermektedir. 5–20 μm çapın üstündeki taneler çökmekte, bunun altındakiler ise havada asılı kalmaktadır. Saltoğlu S. (çev., 1970), toz tanelerinin havada kalma zamanını, “Tozun büyüklüğüne, özgül ağırlığına, şekline, hava basıncına ve havanın nemine” bağlı olduğunu belirtmiştir (s. 47). Bunun yanında, tozların havada asılı halde bulunmaları havanın sıcaklığına, hava akış hızına bağlı olarak da değişmektedir.

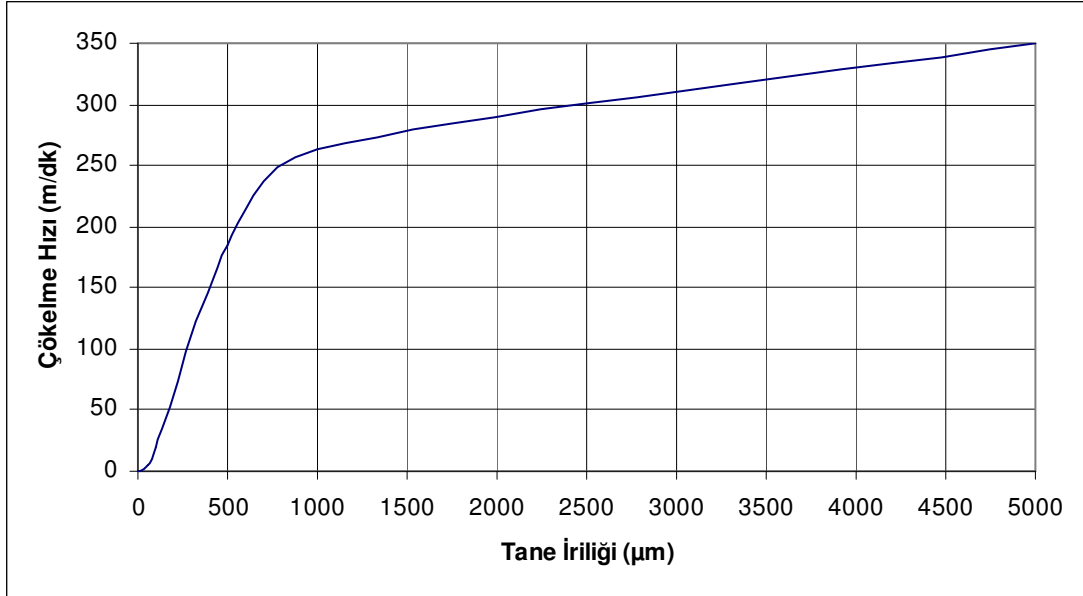
Polat, Chander ve Hogg (1990) ise 10 μm 'nin altında kalan havada asılı toz tanelerini solunabilir olduğunu söyleyerek, bu tanelerin çok uzun bir süre havada çökelmeyeceğini ve sonuç olarak işçiler tarafından teneffüs edilip, tozların insan sağlığı için zararlı olacağını belirtmişlerdir (s. 267).

Skochinsky ve Komarov'un 1969'da yaptığı çalışma bunu doğrulamaktadır. Özgül ağırlığı ve şekli aynı olan değişik çaplı toz tanelerinin 1 m yükseklikten yere düşene kadar geçen zaman araştırılmıştır. Tablo 2.1'den görüldüğü gibi 1 ve 1 mikrondan küçük toz taneleri havada uzun süre kalabilmektedir. Bu nedenle de bu tür tozlara havada asılı toz taneleri denmektedir.

Tablo 2.1 Değişik çaplı tozların 1 m. düşmesi için gerekli zaman. (Skochinsky ve Komarov, 1969)

Çap (mikron)	Tozun 1 m düşmesi için gerekli geçen süre
100	1,3 sn
10	2,2 dak
5	9 dak
1	3 saat
0,5	11 saat
0,2	46 saat

Lawrie'nin (1967) yaptığı bir çalışmada tane iriliği ve çökeltme hızı arasındaki ilişki verilerinden oluşturulan grafik Şekil 2.3'de verilmektedir.



Şekil 2.3 Tane çapı ve çökeltme hızı ilişkisi (Lawrie, 1967)

Şekilden görüleceği gibi, 500–1000 mikron aralığından sonra çökeltme hızlarının artışı tane iriliği arttıkça azalmaktadır.

2.3.1.5 Ocak İçerisinde Tozun Taşınması

Toz taneleri ocak içinde hava akımı olduğunda hemen çökmezler ve ileri taşınırlar. Bu ileri taşınma uzaklığı tanenin yüksekliğine, özgül ağırlığına, tane büyüklüğüne ve hava yoğunluğuna bağlıdır. Saltoğlu S. (çev., 1970); “10 µm büyüklüğündeki taneciğin hava akımı tarafından birkaç yüz metre uzaklığa, 1 µm büyüklüğündeki parçaların 10 km.’den daha uzağa ve bundan daha küçük olanların ise çok daha fazla uzaklığa taşınabildiği gösterilmiştir” (s. 52).

Saltoğlu S.’nin (çev., 1970) bu anlatımına göre tane iriliği azaldıkça tozun havada asılı kalma süresi artmakta ve böylece ocak içerisinde bir hava akımı olduğunda tozun taşınma mesafesi de böylece artmaktadır.

2.3.1.6 Elektrostatik Yük

Tozlar oluştuktan sonra ve havada asılı halde kalmaları durumunda hemen hemen tüm toz tanelerinin uzun zamandan beri önemli bir değerde elektrostatik yüklü oldukları bilinmektedir.

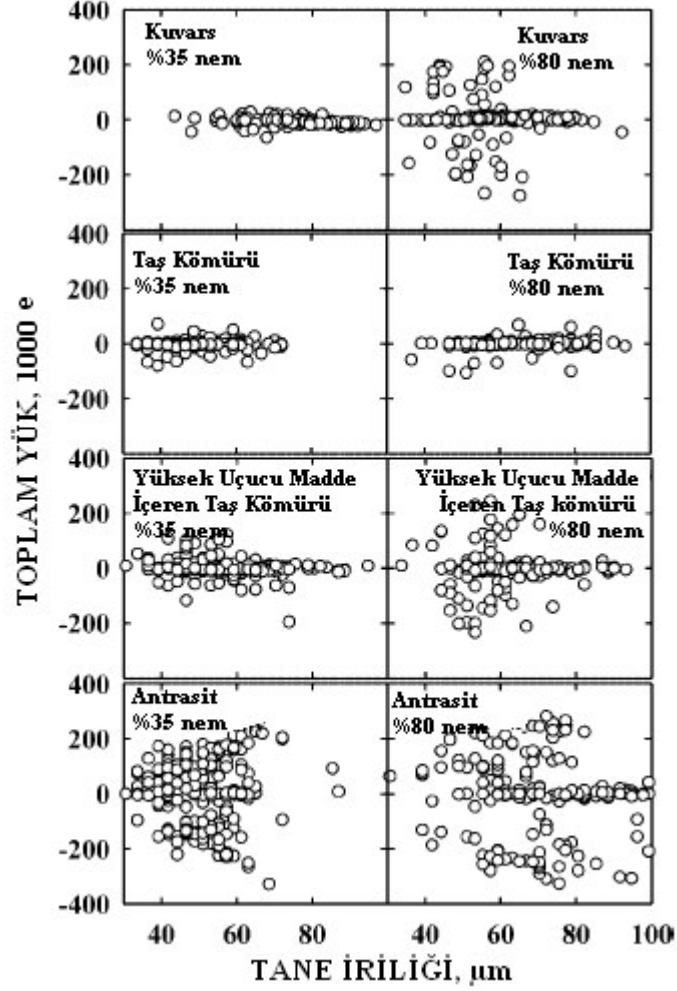
Saltoğlu S.'ye (çev., 1970) göre, tozların elektrostatik yükleri şöyle özetlenmiştir;

Yükleme mekanizması malzemenin parçalanması ile doğrudan ilgilidir, yani elektrostatik güç ... [s]erbest kalmaktadır. Bütün toz taneleri yüklerini çevresindeki havanın iyonlarını almasından dolayı derhal ve yavaş olarak kaybederler. Yükü boşalmış olan tozlar bu suretle tekrar yüklenirler, diğerleri yüklerini kaybederler; öbürleri tekrar elektrostatik yüklenirler. Bu sonradan olan yük boşalması ve tekrar yüklenme, tozun mineralojik bileşimine, tane büyüklüğüne, rölatif neme, hava hızına ve diğer faktörlere bağlıdır (s. 54).

Polat M., Polat H., Chander ve Hogg'un (2002) kuvars, antrasit, taş kömürü ve yüksek uçucu madde içeren taş kömürü ile yaptığı bir çalışmada tane yüklerinin pozitif ve negatif yüklü oldukları gösterilmiş ve farklı tane iriliklerinde ve farklı nemlerde nasıl dağılım gösterdiklerini ifade edilmiştir (Şekil 2.4).

Polat ve diğer.'e (2002) göre, "ölçülen elektrostatik yükler havanın neminin bir fonksiyonudur". Bu bağlamda, Şekil 2.4'den görüleceği üzere, dört farklı malzemede yapılan deneylerde nemler farklı olunca yük dağılımları da farklılaşmıştır. Örneğin %35 nemde kuvars tanelerinin çoğu nötr değer alırken %80 nemde tanelerin birçoğu hemen hemen eşit oranda pozitif ve negatif yüklenmektedir. Taş kömürü ile yapılan deneyde nem farklı olsa bile çoğu tane nötr değere yaklaşmıştır. Yüksek uçucu madde içeren taş kömüründe, %35 nemde nötr değere yaklaşan taneler %80'lik nemde kuvars taneleri gibi davranmış ve tanelerin bazıları pozitif ve negatif değerler almıştır. Antresitte ise %35 nemde taneler 60 ila 80 mikrona kadar olan bölüme kadar yoğunlaşmış, %80 nemde ise 100 mikrona kadar olan tüm taneler pozitif ve

negatif yüklü şekilde bir dağılım göstermişlerdir. Bunun yanında, tanelerin hemen hemen tümünün yükü 400'ü (1000 e) geçememiştir.



Şekil 2.4 Kuvars, antrasit, yüksek uçucu madde içeren taş kömürü ve taş kömüründeki elektrostatik yükler (Polat ve diğer., 2002).

2.3.2 Kimyasal Özellikler

Kömür tozu 50'den fazla maddeden meydana gelmektedir. Mineral içeriği tozun tane iriliğine ve kömür damarına bağlı olmaktadır.

Workplace Health and Safety'ye (2004) göre, "Genel olarak kömür tozlarından bulunan mineraller kaolin, illit, kalsit, pirit ve kuvarstır (silika). Düşük kömürleşme

derecesi olan kömürlere göre yüksek kömürleşme derecesi olan kömürler daha fazla silika parçacığına sahiptir” olarak kömür tozunun kimyasal özelliklerini belirtmiştir.

Yalçın ve Gürgen (1999) ise, tozun kimyasal yapısının işçi sağlığına etkisini şöyle belirtmiştir;

Parçalanmış malzemenin yapısına uygun olarak tozun kimyasal yapısı değişir. Genel olarak asidik, bazik veya nötr bir cisimden oluşabilirler veya oksijenle, klorla, havayla, nemle karşılaştıklarında böyle bir ortam oluşturabilirler. İnsan organizmasına giren inert veya biyolojik olarak aktif olabilirler. Kimyasal özelliklerinden dolayı zehirli, alerjik veya fibrohalastik (doku büyümesi) etki gösterirler. Tozun kimyasal yapısı, özellikle meslek hastalıkları bakımından önem taşır. Serbest silika veya silikat tozları alveollerde genellikle fibroz oluşturur. Amorf silika fibroza neden olmayıp, inert reaksiyonlara yol açar. Asbest ve talk fazla silika içerir. Kobalt, vanadyum tozları akciğer enfeksiyonlarına sebep olur (s. 99).

2.3.3 Tozun Aglomerat Halinde Oluşu

Tanelerin aglomerat halinde oluşu basınç ve sıcaklığa bağlı olarak, çok küçük tanelerin daha büyük kütlelerde birleşmesidir. Toz oluşumunda tanelerin aglomeratlar halinde olması önemlidir. Polat ve diğer.’e (1990) göre “Aglomerasyon miktarı tozun tane fraksiyonunda, -aslında tozun havada asılı olmasında- önemli bir rol oynamaktadır” (s. 267). Bunun yanında, küçük taneler ne kadar aglomerat halde olurlarsa, o kadar tane irilikleri artacaktır.

Bunun yanında, Kaya ve Hogg’a (1992) göre “toz tanelerinin aglomerasyonunun;

- Çökeltme gibi “doğal yolla” tozun azaltılması
- Toz kontrolü için su spreyleri, vs’nin kullanımı
- Akciğerde depolanma özellikleri

üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Ayrıca, aglomeratların varlığı tozun toksik etkisini etkilemektedir” (s. 259). Yine Kaya ve Hogg’un (1992) yaptıkları aynı çalışmada açıkça yeraltı kömür madenlerinde havada asılı olan tozların aglomerat halinde olduğu gösterilmiştir. Bunun yanında, “Aglomerasyonun miktarı madenden madene ve aynı madende bir konumdan diğerine farklılıklar göstermiştir” (s. 266). Ayrıca, Kaya ve Hogg’un (1992) yaptıkları çalışmada aglomerat halinde olan tozların tane iriliklerinin ölçülen değerlerinin farklı olduğu belirtilmiştir.

2.4 Toz Oluşumu

Yeryüzünün her yerinde toz oluşumu ve tozun varlığı muhtemeldir. Sokaklarda, atölyelerde, fabrikalarda, madenlerde devamlı bir toz varlığı her zaman vardır. Fakat tozun oluşunun fazlılığı toz oluşturacak eylemlere göre değişmektedir. Saltoğlu S.’ye (çev., 1970) göre, açık havada $0,02 \text{ mg/m}^3$ toz bulunurken, metrolarda $2-8 \text{ mg/m}^3$ toz bulunmaktadır. Tozun fazla oluşacağı yerlerde, örneğin çimento fabrikalarında 1200 mg/m^3 , kırma tesislerinde ise 6700 mg/m^3 toz oluşum değerleri elde edilmiştir (s. 26).

Yalçın ve Gürgen (1999) madenlerdeki toz oluşumunu;

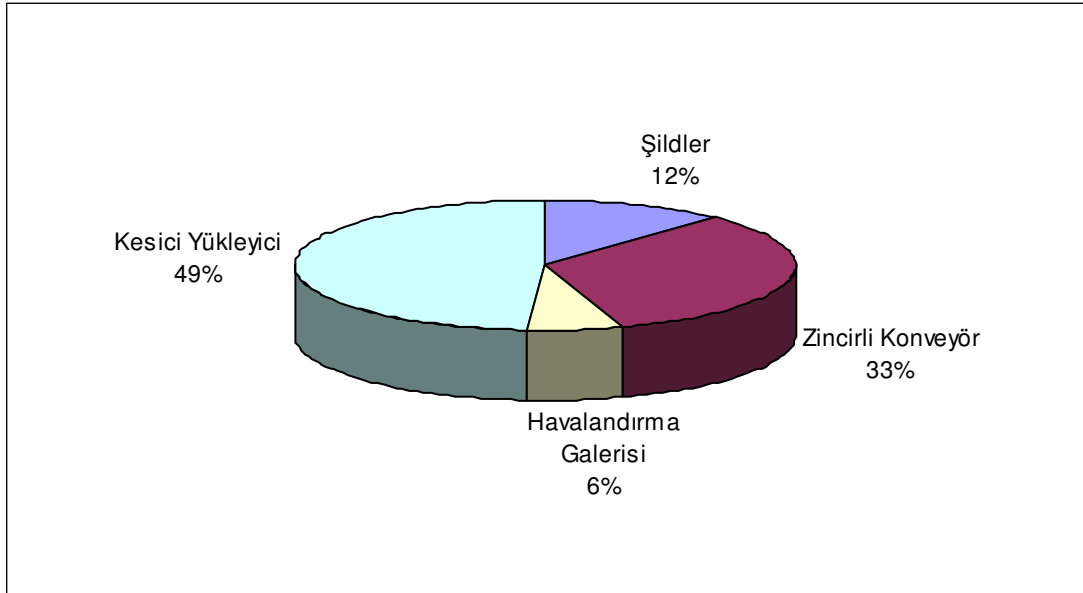
Yeraltı ocaklarında tozun büyük bir kısmı, madenlerin mekanik işlemler sonucu küçük parçacıklar haline dönüşmesiyle, çok az bir kısmı ise madenin havalandırılması sırasında tozun ocak içerisine taşınması ile oluşur. Kömür tozu ise nemi az olan, yüksek basınç altında bulunan parçalanmaya uygun yüksek kalorili tabakaların işletilmesi sonucu oluşur (s. 94).

Ek olarak Yalçın ve Gürgen (1999), “Yeraltı ocaklarında toz özellikle kuru, gevşek ve parçalanmaya uygun olan yumuşak maden yataklarında oluşur” şeklinde belirterek toz kaynaklarını da şu şekilde sıralamışlardır (s. 95):

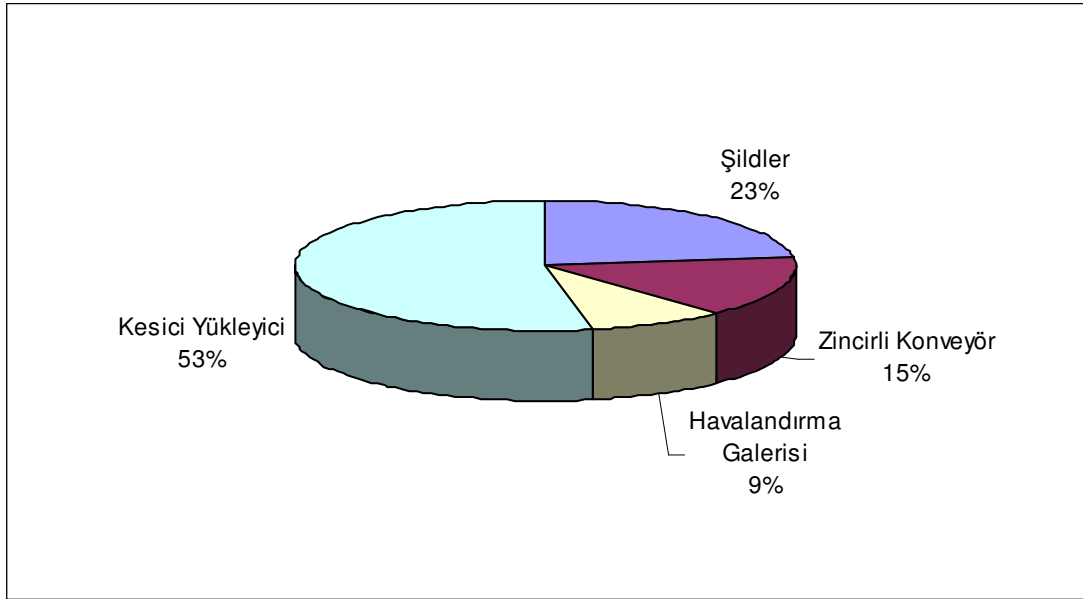
- Delik delme
- Patlayıcı madde kullanımı

- Patlatma sonrası taban temizliği
- Üretim çalışmaları (Çeşitli tipte kazı makineleri ile çalışma)
- Kırma
- Dolgu işlemleri
- Nakliyat
- Malzemelerin doldurup, boşaltılması
- Galerilerde yürüme
- Göçükler
- Kömür tozu patlamalarına karşı işyerinin taş tozu ile tozlanması
- Cevher aynasının ve topukların arazi basıncı ile parçalanması
- Galeri kesitinin genişletilmesi
- Tahkimat işleri
- Kuyuda skip veya kafes ile nakliyat

Colinet ve Jankowski'nin (1997) yaptığı bir araştırmada 80'li (Şekil 2.5) ve 90'lı (Şekil 2.6) yıllarda madenlerde oluşan toz kaynaklarının yüzdeleri verilmektedir;



Şekil 2.5 1980'lerde maden ocaklarındaki toz kaynakları (Colinet ve Jankowski, 1997)



Şekil 2.6 1990’larda maden ocaklarındaki toz kaynakları (Colinet ve Jankowski, 1997)

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’ dan görüleceği üzere zincirli konveyör nakliyatından ötürü oluşan tozların yüzdesi önceki yıllara göre azaltılmıştır. Fakat bunun yanında kesici yükleyici, şildler ve havalandırma galerilerinde bulunan toz kaynakları artmış ve en fazla artış da şildlerde görülmüştür.

Hartman ve diğer.’e (1997) göre, “Toz kaynakları, kullanılan madencilik sistemine göre farklılıkları ile çeşitlilik göstermektedir” (s. 111). Hartman ve diğer.’in (1997) toz oluşumları için uzun ayak ve kesintisiz kazı yöntemleri üzerine oluşturduğu çalışmalar, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’de verilmiştir. Bir madencilik operasyonun parçalama işlemi yapıp tozu oluşturması (kazı, delik delme, kırma, vs) birincil toz kaynağı; eğer toz oluşup çökeldikten sonra tekrar açığa çıkarsa ikincil toz kaynağı denmektedir. Aynı şekilde metal madenleri ve diğer madenler için çalışmalar ise Tablo 2.4’de verilmektedir. Tabloda (+) işareti esas kaynak, (-) işareti önemsiz kaynak, (0) ise ihmal edilebilir kaynaktır.

Tablo 2.2 Uzunayak yöntemi için madencilik çalışma veya ekipmanlarının ne derecede toz oluşturdukları. (Hartman ve diğer., 1997)

Çalışma/Techizat	Birincil Kaynak	İkincil Kaynak
Kesici/Saban	+	+
Zincirli Konveyör/Kırıcı	+	-
Tavan Tahkimatı	-	0
Bantlı Konveyör	0	-
Kuyuya (veya panodan ocak ağzına) doğru olan ekipman	0	-

Tablo 2.3 Kesintisiz kazı yöntemi için madencilik çalışma veya ekipmanlarının ne derecede toz oluşturdukları (Hartman ve diğer., 1997)

Çalışma/Techizat	Birincil Kaynak	İkincil Kaynak
Kesintisiz Kazıcı	+	-
Tavan Cıvatası	+	+
Mekik Arabası	0	+
Besleyici-Kazıcı	-	-
Bantlı Konveyör	0	-
Kuyuya (veya panodan ocak ağzına) doğru olan ekipman	0	-

Tablo 2.4 Metal ve diğer madenler için madencilik çalışma veya ekipmanlarının ne derecede toz oluşturdukları (Hartman ve diğer., 1997)

Çalışma/Techizat	Birincil Kaynak	İkincil Kaynak
Patlatma	+	+
Kesme, Kesintisiz Kazı	+	-
Delme, Tavan Cıvatası Tahkimatı	+	0
Küreklenme, Yükleme	-	+
Skreyperle Yapılan Nakliyat, Yükleme	-	+
Çekme Oluğu	-	+
Yükleme Skipi	-	+
Kırma	+	-
Bantlı Nakliyat, Boşaltma	0	-
Nakliyat	0	-
Ağaç Tahkimat Kurulması	0	-
Arkadan Göçertme	0	-

Yeraltı kazı ve üretim işleri sırasında galeri açma makineleri ve tamburlu kesici yükleyici gibi makinelerin oldukça fazla toz ürettikleri bilinmektedir. Fazla toz oluşumunu önlemek için üretime başlamadan önce kesici makinenin seçimine özen gösterilmelidir. Hekimoğlu, Tiryaki ve Ayhan (2001) bu yüzden, “Kayaç ve kömürler mekanik yolla kesilirken, solunabilir toz ve ince tanelerin önemli bir kısmı materyalin parçalanmasından çok öğütülmesi sırasında oluşmaktadır” gibi bir görüş dile getirmişlerdir. Bunun yanında, kesici makinenin “yüksek kesme derinliğinde iri taneler oluşurken, ... [s]ıg kesme derinliğinde ... [t]oz ve ince parça üretip, öğütme gibi verimsiz bir işlem olmaktadır” (s. 163).

Ayrıca Ediz, Yuvka, Beyhan ve Çolpan (2001) toz oluşturan ana kaynakları “Mekanize kazıda kesici tamburlar ve arka kömürün alınması” olarak belirtmiştir (s. 169).

Bu faktörlere ek olarak Yalçın ve Gürgen (1999) toz konsantrasyonunu etkileyen daha başka faktörleri şöyle açıklamıştır (s. 96):

- İşyeri Konsantrasyonu: Az sayıdaki işyerine karşılık fazla miktarda üretim planlandığından, bu şekilde çalışılan işyerlerinde sınırlı bir ortamdaki toz miktarı, geniş bir alana yayılan dağılmış işyerlerindeki toz miktarından daha fazladır.
- Taş veya Mineral Cinsi: Mineral ve taşlar, elastik ve plastik özelliklere sahip ise az miktarda toz oluşturur.
- Damar Kalınlığı: İnce damarların üretiminde havadaki toz konsantrasyonu, kalın damarlardakine göre daha fazla olmaktadır.
- Damar Eğimi: Eğimi fazla olan damarların üretiminde, eğimi az olan damarlara göre daha fazla toz oluşmaktadır. Dik damarlarda kazılan kömür, tabanda kendiliğinden kayar. Genellikle yüksekte düşer ve fazla miktarda toz oluşur.
- Yantaş: Yumuşak ve plastik kayaçlar arasında bulunan kömür damarları veya maden yataklarında oluşan toz, tavanı kumtaşı, konglomera veya kuvars içeren kayaçlara göre daha az olmaktadır.

- Havalandırma: Fazla metan içeren ocaklarda havalandırmanın etkisi çok açık bir şekilde görülmektedir. Buradaki metan oranını güvenli miktara indirmek için fazla hava verilmekte ve bu nedenle toz miktarı da azalmış olmaktadır.
- Kömürleşme Derecesi: Toz en çok antrasit ve buna benzer kömür damarlarında oluşmaktadır. Kömür ne kadar genç ve kömürleşme derecesi ne kadar az ise, su miktarı o kadar fazla, kırılması da o kadar az olur. Belirli bir dereceye kadar plastik olup, bundan dolayı sert ve kolay kırılan antrasit kömürlerine göre daha az toz oluşur.

2.5 Tozun Ölçümü

Madencilik açısından büyük bir sorun olan toz ölçümü, işçi sağlığı, iş güvenliği ve çalışılan makineler açısından çok önemlidir. Tozun havada ne miktarda bulunduğu, tozun tane iriliği ve bileşimi ocak içinden alınan numuneler yardımı ile laboratuarda tayin edilir. Ölçümler ocak içinde işçinin baş seviyesinde yapılır.

Yalçın ve Gürgen'e (1999) göre toz ölçümünde kullanılan aletler iki prensipte çalışır (s. 100):

- **Tartım**: Belirli bir hava miktarındaki toplam toz ayrılarak tartılır ve mg/m^3 cinsinden hesaplanır. İri tanelerin etkisi önemlidir ve dolayısıyla büyük hatalar doğabilir. Bu durumu önlemek için daha başlangıçta 5 mikrondan küçük taneler ayrılır ve tartım yapılır.
- **Sayma**: Bir cam levha üzerinde toplanan toz ayrılır ve 5 mikrondan küçük olanlar sayılarak tane/cm^3 cinsinden hesaplanır.

Hartman ve diğer.'nin (1997) önceden yapılmış çalışmaları modifiye ederek çıkardıkları toz ölçüm aletleri listesi Tablo 2.5'de verilmektedir (s. 103).

Tablo 2.5 Toz ölçüm aletleri (Hartman ve diğer., 1997)

Tip	Toplama Prensibi	Madencilik Uygulamalarıyla Örnekler
Şlam Ayırıcı (Elutriators)	Büyük parçalardan küçük parçalara gravitasyonel ayırma	- Hexhlet yatay şlam ayırıcı - MRE gravimetrik toz örnekleycisi
Siklon Toz Tutucu (Cyclones)	Büyük parçalardan küçük parçalara merkezkaç kuvveti ile ayırma	- Dorr-Oliver 10 mm siklon toz tutucu
Havadaki tanelerin boyut dağılımını ölçen cihaz (Impactors)	Katı bir yüzeye dökülen tanelerin çarpması	- Anderson/Marple Model 298 çok aşamalı impactor - MOUDI (microorifice uniform deposit impactor) (mikro ağızlı düzenli tortu impactor'u)
Impinger	Tanelerin sıvıya çarpması	- Greenburg-Smith impinger'i - Cüce impinger
Filtre	İçten çarpma (impaction), durdurma, difüzyon, elektrostatik, çekme ve gravimetrik kuvvetlerin kombinasyonu	- Fiber filtreler Selüloz Cam - Kağıt - Zar Miligözenek (millipore) Nuclegözenek (nuclepore) Gümüş Polivinil klorür
Elektrostatik Presipitatör	Farklı kutupların elektrodu üzerinde tanelerin toplanmasının elektriksel yükü	Madenlerde seyrek kullanılmaktadır
Isısal	Tanenin ısısal değişimdeki soğuk yüzeye doğru hareketi	Madenlerde seyrek kullanılmaktadır

2.6 Tozun Hareketi

McPherson (bt.) toz tanelerinin hareketini “Aktif bir madenin havalandırma sistemindeki çok geniş tane iriliği aralığındaki toz tanelerinin bulunması tanelerin davranışlarını etkileyen ayrı olağandışı çeşitlilikle sonuçlanmaktadır. Küçük taneler

çoğunlukla gaz gibi davranış gösterip meloküler kuvvetlere tepki gösterirken, iri taneler aslında yerçekimsel etkiler tarafından etkilenmektedir” olarak açıklamaktadır.

Tozların hareketi tane iriliklerine göre üç sınıfta toplanabilmektedir.

- Newton kanununa uygun toz hareketi
- Stokes kanununa uygun toz hareketi
- Brownian hareketi

2.6.1 Newton Kanununa Uygun Toz Hareketi

Çapı 2000 mikrondan büyük olan tozlar durgun havada gittikçe artan bir hızla yere doğru hareket eder, yani yerçekimi kuvveti ile serbest düşme yapar ve hız aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$u_t = \sqrt{\frac{6R_p(\rho_p - \rho_m)}{\rho_m}}$$

Burada;

u_t : Terminal hız

R_p : Tane yarıçapı

ρ_p : Tane yoğunluğu

ρ_m : Havanın yoğunluğu 'dur.

2.6.2 Stokes Kanununa Uygun Toz Hareketi

Hartman ve diğer. (1997) Stokes kanunu şöyle anlatmıştır;

Stokes kanunu, 1 mikrondan büyük taneler için, durgun akışkan içinde ve Reynolds sayısının 1'den küçük olması durumunda çökme hızlarını belirlemek

için kullanılır. Çökme hızı çökelen küresel tane üzerindeki sürtünme kuvveti ve yerçekimsel kuvvetin eşitlenmesi ile belirlenir. Bu, %10'dan az hata ile bir tahmini çökme hızını verir ve çoğu toz çökme hesaplarında yeterli olmaktadır (s. 81).

Önce ve Saraç (1986) buna ek olarak, yerçekimi ve sürtünme kuvvetinin eşit olduğundan dolayı toz tanelerinin çökmesi sırasında “herhangi bir hız artışı olmadığını” yani terminal hızın sabit olduğunu belirtmiştir (s. 76).

Ayrıca, Stokes konunu belirli tane iriliklerinde ve Stokes direncinin bir akışkan içinde düşük hızlarda hareket eden küresel taneler için veya 50 mikrondan küçük tanelerin terminal hızları için doğru olduğu saptanmıştır (Koruyan, 2002a).

Böylece, Stokes kanununa göre terminal hız;

$$u_t = \frac{2R_p^2 g (\rho_p - \rho_m)}{9\mu}$$

Burada;

u_t : Terminal hız

R_p : Tane yarıçapı

g : Yerçekimi ivmesi

ρ_p : Tane yoğunluğu

ρ_m : Havanın yoğunluğu

μ : Havanın viskozitesi

olarak verilir.

2.6.3 Brownian Hareketi

Önce ve Saraç (1986) Brownian hareketini şöyle açıklamıştır;

0,1 mikronun altındaki tanecikler asla yere düşmezler. Gaz molekülleri gibi Brownian hareketi olarak isimlendirilen her doğrultudaki zik zak hareketini yaparlar. Bu hareket kesintisiz olup muntazam değildir. Gaz molekülleri toz parçalarına çarparak bunların da harekete iştirakini sağlamış olurlar. Toz parçalarının hareketi, taneciğin büyüklüğüne, ortamın sıcaklığına, toz konsantrasyonuna ve ortamın gaz yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Tanecik küçüldükçe, ortamın sıcaklığı ve toz konsantrasyonu arttıkça Brownian hareketi fazlalaşır. Yine gaz yoğunluğu arttıkça toz taneciği ve gaz molekülü arasındaki çarpışma olasılığı artar (s. 76).

Hartman ve diğer. (1997) yukarıdaki açıklamaya ek olarak “tane ve gazların karışımını difüzyon” olarak belirterek, katı yüzeyler üzerine aglomerasyon yoluyla veya çarpışma ile taneleri toplandığını belirtmiştir (s. 78).

2.7 Tozun Zararları

Madencilik eski çağlardan beri bilinen ve her zaman tehlikesi var olabilecek bir çalışmalar topluluğudur. Eski dönemlerdeki madenlerde bugünkü anlamda güvenlik önlemleri ile havalandırma ve toz kontrolü gibi uygulamalar söz konusu olmadığı için madenciler uygun olmayan sağlıksız koşullarda çalışmışlar ve bunun sonucu olarak da çoğu kez hastalanmış ve kazaya uğramışlardır. XV, XVI ve XVII’inci yüzyıllarda Avrupa’nın değişik bölgelerindeki madenlerde çalışanlar arasında çeşitli akciğer hastalıklarının sık görüldüğünü gösteren kayıtlar bulunmaktadır.

Birçok madenci potansiyel olarak havada asılı toz tanelerini teneffüs etme tehlikesi ile karşı karşıya bulunmaktadır. Asıl önemli olan havadaki toz konsantrasyonu ve havada ne kadar zaman kaldığıdır.

Bunun yanında Önce ve Saraç (1986) tarafından tozun diğer sakıncalı yanları “görüş mesafesini azaltır, gözleri tahriş eder, çalışanları psikolojik olarak etkileyerek, çalışma verimini düşürür” ve ayrıca, “Ocaktaki makine ve diğer donanımlar

üzerindeki biriken tozlar da bunların iç verimini ve amortisman süresini düşürmektedir” olarak belirtmişlerdir (s. 73).

“Çalışma ortamında var olan toz işçi sağlığında olası bir tehlike oluşturur. Bu tehlike çoğunlukla nefes alıp vermeden ve akciğerlerde teneffüs edilebilen toz tanelerinin burada kalması ile ortaya çıkar. Toz taneleri akciğere tutunarak sonunda akciğer fonksiyonlarını yok eder” (Chander, Alaboyun ve Aplan; 1991) (s. 193).

Ayrıca kömür tozlarının patlayıcı özelliği bulunmaktadır. Belirli konsantrasyonlarda patlayıcı özelliği olan bu toz için sık sık ölçüm yapılmalı ve sınır değerlerin altında olmasına dikkat edilmelidir.

2.7.1 Patlayıcı Tozlar

Hartman ve diğer. (1997), patlayıcı tozları şöyle açıklamıştır;

Birçok organik ve metalik toz, eğer yüksek konsantrasyonlu havada askıda kalırlarsa patlayıcı olmaktadır. Havada dağılmış halde bulunan toz taneleri geniş bir yüzey alanına sahip olup, potansiyel olarak güçlü bir kimyasal reaksiyonla sonuçlanarak, taneler hızla okside olur ve yanma olayı tetiklenir. Tozun yanması, bir nokta kaynak (açık ateş, elektrik arkı, patlayıcı deşarjı veya metanın yanması) veya tozun kritik sıcaklığın yukarısında yanmasından dolayı oluşan kendiliğinden yanma ile oluşur. Nokta kaynaklara madencilikte çok rastlanır ve kömür madenlerindeki toz patlamalarına karşı çok iyi kontrol edilmesi gerekmektedir (s. 95).

Yeraltı madenciliğinde toz patlamalarından en önemlisi kömür tozu patlamalarıdır. Bu nedenle kömür tozu ölçümlerinin iyi yapılması, tozun ortamdan uzaklaştırılması ve toz oluşabilecek yerlerde yanmalara karşı önlem alınması gerekmektedir.

2.7.2 Tozun Meydana Getirdiği Hastalıklar

Hartman ve diğer. (1997), solunumla ilgili rahatsızlık ve hastalıkları şöyle özetlemiştir: “Maden içindeki tozlardan ortaya çıkan fiziksel rahatsızlıklar; tozlarla akciğerlerin aşırı yüklenmesine bağlı olarak solunum sisteminin basit olarak tahriş olmasından solunum fonksiyonunun tam çalışmaması sonucu ölüm veya kansere kadar gidebilmektedir” (s. 89). Bunun yanında, “Madencilerde görülen akciğerin işlevsiz hale gelmesinin en genel şekli pnömokonyozdur... [P]nömokonyoz genel bir terimdir. Bunun yanında, spesifik materyallerden dolayı oluşan hastalıklar, belirli isimlerin o hastalıkla ilişkilendirilmeleriyle adlandırılırlar” (Merchant, 1986). “Pnömokonyoz, akciğerlerde tozun birikmesi ve tozun varlığından dolayı dokuların reaksiyonudur” (World Health Organization [WHO], 1999, s. 22).

Pnömokonyoz “pneumon – akciğer” ve “konis – toz” kelimelerinden türetilmiştir. İlk olarak XVII’inci yüzyılın ortaların ortalarında Britanya kömür madencilerinde görülen bir hastalık olarak tanımlanmıştır. “Pnömokonyoz” olarak ilk tanımlanması ise 1870’lerde olmuştur. CDC/NIOSH’in yaptığı araştırmalarda 1968–1992 yılları arası dünya çapında pnömokonyozdan 600.000 kişi hayatını kaybetmiştir.

Merchant (1986) toza maruz kalmadan dolayı oluşan hastalıkları ve o hastalığı oluşturacak tozları şöyle sıralamıştır:

- Pnömokonyoz
 - Kömür işçileri pnömokonyozu (kömür tozu)
 - Silikoz (silikat mineralleri, kuvars tozu, tiridimit, kristobalit)
 - Asbestos (amosit, krizotil, krosidolit)
 - Berilyum hastalıkları (cevherler dahil berilyum bileşiği tozları)
 - Siderosis (cevherler dahil demir tozları)
- Kanser
- Sistemik zehirlenme
- Ağır metal hastalıkları
- Akciğerin tahrişi ve iltihaplanması

- Alerjik tepkiler
- Enfeksiyon (biyolojik tehlikeler)

Ayrıca, WHO (1999, s. 28) tozların sağlığa etkilerini şöyle özetlemiştir (Tablo 2.6);

Tablo 2.6 Tozun sağlığa etkileri (WHO, 1999)

Toz Türü	Temel Olarak Sağlığa Etkisi	Etki Ettiği Organ
Serbest kristalin silika	Silikoz; ilerleyen ve geri dönülemez tehdit edici akciğer hastalığı, ayrıca kanserojen	Akciğerler, gaz giriş-çıkış bölümü, alveoller
Kömür tozu	Kömür işçileri pnömokonyozu; tehdit edici akciğer hastalığı	Akciğerler, gaz giriş-çıkış bölümü, alveoller
Asbest	Asbestos; akciğer kanseri	Akciğerler, bronşlar, alveoller
Kurşun tozu	Sistemik zehirlenme (kan ve merkezi sinir sistemi)	Solunum sisteminden geçerek kan dolaşımı
Manganez	Sistemik zehirlenme (kan ve merkezi sinir sistemi)	Solunum sisteminden geçerek kan dolaşımı
Çimento tozu	Cilt hastalıkları	Deri

2.7.3 Tozun Zararlılığına Etkiyen Faktörler

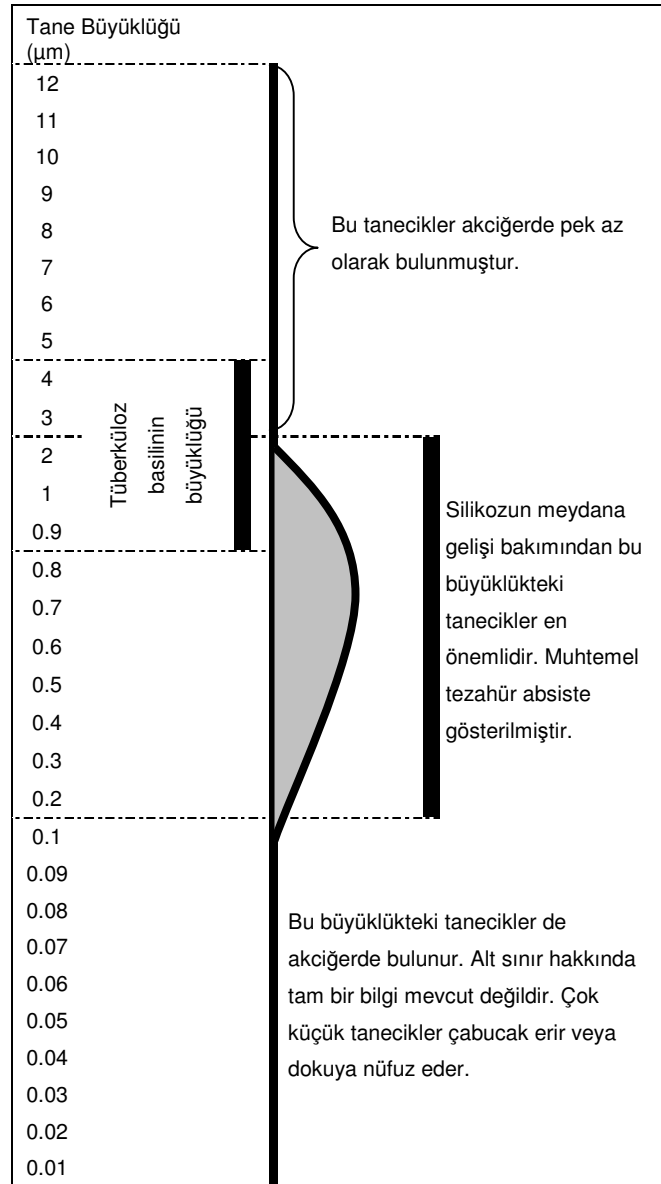
Tozun zararlılığını etkileyen faktörler, şu şekildedir:

2.7.3.1 Tane Büyüklüğü

Çoğunlukla 10 µm'den büyük taneler kendiliğinden çökebilmektedirler. 5 – 10 µm arası ise solunum yollarında, trakea, bronş ve bronşçuklarda bulunan yukarı doğru hareketli tüycükler tarafından tutulmakta ve mukus ile dışarı atılmaktadır. 0,5

– 5 μm arası ise tüccükler tarafından tutulmamakta, alveollere erişmekte ve alveollerde depolanma riskleri artmaktadır ve böylece akciğer dokusu tahriş etmektedirler.

Saltoğlu S. (ęev., 1970) akciğere giren tanelerin büyüklüğünü, Şekil 2.7'deki gibi göstermiştir (s. 7);



Şekil 2.7 Akciğere yerleşen toz taneciklerinin büyüklüğü (Saltoğlu S. [ęev., 1970])

2.7.3.2 Toz Tanelerinin Bileşimindeki Maddeler

Hartman ve diğer. (1997) tozun bileşimindeki maddelerin zararını şöyle belirtmiştir;

Belirli bir tozun kimyasal ve mineralojik donanımı, büyük olasılıkla tozun insanlara oldukça zararlı olabileceği tozun saptanmasında en önemli değişkendir. Bazı mineraller nispeten iyi huylu olurken, diğerleri hayli zararlıdır. Bunun yanında, minerallerin kimyasal donanımının bu farklılıklara bağlı olduğu açık değildir.... [Ö]rneğin, asbestin aşamalı çözeltileri akciğeri etkileyen bazı kimyasallar üreterek fibroza (fibrosis) neden olmaktadır (s. 92).

Ayrıca Saltoğlu S. (çev., 1970) tozun bileşimindeki maddelere şöyle izah etmiştir; “kuvars çözülemez ve uzun zaman akciğerde kalır. Amorf halinde olan silis zehirli olarak tesir eder. Bunun yanında, tozun taze veya eski olması ve parçalanmış kristallerde taze parçaların yüksek valanslarının bahis konusu olmasıdır” (s. 10).

2.7.3.3 Farklı Toz Cinslerinin Zararları

Saltoğlu S. (çev., 1970) farklı toz cinslerinin zararlarını şöyle belirtmiştir;

İnsan organizmasına tesirine göre toz inert olabilir, bu takdirde çok az veya hiç zararlı tesiri bulunmaz, fakat biyolojik aktif de olabilir ve hatta ya zehirli (toksin) veya alerjik (boğaz ve bronşlarda iltihaplar) veyahut fibroblastik olabilir, yani doku büyümesi ve silikoz yumrularının meydana gelmesine sebep olabilir (s. 10).

Bunun yanında, kuvars tozu en tehlikeli toz olmaktadır. Cevher veya yan kayaçların kuvars ihtiva etmesi toz tehlikesini arttırmaktadır.

2.7.3.4 Toz Sınır Değerleri

14.9.1990 tarih 20635 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik”’e göre sağlığa zararlı (ipliksi toz dışında) toz bulunan yeraltı işyerleri ortam havasındaki toz, miktar ve toz niteliklerine göre I, II, III, IV olarak belirtilen toz risk dereceleriyle sınıflandırılır. Toz riski derecesi, kuvars içeren solunabilir toz ve solunabilir kuvars tozu içeriğine göre aşağıdaki gibi tespit edilir. Tablo 2.7 toz risk derecelerini vermektedir.

Tablo 2.7 Toz risk dereceleri (Resmi Gazate, 1990)

Toz Risk Derecesi	Kuvars İçeren Solunabilir Toz Yoğunluğu (mg/m ³)	Solunabilir Kuvars Toz Yoğunluğu (mg/m ³)
I	0–2.5	0–1.125
II	2.6–6	0.130–0.25
III	6.1–10	0.27–0.50
IV	>10	>0.50

Aynı yönetmelikte;

Sınıflandırmada kuvars içeren solunabilir toz ve solunabilir kuvars tozu verilerine göre farklı toz riski dereceleri ortaya çıkarsa yüksek risk derecesi esas alınır. Sınıflandırmada kuvars içeren solunabilir toz ve solunabilir kuvars tozu verilerine göre farklı toz risk dereceleri ortaya çıkarsa, yüksek risk derecesi esas alınmaktadır. Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik’e göre; toz risk derecesi IV olan işyerlerinde, tozla mücadele işinden başka işte işçi çalıştırılmaz. Bu işyerlerinde tozu bastırma işlerini takiben ölçme yenilenir ve toz riski derecesi düşürülmüş ise çalışmaya izin verilir. Toz riski derecesi III olan yeraltı işyerlerinde, işçinin birbirini takip eden aralıksız 5 çalışma yılında en fazla 500 vardiya çalışmasına izin verilir. İlk 5 yıllık süre içinde toz riski derecesi III olan bir işyerinde, 500 vardiya çalıştırılmış bir işçi bu süre sonunda ancak toz riski derecesi I ve II olan işyerlerinde çalıştırılabilir. İkinci bir 5 yıllık çalışma süresi sona erince, tıbbi kontrolde

pnömokonyoz bulunmadığı takdirde toz kademesi III olan işyerinde tekrar çalıştırılabilir.

2.8 Tozla Mücadele

Madencilik işlerinde oluşan toz; işçi sağlığı, iş güvenliği ve makineler için büyük bir sorun olduğundan dolayı tozla mücadele etmek de madenciliğin önemli konularından biri olmaktadır.

Tozu bastırmak için birçok yöntemler denenmiş, uygulanmış ve uygulanmaktadır. Yeraltı madencilik çalışmaları, tünelticilik ve diğer çalışmalarda kullanılan ekipman, kazı şekli ve cevher, yan kayaç veya kömürün özelliklerine göre toz sorunu birbirinden farklı olmaktadır. Bu farklılıklara göre de birçok tozla mücadele yöntemleri geliştirilmiştir. Ayrıca, madencilik işlerinin tasarımı ve planlanması sırasında toz probleminin de göz önünde tutulması gerekir.

Tozla mücadelede en önemli olan tozun kaynağında oluşmasının engellenebilmesi ve önceden tedbirler alınıp, belirli aralıklarla toz ölçümünün doğru yapılması gerekmektedir.

2.8.1 Yeraltında Tozla Mücadele Yöntemleri

Yalçın ve Gürgen (1999) tozla mücadele yöntemlerini altı ana başlık altında toplamıştır (s. 121):

- Erken tanı ve önlem (İşe giriş muayeneleri, 6 aylık periyodik muayeneler, iş değiştirme ve işten çıkarma, iyi beslenme, alkolü ve sigarayı bırakma).
- Toz oluşumunu önleme (Sulu delme, sulu kesme, sulu kazı, sulu potkabaç).
- Tozu bastırma (Su emprenyesi, su fisketeleri, elle veya hortumla sulama).
- Tozu toplama (Kuru delmede tozu emme, tuzlama, emici-yardımcı havalandırma, siklon).

- Toz konsantrasyonunu düşürme (Ana ve yardımcı havalandırma).
- Toz solunumunu önleme (Toz maskesi, aerosol solunumu, işçinin daha kısa süre çalıştırılması, dirençli işçilerin çalıştırılması).

Bu maddelere ek olarak, tozun tane büyüklüğünü mümkün olduğunca 5 mikronun altına düşürmemeye çalışmak gerekmektedir. Ayrıca, işçilerin ise emici hava akımında çalıştırmak ve genç işçilerin tozlu ortamlarda çalıştırılmaması lazımdır.

Ayrıca, oluşmuş olan tozla mücadelede kullanılan yöntemler şöyledir:

- Havalandırma
- Köpük
- Islatma Araçları
- Toz toplayıcılar
- Su spreylere

2.8.1.1 Havalandırma

Etkin bir havalandırma ile ocak havası temizlenir. Havada asılı tozları işçilerin çalışma alanından uzaklaştırmak için de iyi bir havalandırma dizaynı şarttır. Bunun yanında, etkin bir havalandırma yaparken hava hızını fazla tutup çökmüş tozların da tekrar girdaplanmamasını sağlamak gerekir.

Hartman ve diğer. (1997) tozun ocak hava konsantrasyonunda azaltılması havalandırma ile yapılmasını şöyle anlatmıştır;

Yeraltı maden çalışma alanındaki ulaşılması istenen toz konsantrasyonlarına ulaşmak başarısızlıkla sonuçlandığında, tozu limit değerlerine seyreltmek için havalandırmayı arttırmak gerebilmektedir. Buna da, yardımcı havalandırmanın kullanılması veya geliştirilmesi veya ana havalandırma miktarının artırılması ile ulaşılmaktadır. Ana havalandırma miktarı değiştirildiğinde, her iki minimum ve maksimum havalandırma hızları göz önünde tutulmalıdır. Tipik bir maden

açıklığındaki türbülanslı hava akışını sağlamak için hava hızının 0,07–0,20 m/sn olması gerekmektedir (s. 125).

Kissell (2003) havalandırma ile tozu çalışma alanından uzaklaştırmayı seyreltme havalandırması ve hareketli hava olarak iki bölümde incelemiştir (s. 4);

- **Seyreltme Havalandırması:** Seyreltme havalandırması arkasındaki temel prensip, daha fazla hava sağlamak ve tozu seyreltmektir. Zamanın çoğunu tozun seyreltilmesi almakta, her zaman olmasa da hava akışının artırılması ile sağlanmaktadır. Özellikle önceden havanın, 3000 ft/dak (914,4 m/dak) ve daha fazla hava hızlarında havalandırma yolu veya kuyulardan geçtiğinden, artırılan hava akışının maliyeti ve teknik engelleri oldukça önemlidir.
- **Hareketli Hava:** Hareketli havanın temel prensibi, tek yönde hava akışını kullanarak toz kaynağını toplamak ve işçilerin hava akış yönünde tutulmasıyla tozu işçilerden uzak tutmaktır. İşçileri hava akış yönünde tutan her tünel veya maden hareketli hava yöntemini kullanır. Sürekli kesici veya TBM kullanılan yeraltı açıklıklarında, hareketli hava yöntemi kullanır. Konveyör transfer noktası gibi toz kaynağının toplanması hareketli hava yöntemine diğer bir örnektir.

2.8.1.2 Köpük

Tozla mücadelede su spreylere alternatif olarak veya beraber de kullanılabilen köpükler, Kissell (2003)'ye göre şöyle özetlenmiştir; “Toz kontrolü için köpük kullanımı spreylere göre daha etkilidir. %20 verimli suya göre tozun azaltılması bu yolla %60'a çıkarılmıştır. Ayrıca köpük az su kullanımı ile aynı sonuçları vererek, köpük yapımında kullanılan su, su spreylere göre daha az su kullanımını getirmiştir” (s. 11). Seibel'in (1976) yaptığı araştırmada, bant nakliyat transfer noktalarında su spreylere ve yüksek yayımlı köpükleri mukayese edilmiştir. Köpükler su spreylere göre ek %30'luk bir toz azalması sağlamıştır. Bunun

yanında, Mukherjee ve Singh (1984) uzunayak kesici yükleyici tamburu üzerinde bulunan geleneksel spreyle beraber, tamburda kullanılan köpük ile ek %50'lik bir verim elde edilmiştir. Köpük sisteminin dezavantajı köpüğün gerçekten de maliyetli oluşudur. Su gibi köpük de kırılmış malzeme ile mekanik olarak kullanıldığında en iyi sonuçları vermiştir.

2.8.1.3 Islatma Araçları

Yeraltı ocaklarında toz konsantrasyonunu düşürmek için kullanılan araçlardan biri de ıslatma esasına dayanan araçlardır. Verimleri yüksektir. Kissell (2003)'e göre bu aksamlar şöyle özetlenmiştir;

Islatma araçları çok fazla dikkat gerektirir. Çünkü belki de bu aksamlar toz problemlerini kolayca çözebilecekmiş gibi görünmektedir. Kömürün hidrofobik yapısından dolayı bu araçların kömür madenciliğinde yararı olmaktadır. Islatma araçlarının yararları yıllarca önemli bir araştırma konusu olmuş fakat kesin cevaplar veya nasıl etki ettiği hakkında fazla bilgi elde edilememiştir. Islatma araçları etkinliğinin; aksam tipi, kömür cinsi, tozun tane büyüklüğü, toz konsantrasyonu, su pH'ı, ve su mineralojisine bağlı olduğu görülmüştür. Buna rağmen, maden operatörünün çalıştığı kömür (veya kayaç) için uygun ıslatma aracının seçilmesine izin verecek genel hiçbir formül veya yöntem belirlenmemiştir. Araç seçimi hiçbir zaman kolay olmamakla birlikte, tek bir alternatif olası ıslatma aracının denenmesi ve eğer açık bir yarar yoksa kullanımına devam edilmemesidir (s. 12).

2.8.1.4 Toz Toplayıcılar

Toz toplayıcılarının kullanımı endüstride ve özellikle madencilik ve cevher hazırlamada gün geçtikçe artmaktadır. Toplayıcının kullanıldığı yer ve toplayıcı verimi yüksekse, yeraltında toz konsantrasyonunun azaltılmasında üstün bir rol oynamaktadır.

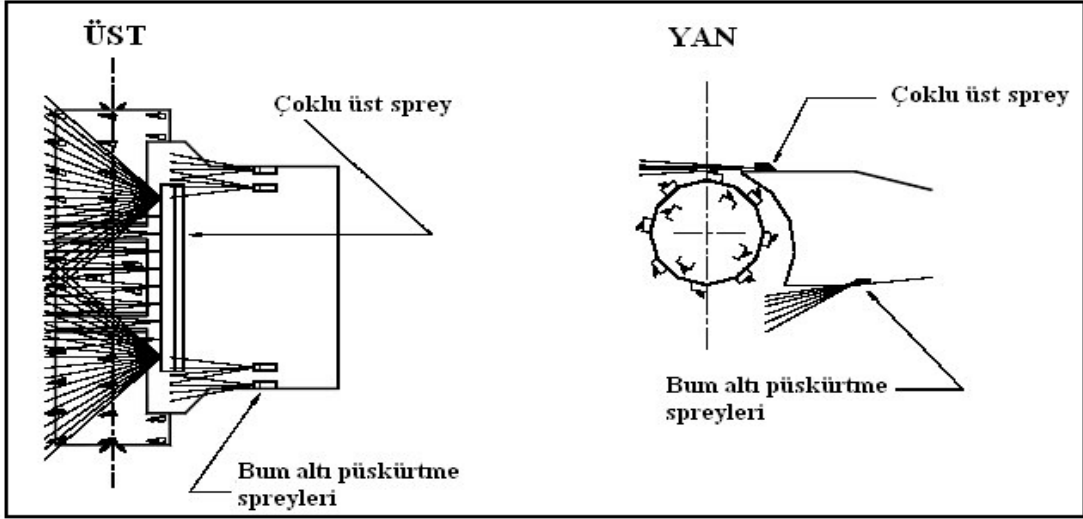
Kissell (2003) toz toplayıcıları şöyle anlatmıştır;

Toz toplayıcısı verimi, emiştteki birim zamandaki toplama veriminin filtreleme verimidir. Aslında solunabilir tozların tutulması için dizayn edilen toplayıcılarda, filtreleme verimliliği çoğu kez oldukça yüksektir (%90-%95). Emme toplama verimi daha değişkendir. Sert kayaçlar için olan TBM'in kesici kafa alanı veya uzun ayak ara yükleyicisindeki kırıcı gibi kapanmış veya yarı kapalı alandan toplayıcı havayı çektiğinde emme toplama verimi %80 veya daha fazla bir değerdedir. Eğer kömür damarı çok yüksek değilse, çıkış olmayan alanlarda ekipman ile sıkışan sürekli kesici arınında toplama verimi makul olacaktır. Bunun yanında, toplayıcı hava miktarı anlamsız bir şekilde yüksek olmadıkça, sürekli kesici ve uzunayak arınları gibi kapalı olma durumu az alan alanlarda, emme toplama verimi %50 gibi düşük bir değerdedir (s. 12).

2.8.1.5 Su Spreyleri

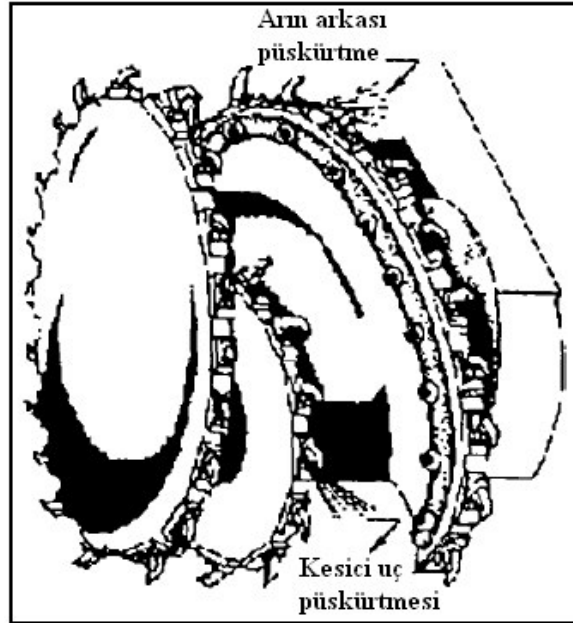
Sürekli kesicilerde kullanılan en eski spreylar yağlama, çok az soğutma ve toz kontrolünde kullanılmaktaydı. Sınırlı olarak solunabilir tozları kontrol etmede kullanılmasına karşın, büyük miktarda tozu geri püskürtmekteydi. Bu geri püskürtmeyi önlemek için 1970'lerden beri tambur üzerine ve altına monte edilmiş spreylar kullanılmaktadır. Goodman, Taylor, Colinet ve Thimons (2000) buna ek olarak;

İki geniş ağız ve suyun püskürtülmesi şekilde spreylar bumun sol ve sağ alt bölümüne monte edilmişlerdir ve kesme uçları doğrultusundadır.... Tozun geri gelmesi azalmış ve kesici uçların darbesinden önce sadece az bir mesafede spreylar damlalarının hareketinden dolayı tozun geri gelmesi azaltılmıştır. Türbülans minimize edilirken, ayrıca bu az mesafe kömür yüzeyinin ıslatılmasını arttırmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Tozun geri dönmesini önlemek için olan spreyleyler (Goodman ve diğ., 2000)

Ayrı bir spreyley yöntemi kesici uçların spreyley görevi görmesi ile uygulanmaktadır. Mümkün olduğunca ilk toz kaynağına yakın olan bu spreyleyler Şekil 2.9’da görüldüğü gibi direkt olarak kesici uç ve kömür yüzeyi arasında püskürtülmektedir. U.S. Department of Labor’a (1999b) göre, “Sistem kesici parça içine veya özel parçalara monte edilmiş memeleri kullanır. Tipik olarak, bir tambur her kesici uca bir spreyley düşecek şekilde donatılmış olmalıdır” (s. 12).



Şekil 2.9 Kesici uç püskürtmesi (U.S. Department of Labor, 1999b)

Havada asılı toz tanelerinin su spreleriyle tutulması çok kullanılan bir yöntemdir. Ancak, U.S. Department of Labor'a (1999b) göre, tam anlamıyla dizayn edilmiş bir su spreyi solunabilir tozu %20–60 düzeyinde azaltabilmektedir.

2.8.1.5.1 Islatma. Toz kontrolü için ıslatma gerçekten de çok önemlidir. Üretim sırasında oluşan fazla sayıdaki toz taneleri ıslatma ile havada serbest halde dağılamayıp, bu tozlar kırılmış malzeme yüzeyine yapışık kalırlar. Fazla suyun eklenmesi çoğunlukla toz oluşumunu azaltmıştır.

Arını ıslatmada su miktarını arttırmak etkili bir yoldur. Fakat bu fazla sudan oluşan fazla nem kömür üzerinde fazla işlem yapmaya ve çalışanlarda olumsuzluklar doğurmuştur.

Buna ek olarak Kissell (2003); “Islatma, köpük ile kullanımı ile de bir gelişme göstermiştir. Köpüğün kömürle mekanik olarak veya silis kumu ile karıştırılıp uygulanması etkili olmuştur” (s. 8).

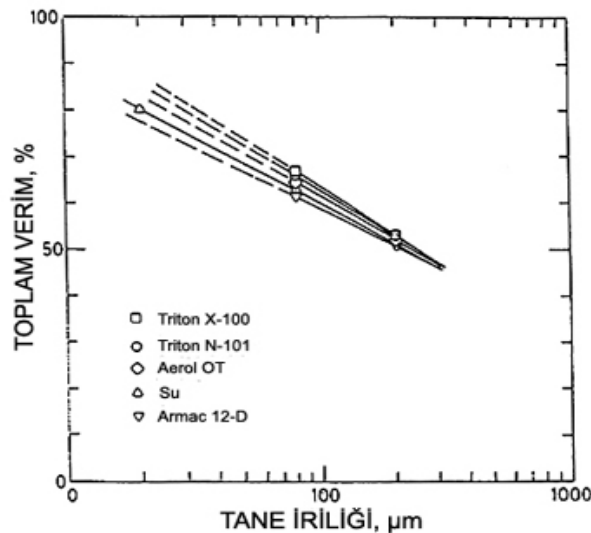
2.8.1.5.2 Yüksek Basıncılı Spreyler. Kissell'e (2003) göre spreyleyin verimini arttırmanın bir yolu da su basıncının arttırılmasıdır;

Geleneksel su spreyi sistemi (100 psi, 19 gpm – 703,07 kg/m², 34,07 lt/dk) solunabilir toz oranını azaltmada %30'luk bir verim elde etmişlerdir. Yüksek basınçlı sistemde ise (2500 psi, 3 gpm – 1757674 kg/m² 11,36 lt/dk) aynı sonuç alınış fakat daha az su kullanılmıştır. İki sistem beraber kullanıldığında (22 gpm – 83,28 lt/dk) %59'luk bir verim elde etmişlerdir. Bu ikili sistem yeraltında kullanılmak üzere bir seçim olabilmekte, kırılmış malzemenin havada asılı toz tanelerinin tutulması ve yeterli şekilde ıslatılmasını sağlamaktadır. Yüksek basınçlı spreyleyin belirlenen bir dezavantajı, toz için fazla bir havaya gereksinim duyulması ve tutulan tozdan daha fazla yayıldığıdır. Bundan dolayı, bu uygulama kapalı veya yarı kapalı yerler (sürekli kesici bumu altı) ile sınırlandırılmıştır (s. 11).

2.8.1.5.3 *Sprey Damlalarının Elektrikle Yüklenmesi*. Kömür tozları çoğunlukla su spreyleri tarafından bastırılmaktadır fakat bastırma verimi tozun su damlası tarafından tutulması yerine su damlası etrafında hava akımı ile yol alması ile düşük olmamaktadır. Su spreyelerinin elektriksel olarak yüklenmesi halinde ise, tozların bastırılmasında önemli bir gelişme elde edilmiş olacaktır.

Su damlalarının elektrik yüküyle yüklenmesi sürfaktantlar sayesinde olmaktadır. Kissell'e (2003) göre sürfaktantlar; "suyun yüzey gerilimini artırarak, birim hacimdeki daha fazla taneyi mevcut nem ile daha fazla ıslatmasına izin vermektedir" (s. 78).

Chander ve diğer.'e (1991) göre su damlalarının surfaktant tipine göre toplama verimlerinin araştırılmasında ortalama damla yarıçapı 80 ve 200 μm ve sıvı akışının 0.082 lt/dk'da Şekil 2.10 ve Tablo 2.8'den görüleceği gibi suya %1'lik Triton-X-100 katıldığında toplama verimi 80 μm 'lik damla artış %63,4'den %67'ye çıktığı görülmüştür. Aynı damla büyüklüğünde Trion N-101 ve Aerosol OT'de de benzer artışlar elde edilmiştir. Bunun yanında, Armac 12-D solüsyonu kullanıldığında toplam verim %63,4'den %61,7'ye düşmüştür. 200 μm 'lik damlalar için ise etki küçüktür.

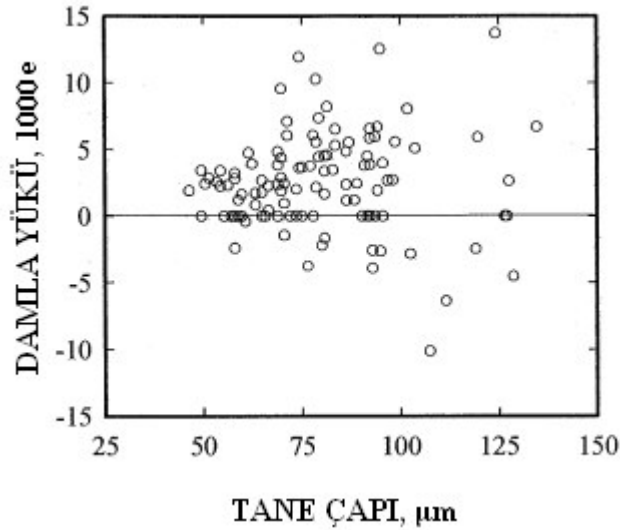


Şekil 2.10 Ortalama damla büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak su ve sürfaktant solüsyonlarının toplam toplama verimleri (Chander ve diğer., 1991).

Tablo 2.8 Damla boyutunun bir fonksiyonu olarak su ve sürfaktant tanelerinin toz toplama verimleri (Chander ve diğer., 1991).

Damla Boyutu (μm)	Sürfaktant Tipi				
	Su	X-100	N-101	A-OT	ARM-120
25	80,7	-	-	-	-
80	63,4	67,0	66,1	64,4	64,7
200	51,3	52,6	52,9	51,8	51,4

Buna ek olarak, Polat M., Polat H. ve Chander'ın (2000) çalışmasına göre, anyonik sürfaktantların önemli ölçüde damla yükünü attırdığını, katyonik sürfaktantların benzer bir şekilde anyonik sürfaktantlara uyduğunu, anyonik olmayan sürfaktantların yükleme davranışının ise belirgin bir şekilde anyonik sürfaktantlardan farklı olduğunu belirtilmiştir. Aynı çalışmada deneysel olarak elde edilen bulgulardan biri sürfaktantlarla yüzey gerilimleri arttırılan damlaların çoğu pozitif olarak yüklenmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Damıtılmış su için damla boyutunun bir fonksiyonu olarak yüklerin dağılımı (Polat ve diğer., 2000).

2.8.2 Tozla Mücadele Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Solunabilir tozların kontrol şekilleri birçok değişkene bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu kontrol şekillerinin verimliliği, maliyetleri ve dezavantajları da aynı şekilde birbirinden farklı olup, her birinin birbirine göre üstünlükleri bulunmaktadır. Kissell (2003, s. 17) tarafından tozla mücadele yöntemlerinin bir özeti olarak verilen Tablo 2.9 bu yöntemlerin verim, maliyet ve dezavantajlarını sunmaktadır.

Tablo 2.9 Tozla Mücadele Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Kissell, 2003)

<u>TOZ TOPLAMA YÖNTEMİ</u>	<u>VERİMLİLİK (Düşük: %10-%30, Orta: %30- %50, Yüksek: %50-%75)</u>	<u>MALİYET VE DEZAVANTAJLAR</u>
Seyreltme Havalandırması	Orta	Yüksek - Daha fazla hava fizibil olmayabilir
Kapalı alanlar dahil tozlu havanın tutulması ile hareketli hava yöntemi	Orta-Yüksek	Orta – Uygulanması zor olabilir
Sprey ile ıslatılma	Orta	Düşük – Çok fazla su bir problem olabilir
Spreyler ile havada asılı taneleri tutma	Düşük	Düşük - Çok fazla su bir problem olabilir
Yüksek basınçlı spreyle havada asılı taneleri tutma	Orta	Orta – Sadece kapalı alanlarda kullanılabilir
Köpük	Orta	Yüksek
Islatma Araçları	Sıfır - Düşük	Orta
Toz toplayıcılar	Orta - Yüksek	Yüksek – Orta – Olası gürültü problemi

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HAVADA ASILI TOZ TANELERİNİN SU SPREYLERİ İLE BASTIRILMASININ MODELLENMESİ

3.1 Giriş

Yeraltı ocaklarında insan sağlığına en zararlı tozlar 0,5 – 5 mikron arasındaki tozlardır. Bu tozlar akciğerde kalmakta ve ileriki yıllarda çok ciddi sağlık problemlerine sebep olmaktadır.

Ocaklarda çoğunlukla bu zararlı tozları bastırmak için su spreyleri kullanılmaktadır. Bu spreylere çıkan su damlaları oluşan toza püskürtülmekte ve toz bastırılmaya çalışılmaktadır.

Çalışmada oluşturulan model, havada asılı toz tanelerinin spreylere püskürtülen su damlaları ile tutulmasının matematiksel modelini içermektedir.

3.2 Matematiksel Model

Model; potansiyel akım koşullarında (laminar akış koşullarında), toz tanelerinin küresel olarak kabul edilmesi ile, su damlasının toz arasındaki relatif hız baz alınarak, kuvvetlerin bileşkesiyle net kuvvetin bulunması ve buradan yola çıkılarak elde edilen simültane diferansiyel denklemin nümerik çözümlene yöntemiyle hesaplanıp, X ve Y değerlerinin elde edilmesi şeklinde özetlenebilmektedir.

Önceden yapılan çalışmalarda (Koruyan, 2002b) Stokes kanununa göre model aşağıdaki gibi geliştirilmiştir.

$$\frac{d^2X}{dT^2} = a + b \left[1 + \frac{Y^2 - 2X^2}{(X^2 + Y^2)^{5/2}} - \frac{dX}{dT} \right] + c \frac{X}{(X^2 + Y^2)^{3/2}}$$

$$\frac{d^2Y}{d\Gamma^2} = b \left[-\frac{3}{2} \frac{XY}{(X^2 + Y^2)^{5/2}} - \frac{dY}{d\Gamma} \right] + c \frac{Y}{(X^2 + Y^2)^{3/2}}$$

ayrıca;

$$a = \frac{R_d(\rho_p - \rho_m)}{U_0^2 \rho_p} g, \quad b = \frac{9\mu R_d}{2R_p^2 \rho_p U_0}, \quad c = \frac{3Q_d Q_p}{4\pi R_p^3 \rho_p U_0^2 R_d}$$

Burada;

R_d : Damla yarıçapı

R_p : Tane yarıçapı

ρ_p : Tane yoğunluğu

ρ_m : Havanın yoğunluğu

μ : Havanın viskozitesi

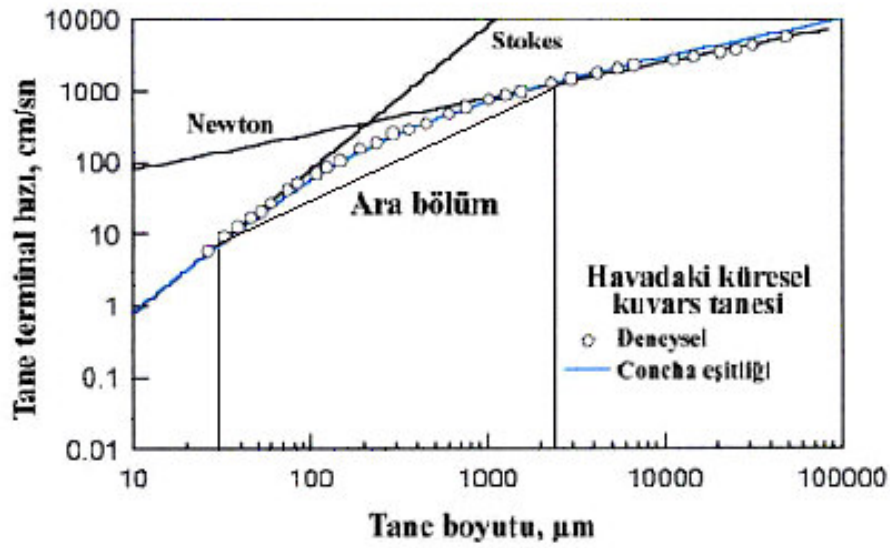
U_0 : Damlanın relatif hızı

g : Yerçekimi ivmesi

Q_d : Damlanın elektriksel Yüğü

Q_p : Tanenin elektriksel Yüğü

Fakat bu çalışma kapsamında, Stokes yasasının iri tane büyüklüklerinde yanlış sonuçlar vermesi nedeniyle (Koruyan, 2002a) ve bununla birlikte, Newton yasasının yüksek hızlar ve büyük tane irilikleri için terminal hızın bulunmasına yardımcı olması nedeniyle, bu çalışmada daha geniş kullanım alanı olan ve tüm R_e 'leri kapsayan Concha ve Almendra'nın (1979) geliştirdikleri eşitlikler kullanılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Havadaki küresel kuvars tanesinin Newton, Stokes, Concha ve deneysel çalışmalardan elde edilen terminal hız değerleri ile tane boyutu değişim grafiği

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi deneysel yapılan çalışmalardan elde edilen terminal hızlar (Lapple ve Shepherd, 1940) Concha ve Almendra’nın (1979) geliştirdikleri formüllerden elde edilen terminal hızlarla aynı sonucu vermektedir. Ayrıca şekilden görüleceği gibi, Newton ve Stokes terminal hız denklemleri her tane iriliğinde kullanılmadığından dolayı, Concha ve Almendra (1979) geliştirdikleri formüller tüm tane iriliklerini kapsamaktadır.

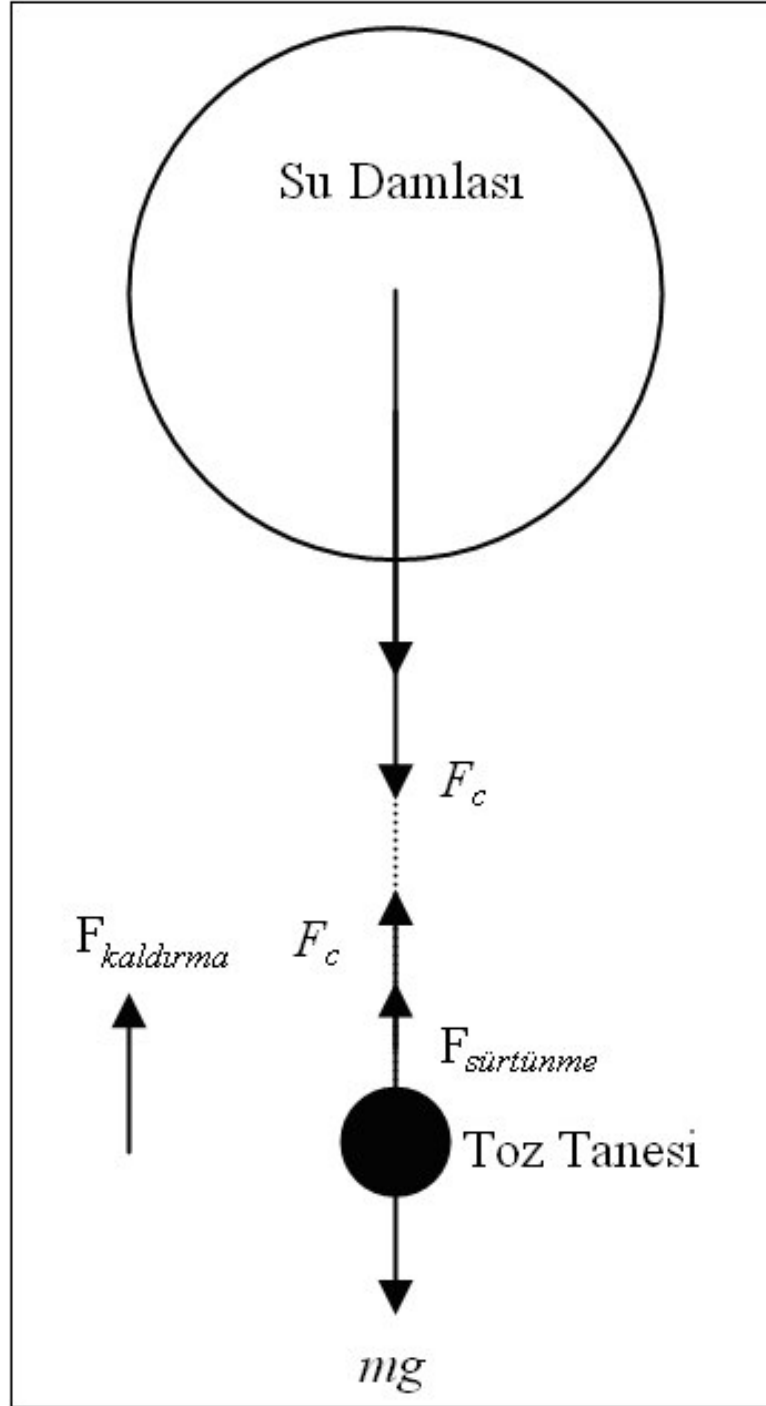
Modelin oluşturulmasında su damlasının ve havada asılı bir toz tanesinin hangi kuvvetlerin etkisinde olduğu önemlidir. Şekil 3.2 bu kuvvetleri göstermektedir.

Şekilde;

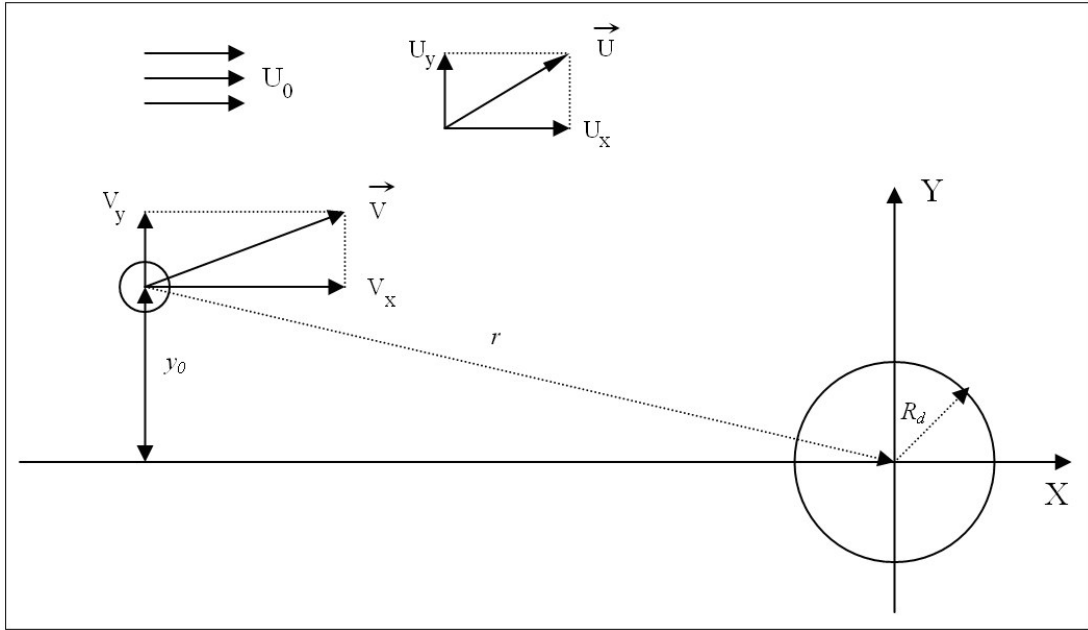
F_c : Kolombik kuvvet

$F_{sürtünme}$: Sürtünme kuvveti

$F_{kaldırma}$: Havanın kaldırma kuvveti



Şekil 3.2 Su damlası ve toz taneciğine etkiyen kuvvetler



Şekil 3.3 Toz tanesinin su damlasına göre hareketi

Yukarıdaki şekilde;

U_0 : Damladan Çok Uzaktaki Hava Hızı

\vec{U} : Akışkan Damla Etrafındaki Vektörel Hız

\vec{V} : Toz Tanesinin Vektörel Hızı

r : Toz tanesi ve damla arası uzaklık

olarak tanımlanır.

Toza etkiyen net kuvvet;

$$\sum F = m\vec{a}$$

ve

$$F_{net} = F_{yerçekimsel} - F_{kaldırma} - F_{sürtünme} + F_{coulombic}$$

'dir. Burada;

$$F_{\text{yerçekimsel}} = mg\vec{x}$$

$$F_{\text{kaldırma}} = m'g\vec{x}$$

$F_{\text{sürtünme}}$ kuvvetini bulmak için de;

$$F_{d_c} = C_D \pi R_p^2 \frac{\rho_m u^2}{2}$$

Burada,

u : Relatif hız

C_D : Sürtünme katsayısı

kullanılır. Kullanılacak sürtünme katsayısı (C_D) (Concha ve Almendra, 1979) ise;

$$C_D = 0.284 \left(1 + \frac{9.06}{R_e^{1/2}} \right)^2$$

Reynold sayısı;

$$R_e = \frac{2uR_p\rho_m}{\mu}$$

'dir.

Daha sonra;

$$F_{d_c} = 0.284 \left(1 + \frac{9.06\mu^{1/2}}{(2\rho_m R_p (\vec{U} - \vec{V}))^{1/2}} \right)^2 \frac{\pi R_p^2 \rho_m (\vec{U} - \vec{V})^2}{2}$$

$$F_{d_c} = 0.142 \left(1 + \frac{12.813\mu^{1/2}}{[\rho_m R_p (\vec{U} - \vec{V})]^{1/2}} + \frac{82.084\mu}{2\rho_m R_p (\vec{U} - \vec{V})} \right) \pi R_p^2 \rho_m (\vec{U} - \vec{V})^2$$

$$F_{d_c} = 0.142\pi R_p^2 \rho_m (\vec{U} - \vec{V})^2 + \frac{1.819\mu^{1/2}\pi R_p^2 \rho_m (\vec{U} - \vec{V})^2}{\rho_m^{1/2} R_p^{1/2} (\vec{U} - \vec{V})^{1/2}} + \frac{11.656\mu\pi R_p^2 \rho_m (\vec{U} - \vec{V})^2}{2\rho_m (\vec{U} - \vec{V}) R_p}$$

ve son olarak;

$$F_{d_c} = 0.446R_p^2 \rho_m (\vec{U} - \vec{V})^2 + 5.71 [R_p (\vec{U} - \vec{V})]^{3/2} (\mu\rho_m)^{1/2} + 18.3\mu R_p (\vec{U} - \vec{V})$$

ortaya çıkar. Elektriksel yükler toz bastırma veriminde etkili olmaktadır. Toz tutma verimi yüzey gerilimin düşmesiyle artacağından ancak elektrik yükü düşük olan damlalar için mümkün olmaktadır. Kullanılacak kolombik kuvvet;

$$F_{coulombic} = \frac{Q_d Q_p}{\epsilon_0 \epsilon r^2}$$

Burada;

ϵ_0 : Vakumun dielektrik sabiti

ϵ : Ortamın dielektrik geçirgenliği

Böylece;

$$m\vec{a} = mg\vec{x} - m'g\vec{x} - F_{d_c} + \frac{Q_d Q_p}{\epsilon_0 \epsilon r^2} \vec{r}$$

denkleminde ulaşılır.

\vec{x} : x yönündeki birim vektör (yerçekimi x yönünde kabul ediliyor)

\vec{r} : r yönündeki birim vektör

Daha sonra;

$$\left(\frac{4}{3}\pi R_p^3 \rho_p\right) \frac{d\vec{V}}{dt} = \left(\frac{4}{3}\pi R_p^3 \rho_p\right) g\vec{x} - \left(\frac{4}{3}\pi R_p^3 \rho_m\right) g\vec{x} - F_{d_c} + \frac{Q_d Q_p}{\epsilon_0 \epsilon r^2} \vec{r}$$

ve

$$\left(\frac{4}{3}\pi R_p^3 \rho_p\right) \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{4}{3}\pi R_p^3 g(\rho_p - \rho_m)\vec{x} - F_{d_c} + \frac{Q_d Q_p}{\epsilon_0 \epsilon r^2} \vec{r}$$

Sadeleştirme işlemleri yapılarak;

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{(\rho_p - \rho_m)}{\rho_p} g\vec{x} - \frac{3F_{d_c}}{4\pi R_p^3 \rho_p} + \frac{3Q_d Q_p}{4\epsilon_0 \epsilon \pi R_p^3 \rho_p} \frac{\vec{r}}{r^2}$$

vektörel kuvvet dengesine ulaşılır. Eşitlik boyutsuz olarak ifade edilmek istendiğinde,

$$\vec{V} = \frac{\vec{V}}{U_0}; \quad \vec{U} = \frac{\vec{U}}{U_0}; \quad \mathbf{T} = \frac{tU_0}{R_d}$$

olarak tanımlanıp, eşitlikte yerine konulursa;

$$\frac{d(U_0 \vec{V})}{d \frac{\mathbf{T} R_d}{U_0}} = \frac{(\rho_p - \rho_m)}{\rho_p} g\vec{x} - \frac{3F_{d_c}}{4\pi R_p^3 \rho_p} + \frac{3Q_d Q_p}{4\pi \epsilon_0 \epsilon R_p^3 \rho_p} \frac{\vec{r}}{r^2}$$

yeni F_{d_c} ise;

$$\begin{aligned}
F_{d_c} &= 0.446R_p^2 \rho_m (\bar{U}U_0 - \bar{V}U_0)^2 \\
&+ 5.71 \left[R_p (\bar{U}U_0 - \bar{V}U_0) \right]^{3/2} (\mu\rho_m)^{1/2} \\
&+ 18.3\mu R_p (\bar{U}U_0 - \bar{V}U_0)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{d_c} &= 0.446R_p^2 \rho_m U_0^2 (\bar{U} - \bar{V})^2 \\
&+ 5.71U_0^{3/2} \left[R_p (\bar{U} - \bar{V}) \right]^{3/2} (\mu\rho_m)^{1/2} \\
&+ 18.3\mu R_p U_0 (\bar{U} - \bar{V})
\end{aligned}$$

‘dir ve

$$\frac{U_0^2}{R_d} \frac{dV}{dT} = \frac{(\rho_p - \rho_m)}{\rho_p} g\bar{x} - \frac{3F_{d_c}}{4\pi R_p^3 \rho_p} + \frac{3Q_d Q_p}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R_p^3 \rho_p} \frac{\bar{r}}{r^2}$$

böylece,

$$\frac{dV}{dT} = \frac{R_d(\rho_p - \rho_m)}{U_0^2 \rho_p} g\bar{x} - \frac{3F_{d_c} R_d}{4\pi R_p^3 \rho_p U_0^2} + \frac{3Q_d Q_p R_d}{4\pi\epsilon_0 \epsilon U_0^2 R_p^3 \rho_p} \frac{\bar{r}}{r^2}$$

Sabitler tek değer altında toplanarak;

$$a = \frac{R_d(\rho_p - \rho_m)}{U_0^2 \rho_p} g, \quad b = \frac{3R_d}{4\pi R_p^3 \rho_p U_0^2}, \quad c_1 = \frac{3Q_d Q_p R_d}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R_p^3 \rho_p U_0^2 r^2}$$

denklem;

$$\frac{dV}{dT} = a\bar{x} + bF_{d_c} + c_1\bar{r}$$

halini almış olur.

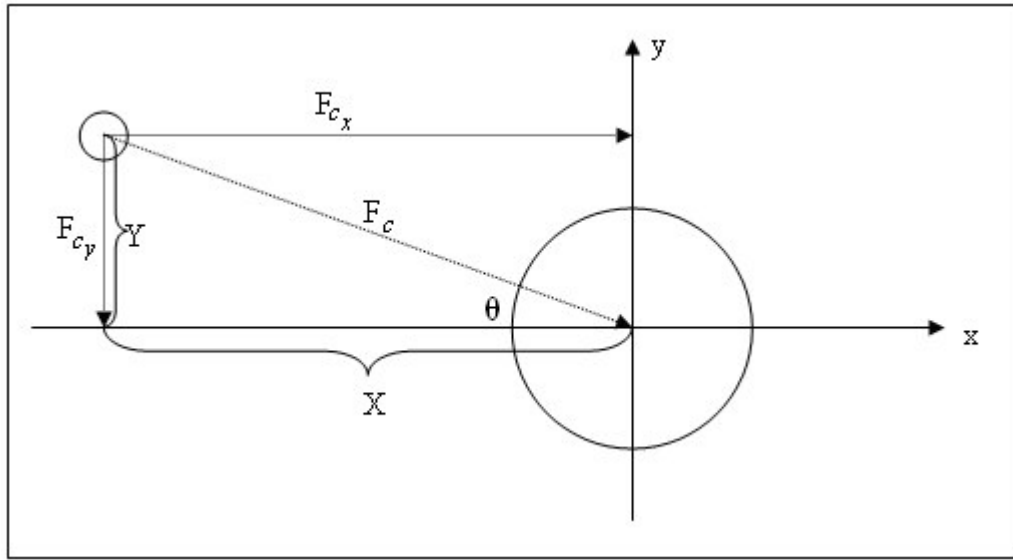
$$\bar{U} = \frac{\bar{U}}{U_0} \quad \text{ve} \quad \bar{V} = \frac{\bar{V}}{U_0} \quad \Rightarrow \quad (\bar{U} - \bar{V}) = U_0(\bar{U} - \bar{V})$$

olarak tanımlanarak, x ve y yönünde

$$U_0(U_x - V_x) \text{ ve } U_0(U_y - V_y)$$

denklemlerine ulaşılır.

F_c kolombik kuvveti ile;



Şekil 3.4 Toz tanesi ve su damlası arasındaki kolombik kuvvet

$$X = \frac{x}{R_d} \text{ ve } Y = \frac{y}{R_d}$$

ile

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$x = XR_d \text{ ve } y = YR_d$$

$$r^2 = (X^2 R_d^2 + Y^2 R_d^2)$$

$$r^2 = R_d^2 (X^2 + Y^2)$$

ise, yeni c sabiti,

$$c = \frac{3Q_d Q_p}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R_p^3 \rho_p U_0^2 R_d}$$

$$F_{c_x} = F_c \cos \theta = F_c \frac{X}{(X^2 + Y^2)^{1/2}} = c \frac{X}{(X^2 + Y^2)^{1/2}} \frac{1}{r^2} = c \frac{X}{(X^2 + Y^2)^{3/2}}$$

ve

$$F_{c_y} = F_c \sin \theta = F_c \frac{Y}{(X^2 + Y^2)^{1/2}} = c \frac{Y}{(X^2 + Y^2)^{1/2}} \frac{1}{r^2} = c \frac{Y}{(X^2 + Y^2)^{3/2} R_d^2}$$

$$\begin{aligned} F_{d_{cx}} &= 0.446 R_p^2 \rho_m U_0^2 (U_x - V_x)^2 \\ &\quad + 5.71 U_0^{3/2} [R_p (U_x - V_x)]^{3/2} (\mu \rho_m)^{1/2} \\ &\quad + 18.3 \mu R_p U_0 (U_x - V_x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{d_{cy}} &= 0.446 R_p^2 \rho_m U_0^2 (U_y - V_y)^2 \\ &\quad + 5.71 U_0^{3/2} [R_p (U_y - V_y)]^{3/2} (\mu \rho_m)^{1/2} \\ &\quad + 18.3 \mu R_p U_0 (U_y - V_y) \end{aligned}$$

$$\frac{dV_x}{d\Gamma} = a + b F_{d_{cx}} + c \frac{X}{(X^2 + Y^2)^{3/2}}$$

$$\frac{dV_y}{d\Gamma} = a + b F_{d_{cy}} + c \frac{Y}{(X^2 + Y^2)^{3/2}}$$

Ayrıca küre etrafından geçen akışkanın x ve y yönündeki potansiyel akış hız denklemleri;

$$U_x = 1 + \frac{Y^2 - 2X^2}{(X^2 + Y^2)^{5/2}}$$

$$U_y = -\frac{3}{2} \frac{XY}{(X^2 + Y^2)^{5/2}}$$

ile;

$$\begin{aligned} F_{d_{cx}} = & 0.446R_p^2 \rho_m U_0^2 \left[1 + \frac{Y^2 - 2X^2}{(X^2 + Y^2)^{5/2}} - \frac{dX}{dT} \right]^2 \\ & + 5.71U_0^{3/2} \left[R_p \left(1 + \frac{Y^2 - 2X^2}{(X^2 + Y^2)^{5/2}} - \frac{dX}{dT} \right) \right]^{3/2} (\mu \rho_m)^{1/2} \\ & + 18.3\mu R_p U_0 \left(1 + \frac{Y^2 - 2X^2}{(X^2 + Y^2)^{5/2}} - \frac{dX}{dT} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{d_{cy}} = & 0.446R_p^2 \rho_m U_0^2 \left(-\frac{3}{2} \frac{XY}{(X^2 + Y^2)^{5/2}} - \frac{dY}{dT} \right)^2 \\ & + 5.71U_0^{3/2} \left[R_p \left(-\frac{3}{2} \frac{XY}{(X^2 + Y^2)^{5/2}} - \frac{dY}{dT} \right) \right]^{3/2} (\mu \rho_m)^{1/2} \\ & + 18.3\mu R_p U_0 \left(-\frac{3}{2} \frac{XY}{(X^2 + Y^2)^{5/2}} - \frac{dY}{dT} \right) \end{aligned}$$

Ayrıca Concha ve Almendra'ya (1979) göre relatif hız için;

$$u^* = \frac{20.52}{d^*} \left[(1 + 0.0921d^{*3/2})^{1/2} - 1 \right]^2$$

$$P = \left(\frac{3}{4} \frac{\mu^2}{(\rho_d - \rho_m) \rho_m g} \right)^{1/3}$$

$$Q = \left(\frac{4}{3} \frac{(\rho_d - \rho_m) \mu g}{\rho_m^2} \right)^{1/3}$$

$$d^* = \frac{d}{P}$$

$$u^* = \frac{U_0}{Q}$$

$$U_0 = Q \left\{ \frac{20.52}{\frac{d}{P}} \left[\left(1 + 0.0921 \left(\frac{d}{P} \right)^{3/2} \right)^{1/2} - 1 \right]^2 \right\}$$

olarak U_0 hızı da elde edilmiş olur. Burada;

u^* : Boyutsuz çökme hızı

d^* : Boyutsuz damla çapı

P : Damlanın karakteristik büyüklük parametresi

Q : Damlanın karakteristik hız parametresi

d : Küresel damlanın çapı 'dır.

Potansiyel akış denklemleri ile x, y doğrultularında olarak;

$$\frac{d^2 X}{d\Gamma^2} = a + bF_{d_{cx}} + c \frac{X}{(X^2 + Y^2)^{3/2}}$$

ve

$$\frac{d^2 Y}{d\Gamma^2} = bF_{d_{cy}} + c \frac{Y}{(X^2 + Y^2)^{3/2}}$$

nihai yörünge denkleminde ulaşılmış olur.

Yukarıdaki nihai denklemler görüldükleri gibi birer ikinci dereceden simültane diferansiyel denklemdir. Bu denklemlerin çözümü mümkün olmadığı için, toz tanesinin ve damlanın relatif hareketinin irdelenmesi amacıyla, denklem çözümlerinin nümerik yollarla çözümü gerekmektedir.

Bulut'a (1997) göre birinci dereceden bir diferansiyel denklemin çözümü "bir noktadan başlayarak adım adım diğer noktaların bulunması temeline" dayanmaktadır.

Bir başlangıç değer problemi;

$$y' = f(x, y), \quad y(x_0) = y_0$$

olsun. $x_0 + h, x_0 + 2h, \dots, x_0 + nh$ için y_1, y_2, \dots, y_n değerlerinin bulunması, başlangıç değer probleminin çözümüdür.

X ve Y'lerin elde edilmesinde kullanılan ikinci dereceden diferansiyel denklemler çözümleri Heun metodu yardımıyla çözümlenebilmektedir.

Bu metot, ikinci basamaktan nümerik hesap ($t = 2$) yollarının en çok kullanılan olanıdır. t sayısı kuralın kaç safhada gerçekleştirilmesine karar vermek için kullanılır. Metodun esasları k_1 ve k_2 değerleri hesaplanarak y değerine ulaşılması olarak tanımlanabilmektedir (Bulut, 1997).

Böylece Heun metodu;

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{N}$$

$$k_1 = f(x_j, y_j)$$

$$k_2 = f\left(x_j + \frac{2}{3}h, y_j + \frac{2}{3}hk_1\right)$$

ve

$$y_{j+1} = y_j + h\left(\frac{1}{4}k_1 + \frac{3}{4}k_2\right)$$

formülleri ile hesaplanır. Burada; h diferansiyel denklemin çözümündeki adım aralığı, N ise adım sayısıdır.

Bulunan yörünge denklemleri ikinci mertebeden diferansiyel denklemler oldukları için, diferansiyel denklemler iki adet birinci dereceden diferansiyel denkleme indirgenerek hesaplanır. İkinci dereceden bir diferansiyel denklem;

$$y'' = f(x, y, y')$$

'dir. Örnek olarak

$$y''(x) = y(x)y'(x) + x^2 + 1$$

ikinci dereceden diferansiyel denklemi alındığında.

$$y(0) = y'(0) = 0$$

koşullarıyla,

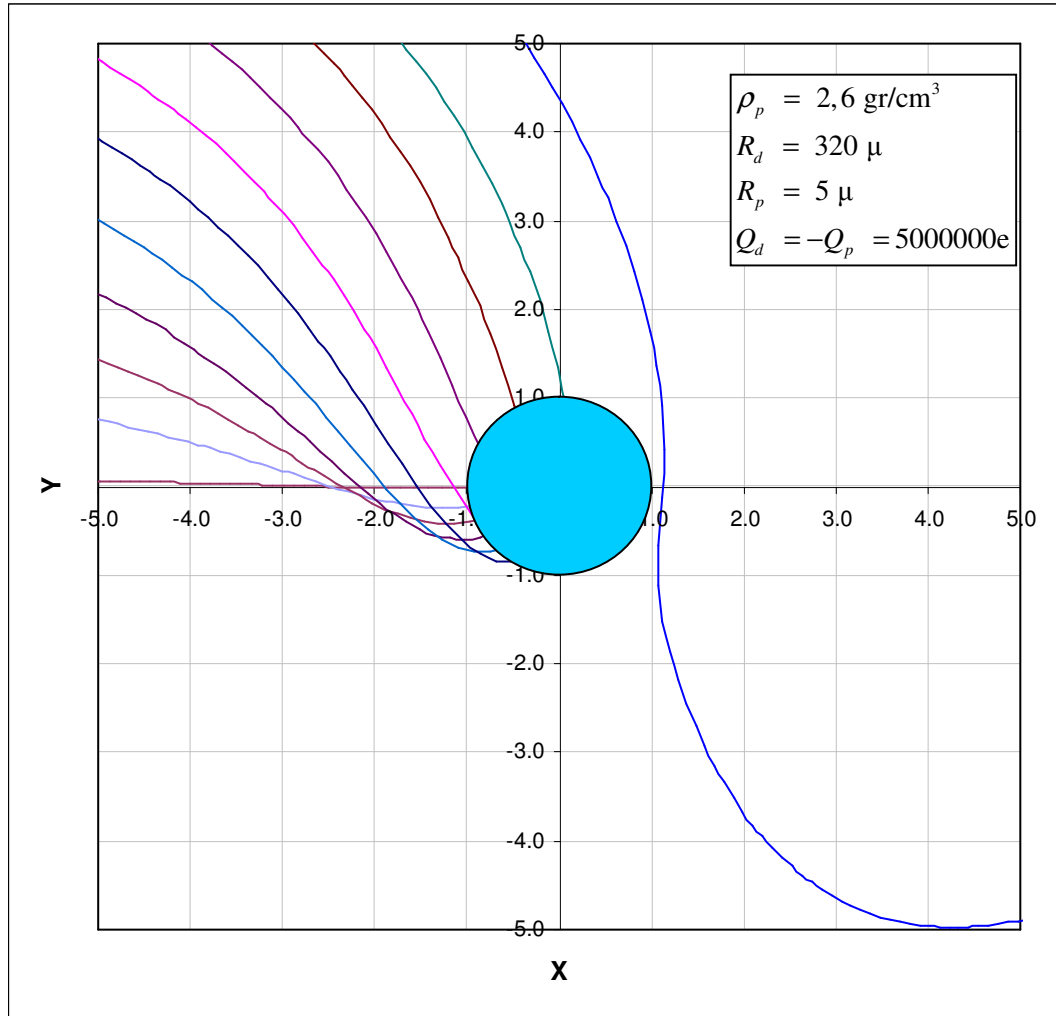
$$y_1(x) = y(x), \quad y_2(x) = y'(x)$$

ve

$$\begin{aligned} y_1'(x) &= y_2(x) & y_1(0) &= 0 \\ y_2'(x) &= y_1(x)y_2(x) + x^2 + 1 & y_2(0) &= 0 \end{aligned}$$

olarak bulunmuş olur. Böylece ikinci dereceden bir diferansiyel denklem, iki adet birinci diferansiyel denkleme dönüşmüştür. Bu şekilde, modelden elde edilen simültane ikinci dereceden diferansiyel denklem Heun metodu ile de aynı şekilde çözülebilmektedir.

Modelden elde edilen X ve Y koordinatlarını bulmak için bir bilgisayar programı yazılmış ve böylece damlanın hareket yörüngesi elde edilmiştir (Şekil 3.5).

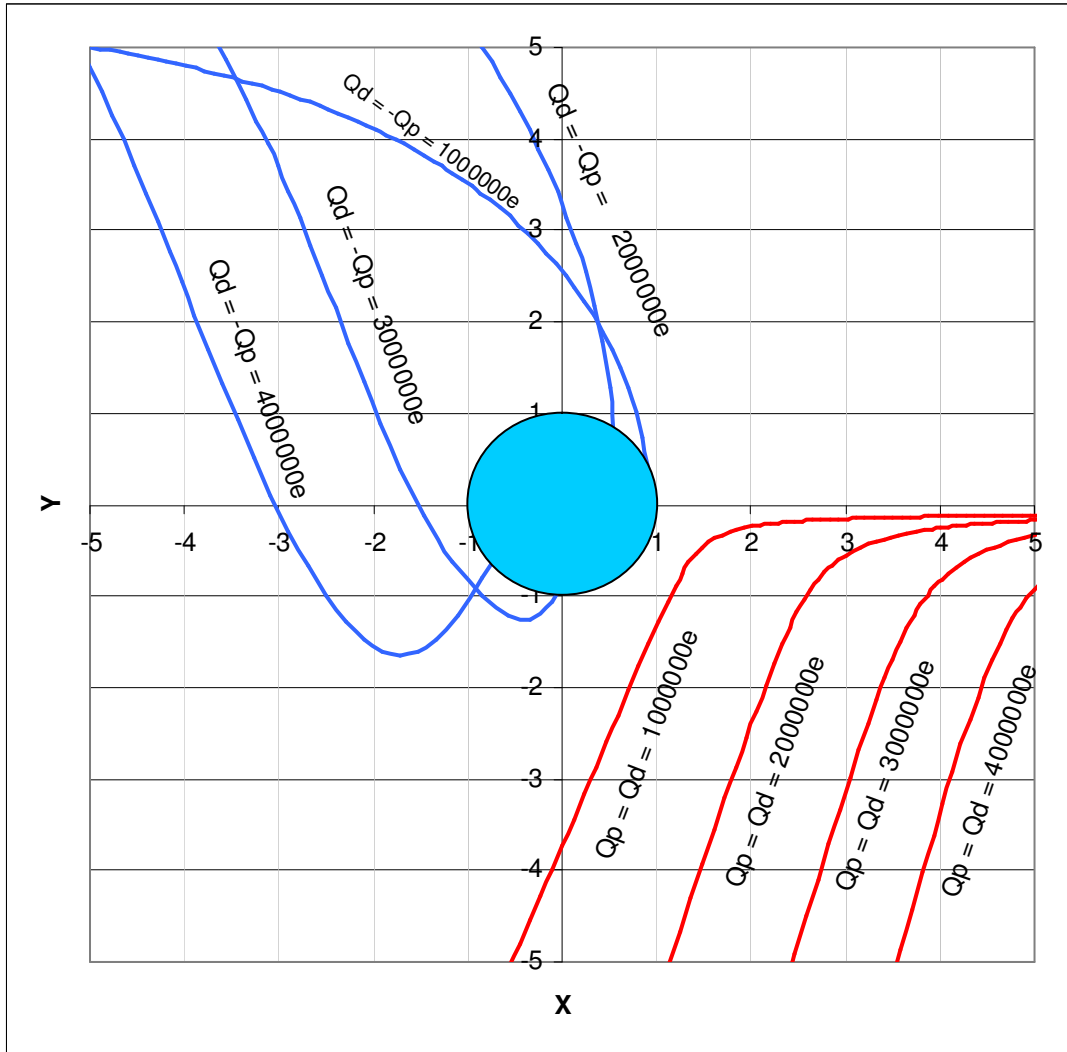


Şekil 3.5 320 µm yarıçapındaki bir su damlası ile 5 µm yarıçapındaki bir tanenin havadaki etkileşiminin grafiği.

Yazılan bilgisayar programı ile farklı ortam koşulları (hava yoğunluğu) için; tanenin büyüklüğü, yoğunluğu ve yükü veya su damlasının büyüklüğü ve yükü

değiştirilebilmektedir. Böylece program ile farklı koşullar altında, tane veya damlanın farklı özelliklerinde de çalıştırılıp yeni sonuçlar elde edilebilmektedir.

Örneğin aynı şekilde, 10 mikron boyutundaki bir linyit kömürü toz tanesinin 400 mikron boyutundaki bir su damlası tarafından tutulması Şekil 3.6'da verilmektedir. Şekilde mavi renkli olan yörüngeler tanenin (-) yüklü ve damlanın (+) yüklü, kırmızı olan yörüngeler ise tane ve damlanın aynı yüklü olduğu yörüngelerdir.



Şekil 3.6 400 µm çapındaki bir su damlası ile 10 µm çapındaki taneler ve yük değişimleri için yörüngeler

Şekil 3.6'dan görüleceği üzere, aynı yüklü olan tane ve damla birbirini itmektedirler ve yük arttıkça tane ve damla yük giderek artarken birbirinden

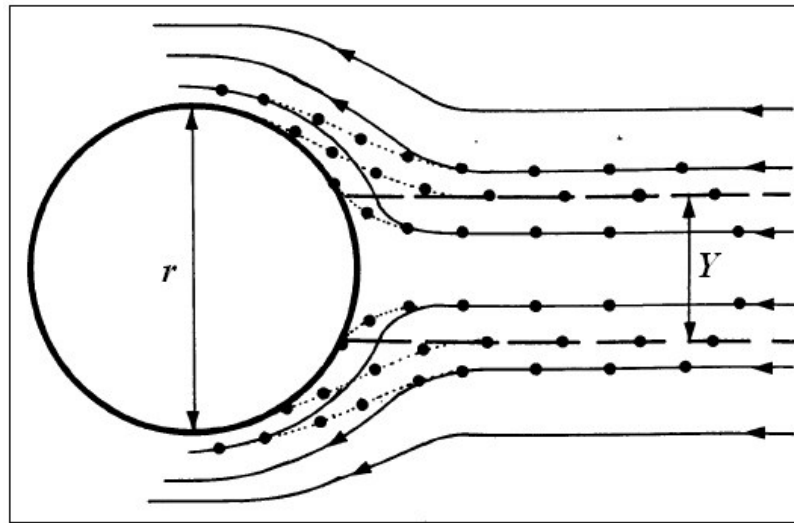
uzaklaşmaktadır. Aynı şekilde farklı (+) yüklü olan damla ve (-) yüklü olan taneler birbirini çekmekte, yük arttıkça tane ve damla arasındaki etkileşim daha da artmaktadır.

3.3 Model Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Ocak içindeki koşullar, cevheri veya kömürü kesen makine, cevher veya kömürün özellikleri toz oluşumunu yakından ilgilendirmektedirler. Bu yüzden, tozların su spreyleriyle tutulmasında bu değişkenler göz önünde tutulmalıdır.

Bir su damlasının ne kadar alanı süpüreceği, o spreyin ne kadar verimli olacağı bir göstergesidir. Bir su damlası ne kadar alanı süpürürse o kadar çok tozu tutabilmektedir. Bu yüzden yapılan çalışmada damla çapı, tane çapı, hava yoğunluğu, tane yoğunluğu ve yükler belirli sınır değerlerinde değiştirilerek ne kadar alanı (Y) süpürdükleri, yani damlanın tozları ne kadar bir aralıkta tutabileceği kabiliyeti araştırılmıştır (Şekil 3.7). Burada r ise damla çapıdır.

Oluşturulan grafiklerde ise apsis ve ordinat değerleri (damla çapı, Y ; yük, Y ; vb.) bilgisayar programı ile elde edilen veriler yardımı ile çizilmiştir. Bu değerler farklı koşullarda farklı değerler aldıklarından noktasal olarak grafikte gösterilip, daha sonra bu verilerden elde edilen eğim çizgisiyle eğriler eklenmiştir.



Şekil 3.7 Y kadar alanın r çaplı bir su damlasının ile süpürebilmesi

Çalışmada kullanılan ortam koşulları, tane ve damla özellikleri aşağıda verilmektedir:

$$\rho_{hava} = 1,23 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{damla} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{tane} = 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$R_{damla} = 320 \text{ } \mu$$

$$R_{tane} = 5 \text{ } \mu$$

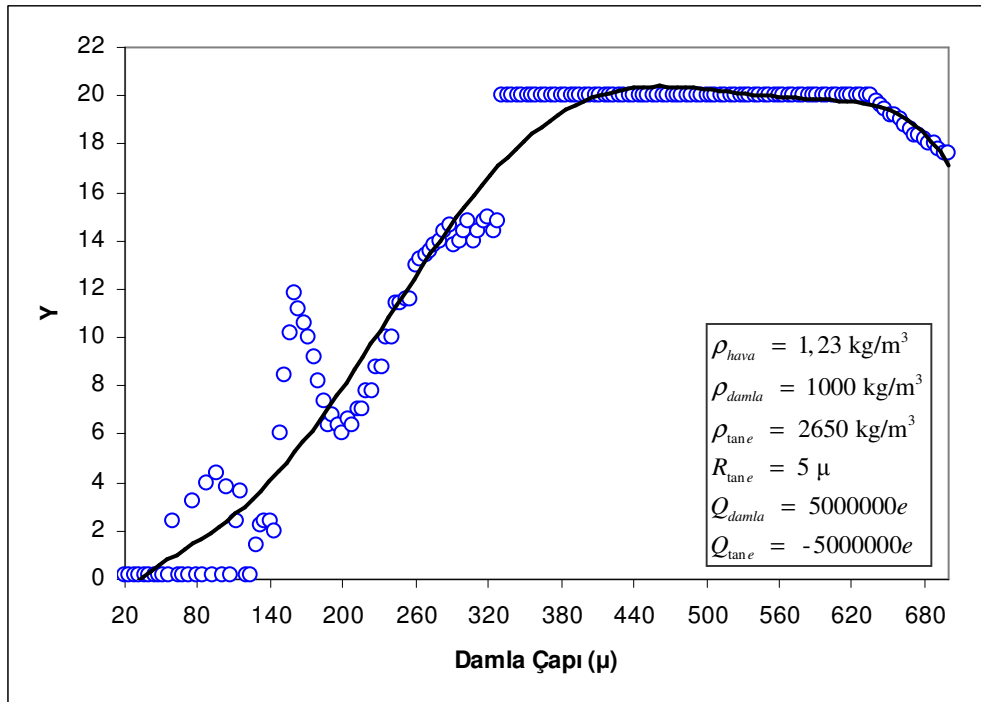
$$Q_{damla} = 5000000e$$

$$Q_{tane} = -5000000e$$

Yazılan bilgisayar programında Y değerleri " $Y / 2$ " şeklinde elde edildiğinden, Y değerleri iki ile çarpılarak grafikler elde edilmiştir.

3.3.1 Damla Çapı Değişimi

Damla çapı 20–700 mikron arasında değiştirilerek damlanın süpürebileceği alanlar hesaplanmış ve de Şekil 3.8’de verilen grafik elde edilmiştir.

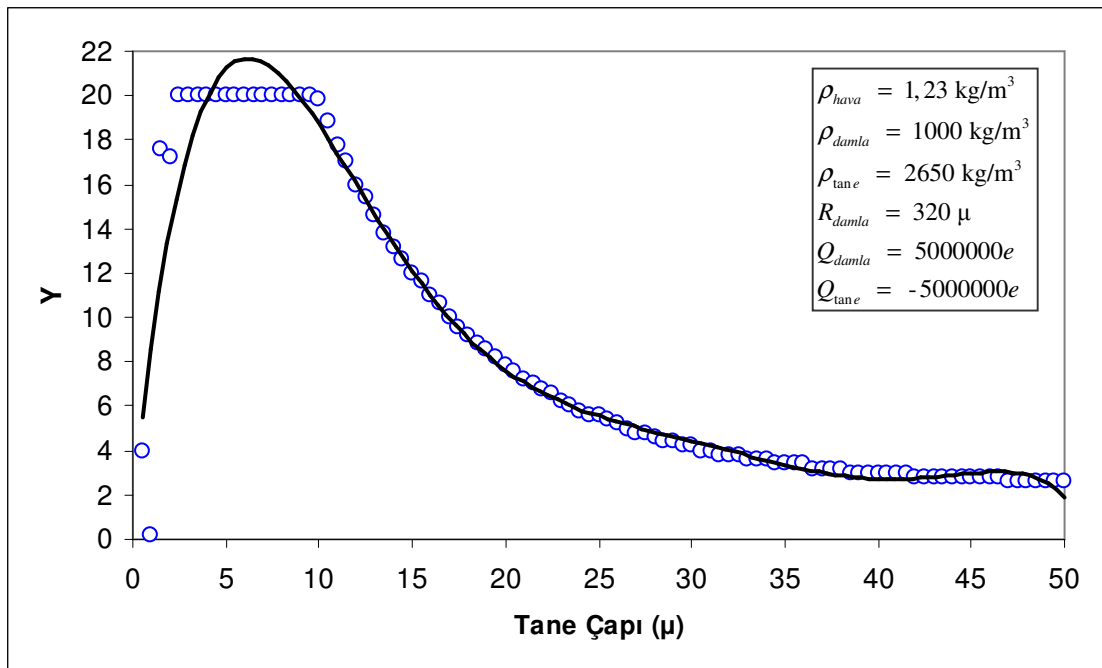


Şekil 3.8 Damla çapı ve süpürülen alan ilişkisi

Bilgisayar programı ile elde edilen verilerde ise 20 mikron çaplı damla sadece 0,2'lik bir alanı süpürebilmektedir. Damla çapı 20–200 mikron arasında süpürme alanı değişimler göstermiş, 200–332 mikron damla çapı arasında süpürme alanı tam bir artış göstererek, 332–636 mikron arasında maksimum alanı süpürmüş ve 636 mikrondan sonra süpürdüğü alan azalmıştır.

3.3.2 Tane Çapı Değişimi

Tane çapı 0,5–50 mikron arası değiştirilerek Şekil 3.9 elde edilmiştir.

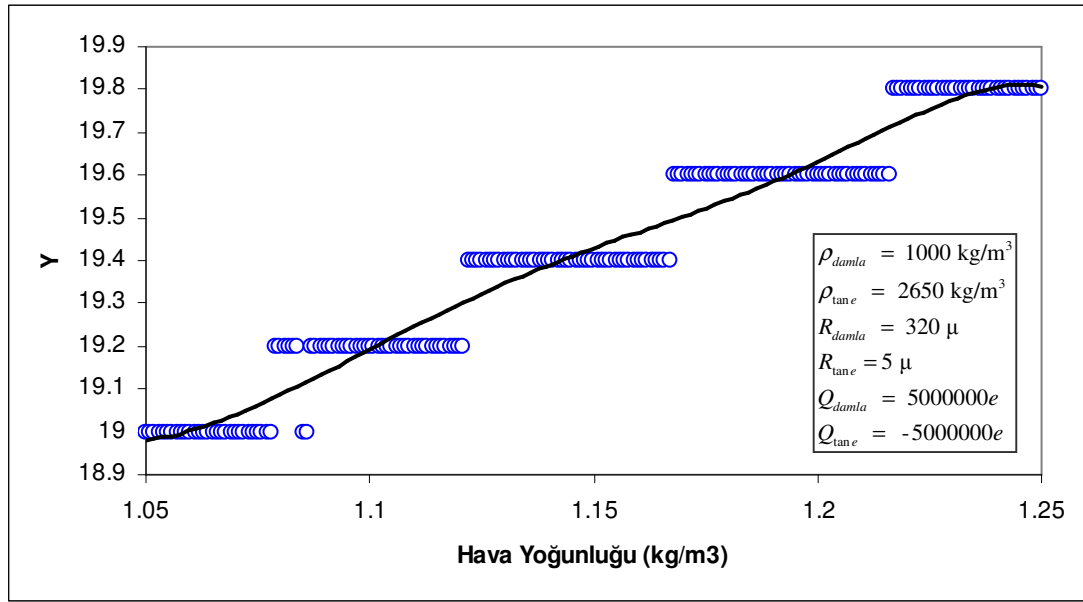


Şekil 3.9 Tane yarıçapı ve süpürülen alan ilişkisi

Tane çapı 0,5–50 mikron arasında değiştirildiğinde, tane çapı arttıkça damlanın süpürdüğü alan artmakta ve tane çapı 2,5–9,5 mikron olduğu aralıkta maksimum değere ulaşmaktadır. 9,5 mikrondan sonra giderek süpürme alanı azalmıştır.

3.3.3 Hava Yoğunlu Değişimi

Yeraltı maden ocaklarında ocak içi havanın yoğunluğu değişiklik göstermektedir. Hava yoğunlu 1,05–1,25 kg/m³ olarak değiştirildiğinde Şekil 3.10'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 3.10 Hava yoğunluğu ve süpürülen alan ilişkisi

Şekil 3.10'dan görüldüğü gibi hava yoğunluğu arttıkça damlanın süpürdüğü alan da artmaktadır. Yazılan bilgisayar programında Y değerleri 0,1 arttırıldığından dolayı (0,1 x 2), hava yoğunluğu arttıkça Y değerleri 0,2'şer artmaktadır.

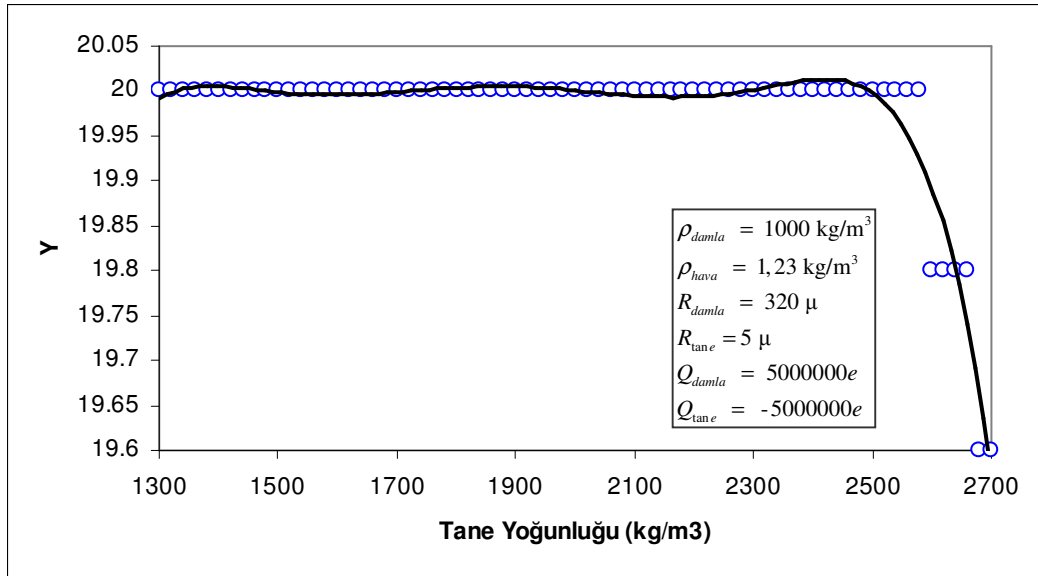
Maksimum hava yoğunluklarında damlanın süpürdüğü alan da artmaktadır. Bunun yanında, hava yoğunluğu 1,05–1,078 kg/m^3 arasında süpürülen alan minimum, 1,217–1,25 kg/m^3 arasında süpürülen alan maksimum değeri almıştır. Fakat süpürülen alan değişimi 9,5–9,9 olduğundan değişim pek de önemli değildir.

3.3.4 Tane Yoğunlu Değişimi

Kömür üretimi yapılan maden ocaklarında kömürden başka yan kayaç olarak marn ve silikat da üretim sırasında kazılabilir. Ayrıca bilindiği üzere, yan kayaç olan kuvars tozu insan sağlığına çok zararlıdır. Tablo 3.1'deki yoğunluklar göz önüne alınarak, tane yoğunluğu 1,3–2,7 gr/cm^3 arasında değiştirilerek Şekil 3.11 elde edilmiştir.

Tablo 3.1 Kayaç ve kömürlerin ortalama yoğunluk değerleri

Kazılan kömür	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kazılan yan kayaç	Yoğunluk (gr/cm ³)
Taş Kömürü	1,3	Marn	2,6
Linyit	1,5	Silikat	2,7



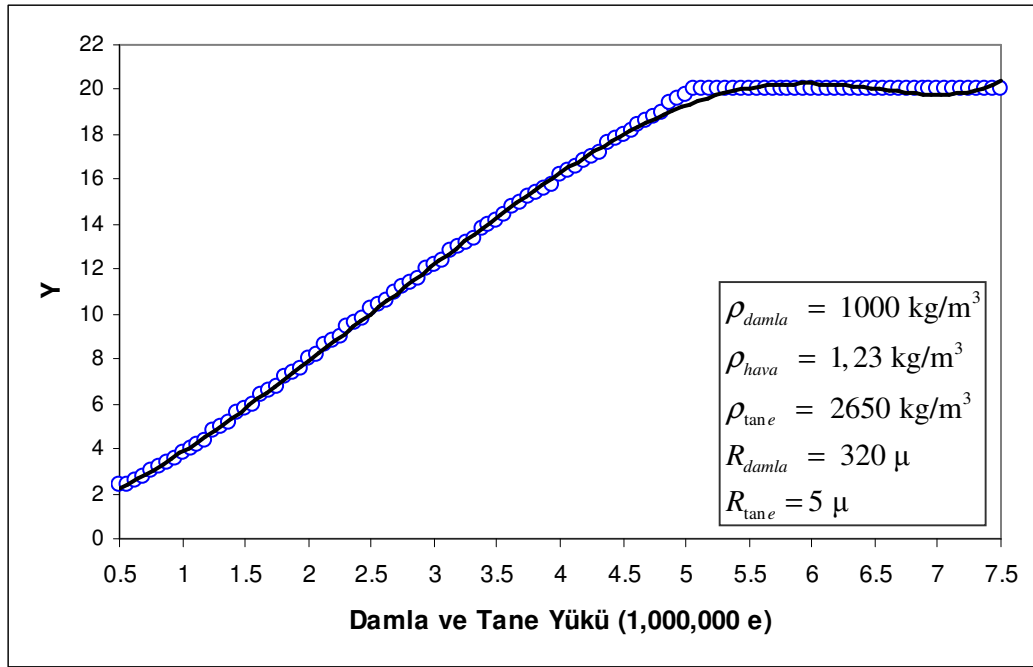
Şekil 3.11 Tane yoğunluğu ve süpürülen alan ilişkisi

Şekilden görüldüğü gibi tane yoğunluğu arttıkça 2575 kg/m³'e kadar süpürülen alan maksimum değerdedir. 2575 kg/m³'den sonrası -yani yan kayaktan kopan tozlar ocak ortamında iken- süpürme alanlarında bir düşüş görülmektedir. Fakat azalma pek fazla değildir.

3.3.5 Yük Değişimi

Tane ve damlanın yükleri $5 \cdot 10^5$ e – $7,5 \cdot 10^6$ e arasında değiştirilmiştir ve Şekil 3.12 elde edilmiştir.

Şekilden görüldüğü gibi, $5 \cdot 10^6$ e'ye kadar damla ve tane yükü arttıkça damlanın süpürme alanı artmaktadır. $5 \cdot 10^6$ e'den $8 \cdot 10^6$ e'ye kadar ise süpürme alanı maksimum değerdedir.



Şekil 3.12 Tane ve damla yükü ve süpürülen alan ilişkisi

3.3.6 Tüm Özelliklerin Birbiri İle Değişimi

Önceki bölümlerde Y ve diğer değişkenlerin teker teker değişimi araştırılmış, aşağıda verilen şekillerde ise tüm değişkenler sırası ile değişirken Y süpürme alanları incelenmiştir. Tablo 3.2’de tane, damla yarıçapları ve hava yoğunluklarının hangi sınırlarda seçildikleri verilmektedir. Damla yarıçapı, toz yarıçapı ve hava yoğunluklarının birbiri ile değişimlerinin incelenmesindeki kasıt, bir damlanın ne kadar alanı süpürebileceğinin veriminin incelenmesidir.

Aşağıda verilen diğer değişkenler sabit tutulmuştur;

$$\rho_{damla} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

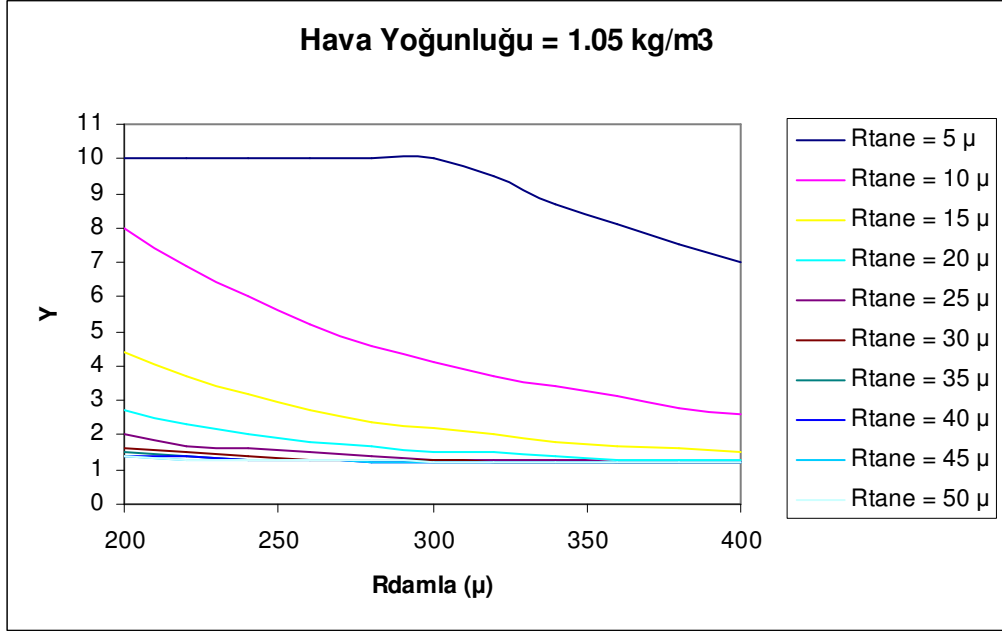
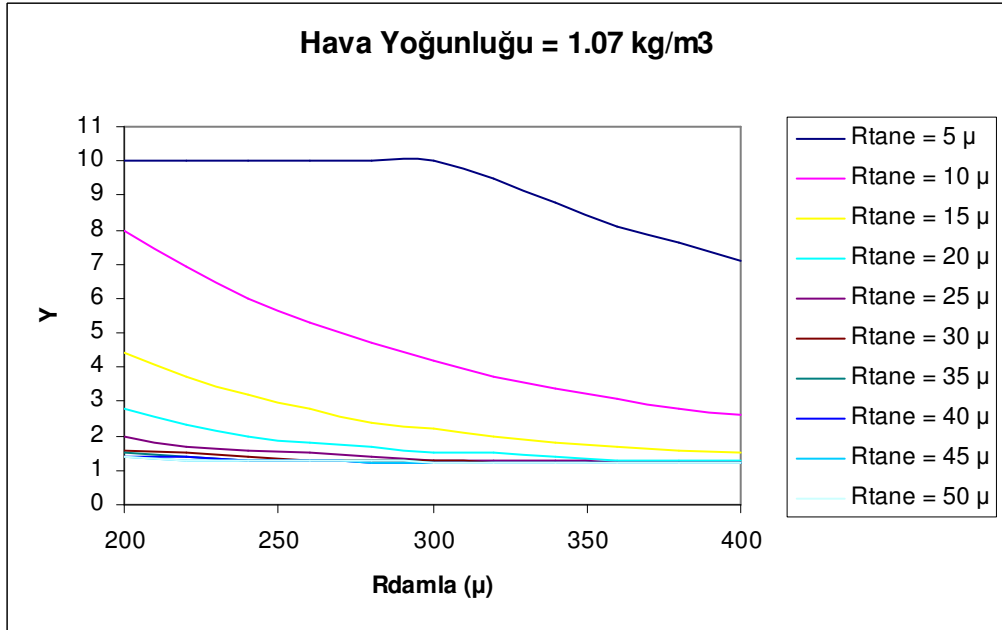
$$\rho_{tane} = 2650 \text{ kg/m}^3$$

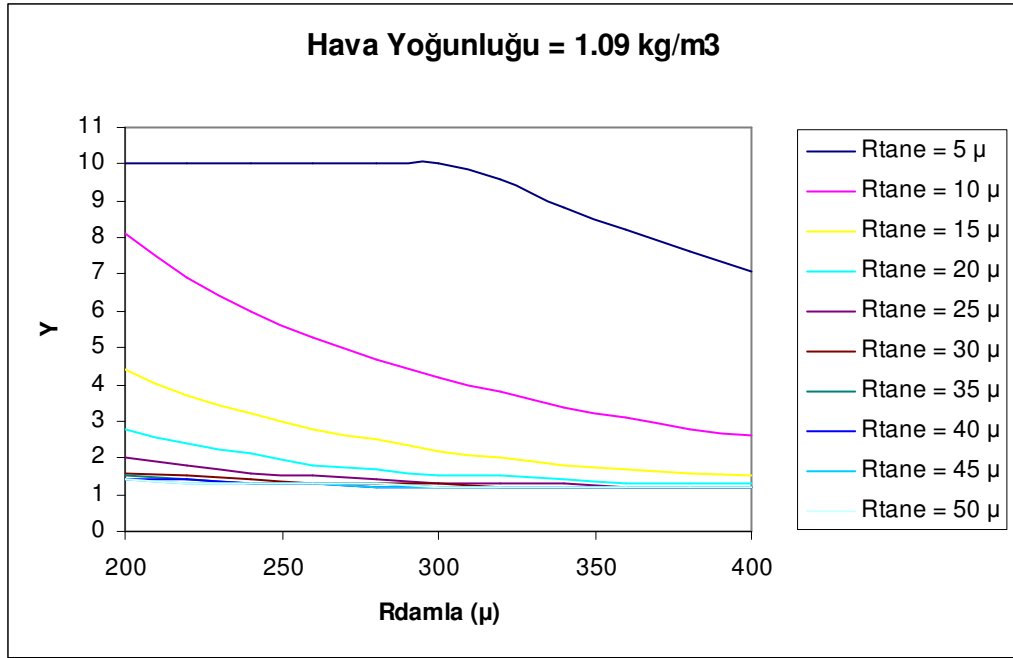
$$Q_{damla} = 5000000e$$

$$Q_{tane} = -5000000e$$

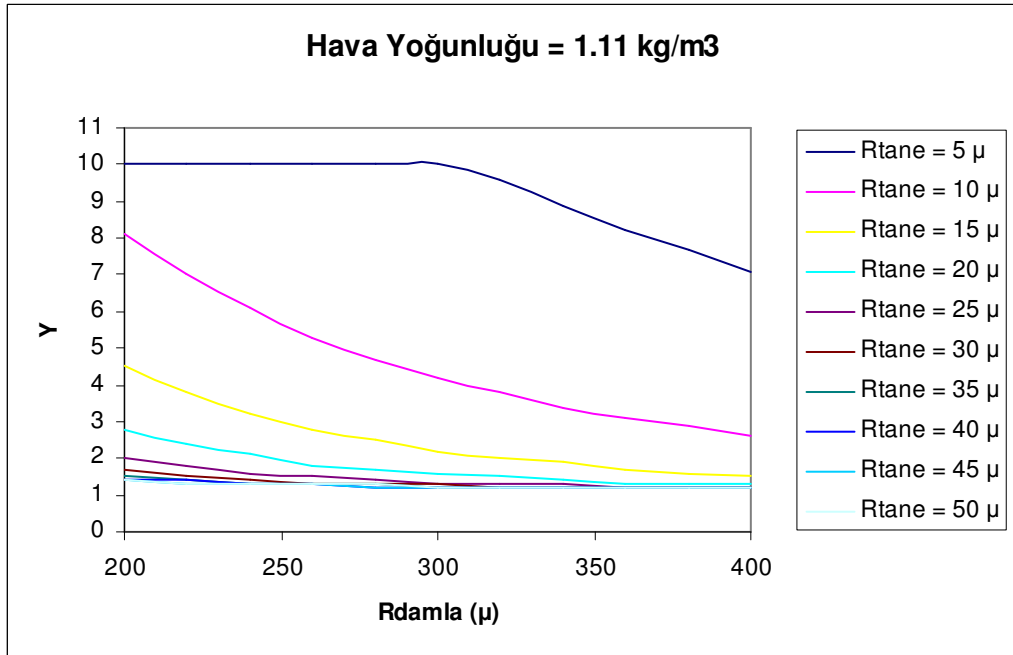
Tablo 3.2 Karşılaştırmalar için sınır değerleri

	Sınır değerleri
Hava Yoğunluğu	1,05–1,23 kg/m ³
Tane Yarıçapı	5–50 µ
Damla Yarıçapı	200–400 µ

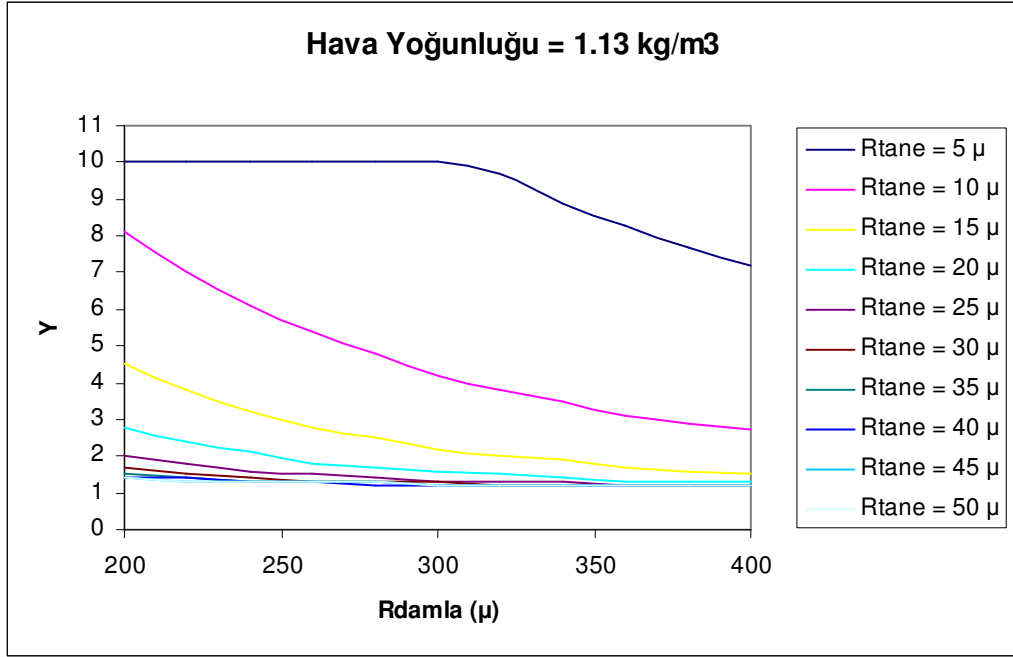
Şekil 3.13 Hava yoğunlu 1,05 kg/m³ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleriŞekil 3.14 Hava yoğunlu 1,07 kg/m³ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri



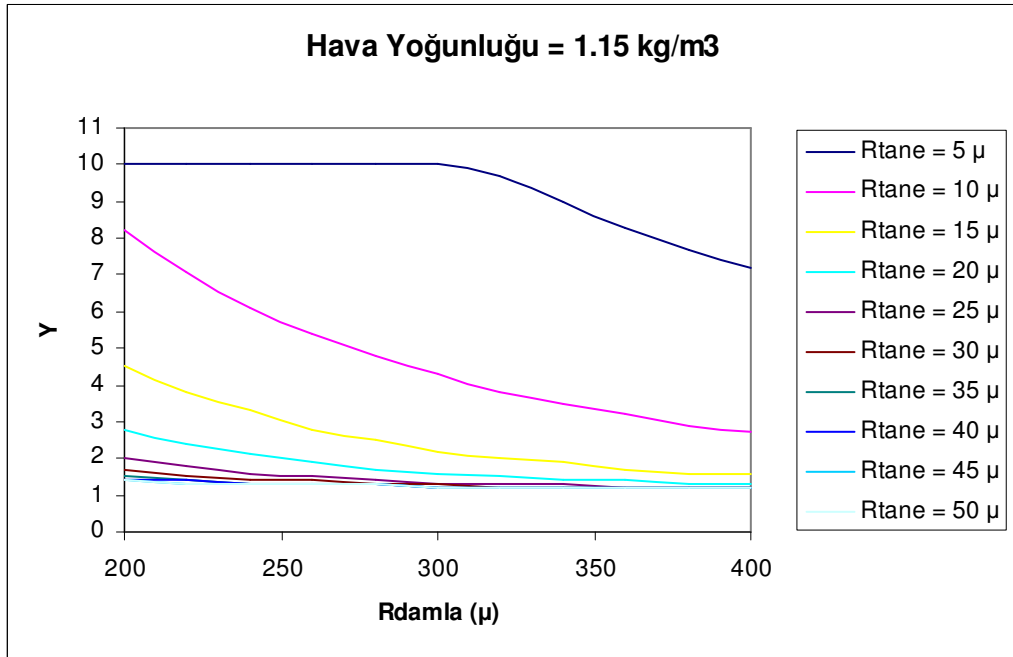
Şekil 3.15 Hava yoğunlu 1,09 kg/m³ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri



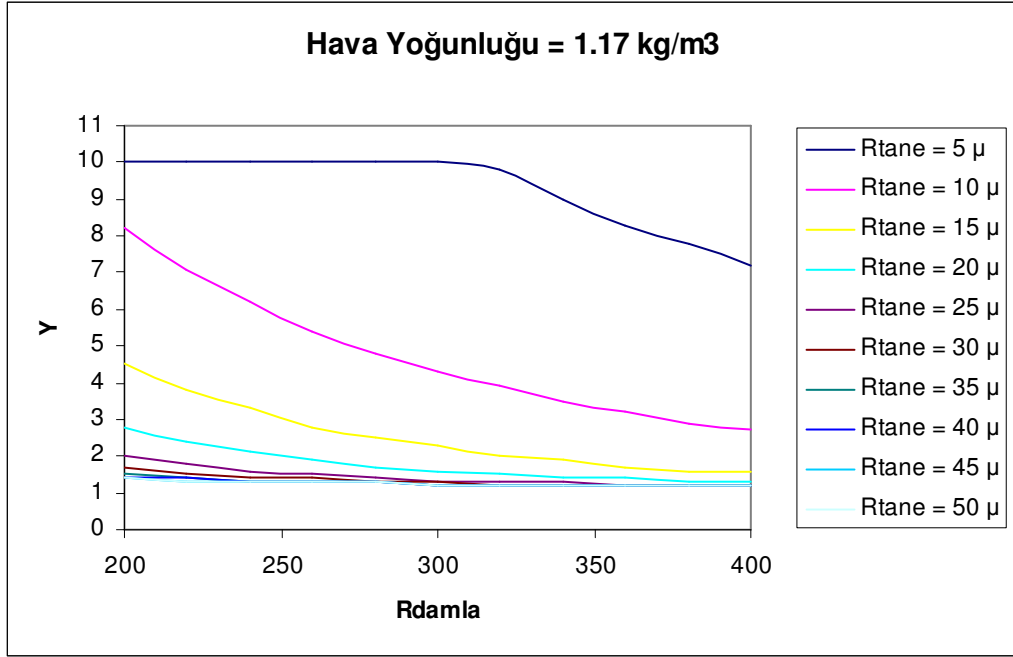
Şekil 3.16 Hava yoğunlu 1,11 kg/m³ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri



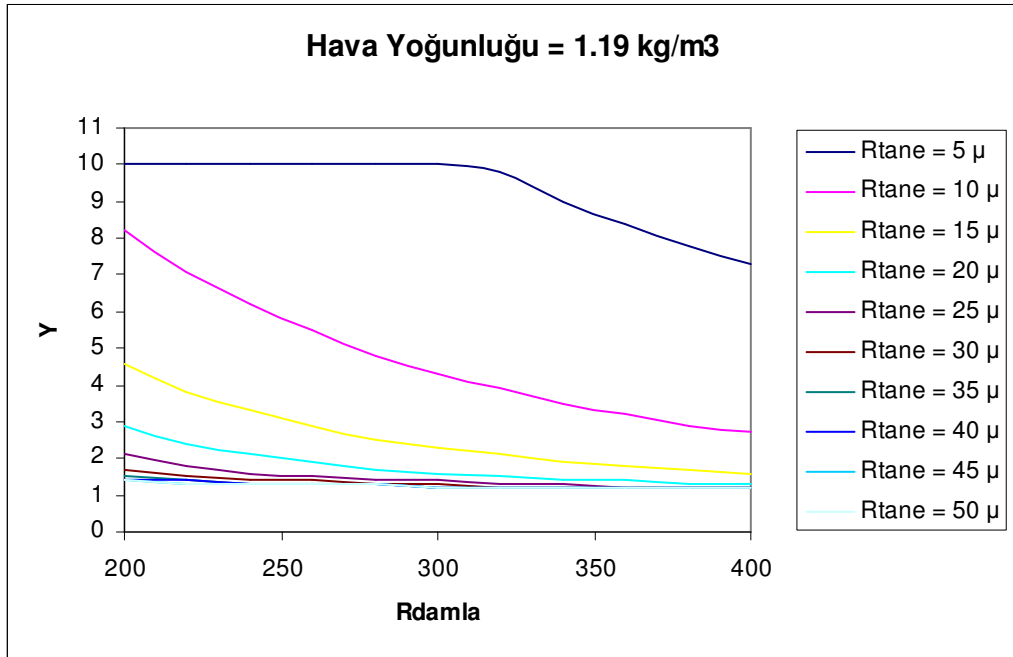
Şekil 3.17 Hava yoğunlu 1,13 kg/m³ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri



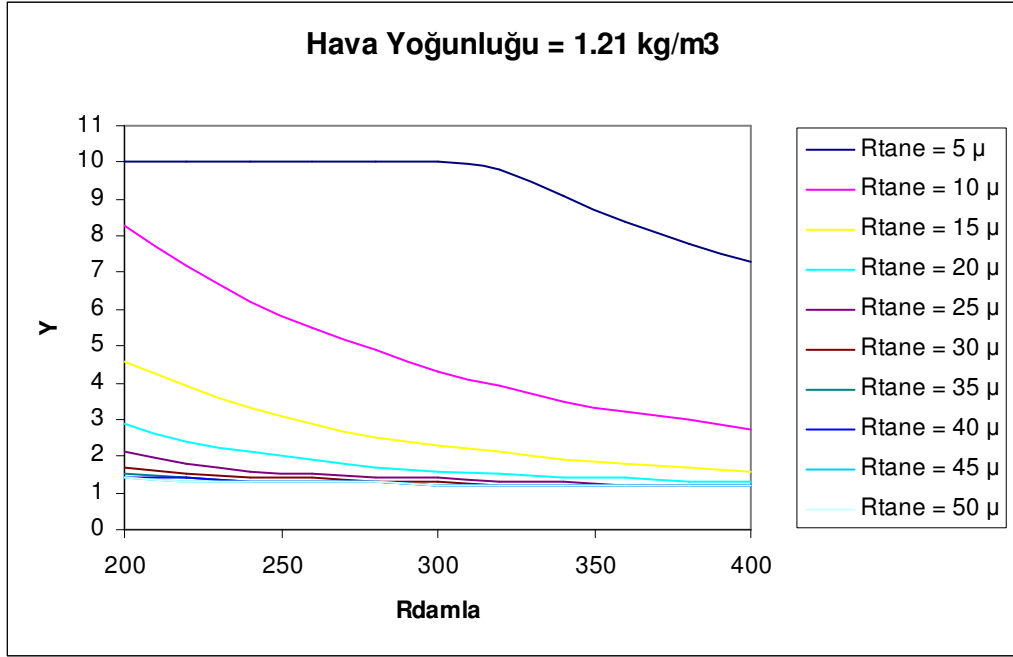
Şekil 3.18 Hava yoğunlu 1,15 kg/m³ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri



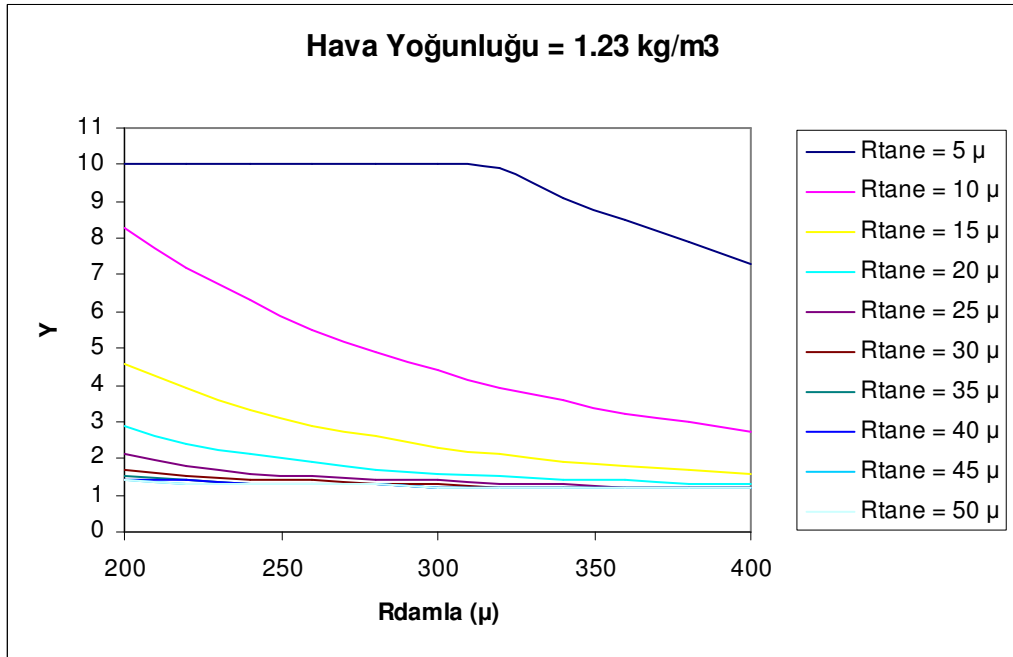
Şekil 3.19 Hava yoğunlu 1,17 kg/m³ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri



Şekil 3.20 Hava yoğunlu 1,19 kg/m³ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri



Şekil 3.21 Hava yoğunlu $1,21 \text{ kg/m}^3$ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri



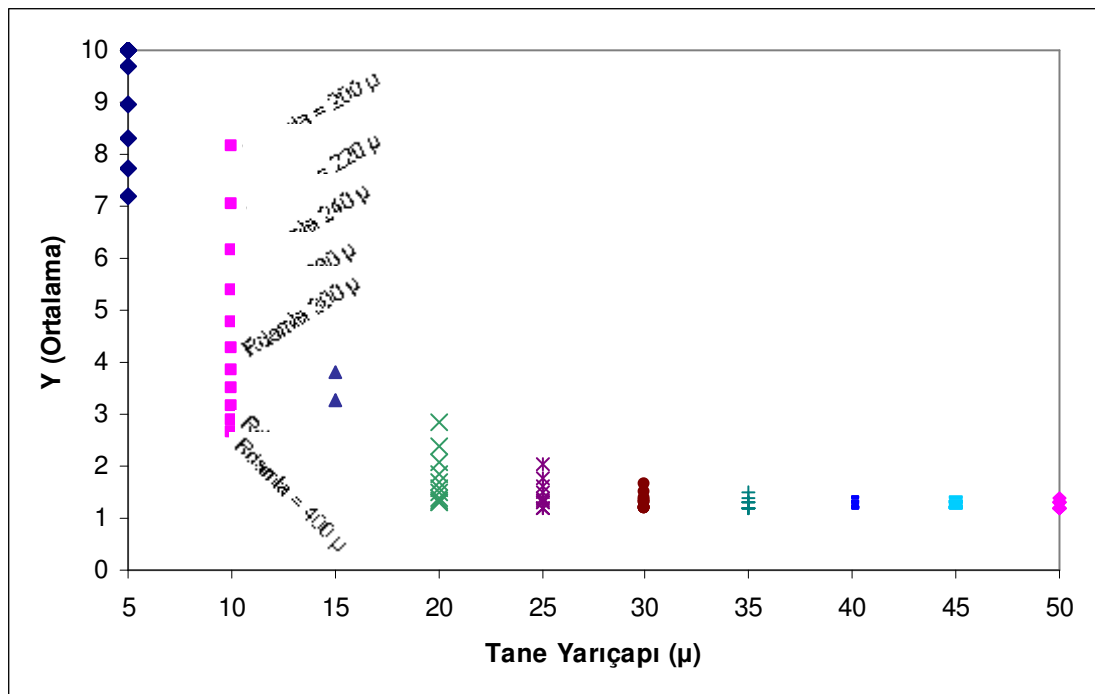
Şekil 3.22 Hava yoğunlu $1,23 \text{ kg/m}^3$ iken farklı toz yarıçapları için damla yarıçapı ve Y değişimleri

Şekillerden görüldüğü gibi hava yoğunluğunun $1,05\text{--}1,23\text{ kg/m}^3$ olduğu aralıkta $5\text{--}50\ \mu$ olan tanelerin, damla yarıçapı $200\text{--}400\ \mu$ aralığında ne kadar alanı süpürdükleri verilmektedir.

Her bir şekilden de görüleceği gibi, değişen hava yoğunlukları ile süpürme alanlarında pek bir değişiklik olmamaktadır. Bununla birlikte, küçük taneler daha kolay tutulabilmekte fakat damla yarıçapı arttıkça süpürme alanları da azalmaktadır.

Bunun yanında, elde edilen grafiklerin birbirine çok yakın sonuçlar verdiklerinden dolayı Y değerleri üzerinde araştırmaya gidilmiştir. Elde edilen verilerle toz tane yarıçapı 20 mikron ve damla yarıçapı $280\text{--}400$ mikron arası; tane yarıçapı 25 mikrondan sonrası ve damla yarıçapı $200\text{--}400$ mikron arası tüm taneler için havanın yoğunluğu ne olursa olsun, damlanın süpürdüğü alan değişmemektedir.

Bunun daha iyi gösterilebilmesi için Y süpürme alanlarının ortalamaları alınmış ve tane iriliği ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Her hava yoğunluğu için Y değerlerinin ortalamaları ve toz tane yarıçaplarının karşılaştırılması

Şekil 3.23'den görüldüğü gibi farklı hava yoğunlukları ve damla yarıçaplarında Y değerleri 5 mikron toz yarıçapında çok farklı değer alırken, tane yarıçapı arttıkça hava yoğunlu ve damla yarıçapı ne olursa olsun Y değerleri arasındaki fark azalmakta ve en sonunda tüm Y değerleri birbirine eşit olmaktadır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yeryüzünün her yerinde toz oluşumuna rastlanmaktadır. Toz; belirli bir eylem neticesinde genel olarak tane iriliği 1 ila 100 µm arasında oluşan; bu tane iriliğine ve ortam koşullarına göre gözle görülüp veya görülemeyen; tane iriliğine, tozun özelliklerine ve ortam koşullarına göre havada asılı kalabilen ve belirli bir elektriksel yüke sahip olan parçacıklardır. Bunun yanında tozun, ince tane sınıfında insan sağlığına olumsuz anlamda etki eden bir yapısı bulunmaktadır. Ayrıca, tozun aglomeratlar halinde olması özelliği toz tane iriliğinin farklı yorumlanmasına neden olmaktadır.

Özellikle, insan sağlığına verilen önemin artması ve aynı zamanda değişen ekonomik koşullar ve maden sektöründeki daralmalar ile birlikte oluşabilecek verim veya kar kayıplarını minimum düzeye indirmek için, madencilik faaliyetlerinde oluşabilecek her türlü olumsuzluğa mahal vermemek istenmektedir. Bu yüzden kurum ve kuruluşlar son yıllarda işçi sağlığı ve iş yeri güvenliğine önemli ölçüde özen göstermektedir. Bunun yanında, bu özen eylemi son 40–50 yılda ayrı bir bilim dalı haline gelmiştir.

Madencilik açısından tozun önemi çok büyüktür. İster açık ve kapalı işletmeler olsun, ister cevher hazırlama tesisleri veya tünel açma faaliyetleri olsun, toz oluşumu her zaman üstesinden gelinmesi gereken sorunlardan biridir. Özellikle yeraltı işletmelerinde toz oluşumu çalışanların ileride telafi edilemez hastalıklara yakalanmalarına neden olmaktadır. Tozun oluşumu ve tozu oluşturan malzemenin (kömür, cevher, yantaş veya kayaç) cinsi ve içindeki mineraller tozu farklı etkilerle insan sağlığına zararlı hale getirmektedir. Bunun yanında, özellikle kömür ocaklarında hava konsantrasyonuna karışan kömür tozu ateşleyici etkenlerle bu toza patlayıcı özellik vermektedir.

Yeraltı ocaklarındaki toz oluşumu; hazırlık, üretim, doldurma, boşaltma ve nakliye çalışmaları sırasında oluşmaktadır. Bunun yanında; kömür, cevher ve yantaş özellikleri ve havalandırma toz oluşumuna etkiyen parametrelerdir. Toz oluşumunu belirli sınır değerlere getirmek için belirli aralıklarda toz ölçümlerinin yapılması şarttır. Farklı prensiplerde çalışan ve farklı özelliklere sahip toz ölçüm aletlerinin bulunmasına rağmen, önemli olan ölçümün sağlıklı yapılmasıdır.

Oluşan tozların ocak içindeki davranışları tozların bastırılmasında önemli bir kriterdir. Oluşan tozlar kendi özellikleri ve ocak içi koşullarla birlikte farklı hareket şekilleri göstermektedirler. 10 µm'den büyük taneler kendiliğinden çökebilmekte, 10 µm'den küçük taneler havada asılı kalmaktadır. Havada asılı taneler insan sağlığı için tehlikelidir. Özellikle 0,5 – 5 µm arası olan taneler tüycükler tarafından tutulmamakta, alveollere erişmekte ve burada depolanıp akciğer dokusu tahriş etmektedirler. İleride telafi edilemez hastalıklara sebep olan bu tane iriliğindeki tozların belirlenmiş sınır değerleri arasında tutulması ve ocak havasından mümkün olduğunca uzaklaştırılması veya bastırılması gerekmektedir.

Tozla mücadele birçok yöntem geliştirilmiştir. Madenlerde genel olarak kullanılan tozla mücadele yöntemleri; etkin bir havalandırma, köpük, ıslatma, filtreler ve su spreyledir. Bu metotların her birinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Önemli olan; madencilik çalışmalarına başlamadan önce planlamanın doğru yapılması, üretim şeklinin doğru seçilmesi ve cevher, kömür veya yan kayaç özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun yanında; üretim yapacak makine, nakliyat sistemi ve tahkimatın o ocak içindeki toz oluşumunu minimum düzeyde tutabilecek şekilde seçilmesi önemlidir. Ayrıca, üretime başladıktan sonra ise, tozun kaynağında oluşumunun önlenmesi gerekmektedir.

Toz oluşumunun bastırılmasında en çok kullanılan yöntem su spreyledir. Toz oluşumunun bastırılmasında en çok kullanılan yöntem su spreyledir. Bu yöntemin verimi hiçbir zaman istenilen seviyede olmasa da her geçen gün bu yöntemin geliştirilmesi için çalışılmaktadır.

Bu yöntemin geliştirilme aşamalarından birisi ise kullanılan suya sürfaktantların katılmasıdır. Havada asılı toz tanelerinin yüklü olduğu bilinmekte, spreylerden gönderilen su damlalarının yüzey geriliminin arttırılması ve toz tutma veriminin gelebileceği en yüksek değere ulaşması için sürfaktantlar spreylerde kullanılan suya katılmaktadır.

Bu tez kapsamında havada asılı toz tanelerinin su spreyleri ile tutulmasının matematiksel modellemesi yapılmıştır. Bu model ile bir su damlasının toz tanelerini tutması; ocak ortamı koşulları, tane ve damla özellikleri temel alınarak simule edilmiştir.

Önceki yapılan çalışmalar göz önünde tutularak Concha ve Almendra'nın (1979) geliştirdiği her tane iriliğinde doğru sonuçlar veren ve tüm Reynolds sayılarını kapsayan formüller kullanılmıştır. Model sonunda damlanın ve tozun relatif hareket yörünge denklemleri X ve Y koordinatlarını verecek şekilde elde edilmiştir. Elde edilen denklemler birbiri ile bağıntılı simültane diferansiyel denklemler olarak ortaya çıkarılmış, bu denklemlerin çözümü imkansız oldukları için çözüm nümerik olarak, yazılan bir bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Ayrıca, yazılan bilgisayar programında ocak içi koşullar, toz ve damlanın özellikleri kullanıcının istediği şekilde değiştirilebilmekte ve farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Bir su damlasının ne kadar alanı süpürebileceği, başka bir değişle o damlanın ne kadar verimlilikle tozları tutabileceği tez kapsamında araştırılmıştır. İlk olarak, sadece birer değişken (damla ve tane yarıçapı, hava yoğunluğu, tane yoğunluğu ve yük değişimi) belirlenip, diğer değerler sabit tutulmuş, belirli sınırlar arasında seçilen değerler adım adım arttırılarak bir su damlasının ne kadar alanı süpürebileceği incelenmiştir ve şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Damla çapı değişimi: Damla çapı 20–332 mikron arasında değiştirildiğinde genel olarak damla çapı arttıkça süpürme alanının da arttığı gözlenmiştir. 332–636 mikron arasında ise maksimum alanı süpürmüş 636 mikrondan sonra süpürdüğü alan azalmıştır. Süpürme alanındaki bu azalma damlanın çapının artması nedeniyle ağırlığının artması ve böylece yerçekimi etkisiyle damlanın kendinin daha çabuk çökmesiyle açıklanabilmektedir. Sonuç olarak, önceden belirlenmiş bu koşullarda toz tutma veriminin en yüksek olması için damla çapının 332–636 mikron arası seçilmesi gerekmektedir. Yani, 5 mikronluk taneler için, su spreyi açıklıklarının yaklaşık 330–640 mikron seçilmesi toz tutmada verimim maksimum değere ulaşacağını göstermektedir.
- Tane çapı değişimi: Belirli koşullarda toz tanesinin çapı 0,5–50 mikron olarak değiştirildiğinde, 0,5–1 mikron arası tozların az bir verimde tutulduğu görülmüştür. 1,5 mikrondan sonra ise süpürme alanında bir artış başlayarak, 2,5–9,5 mikron arasında süpürme alanları maksimum değere ulaşmıştır. Tane çapı 9,5 mikrondan sonra damlanın süpürme alanında bir azalma başlamış ve yaklaşık 37 mikrondan sonra damla minimum düzeyde bir süpürme gerçekleştirmiştir. Bu tane iriliğinden sonra damlanın bu kadar az bir alanı süpürebilmesi tanenin ağırlığının çok fazla açıklanabilmektedir. Bunun yanında, tanenin bu büyüklükte olması sebebiyle havada çok fazla askıda kalamayacağını ve belirli bir süre sonra çökeceğini göstermektedir.
- Hava yoğunluğu değişimi: Modelde hava yoğunluğu 1,05–1,25 kg/m³ olarak belirli aralıklarda değiştirilmiştir. Hava yoğunluğu arttıkça damlanın süpürdüğü alan da artmaktadır. Bu artış 1,217–1,25 kg/m³'de maksimum değere ulaşmıştır. Fakat yoğunluk artışı ile artan süpürme alanı arasındaki fark 0,8'lik bir artıştır. Bu yüzden, hava yoğunluğunun değişimi önemli ölçüde toz tutma verimine etki etmemektedir.

- Tane yoğunluğu değişimi: Çalışmada tane yoğunluğunun kömür ve yan kayaçlar için seçilmesinin sebebi, yeraltında kesici makinenin kömürü kazarken çoğu zaman yan kayacı da kesmesidir. Bu kesilen yan kayaçtan oluşan tozlar (özellikle kuvars tozu) ise ocak havasına karışıp, insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu yüzden, yapılan incelemede tane yoğunlukları $1,3-2,7 \text{ gr/cm}^3$ aralığında seçilmiş, tane yoğunluklarının $1300-2575 \text{ kg/m}^3$ aralığında damlanın süpürdüğü alanın maksimum değer olduğu görülmüştür. Bu yoğunluk aralığında maksimum süpürme alanının çıkması taş kömürü ve linyitlerin belirlenen koşullar altında en yüksek seviyede süpürülebileceğini gösterilmiştir. $2600-2700 \text{ kg/m}^3$ aralığında ise süpürülen alan azalmaktadır. Bu yüzden, bu aralıkta olan marn ve silikat tozlarının oluşumunda su spreyleri ile bastırılmasında daha dikkatli olunmalıdır.
- Damla ve tanenin yük değişimi: Havada asılı toz tanelerinin yüklü oldukları bilinmektedir. Bunu yanında, spreylere eklenen sürfaktantlar spreyden çıkan su damlalarının yüzey gerilimlerini arttırarak damlaların tozları daha etkili bir şekilde yakalamaları sağlanmaktadır. Yapılan incelemede, tane ve damla yükleri $5.10^5 \text{ e} - 7,5.10^6 \text{ e}$ arasında değiştirilmiştir. Çıkan sonuçta, $5.10^5 \text{ e} - 5.10^6 \text{ e}$ 'ye kadar olan alanda süpürme alanı yük arttıkça artmıştır. 5.10^6 e ve 7.10^6 e arasında ise damlanın maksimum alanı süpürdüğü görülmüştür. Bu yüzden su spreylere sürfaktantların katılmasında bu yük değişiminin göz önünde tutulması gerekmektedir.
- Yapılan ikinci incelemede; damla yarıçapı, toz yarıçapı ve hava yoğunlukları ile beraber Y süpürme alanının birbirleri ile değişimi incelenmiştir:
 - Hava yoğunluğunun $1,05-1,23 \text{ kg/m}^3$ aralığında, tane yarıçaplarının $1-51 \mu$ aralığında ve damla yarıçaplarının $200-400 \mu$

aralığında seçilmesi ile hava yoğunluğu değişimlerinde süpürme alanlarında pek fazla bir değişim olmadığı görülmüştür.

- Bu yüzden, elde edilen grafiklerin birbirine çok yakın sonuçlar verdiklerinden dolayı Y değerleri üzerinde araştırmaya gidilip, elde edilen verilerle hava yoğunlukları ne olursa olsun;
 1. Toz tane yarıçapı 20 mikronda ve damla yarıçapı 280–400 mikron arasında;
 2. Tane yarıçapı 25 mikrondan sonrası ve damla yarıçapı 200–400 mikron arası

tüm taneler için, damlanın süpürdüğü alanın değişmediği görülmüştür. Diğer bir değişle, farklı hava yoğunlukları ve damla yarıçaplarında Y süpürme alanı değerleri 5 mikron toz yarıçapında çok farklı değerler alırken, tane yarıçapı arttıkça hava yoğunlu ve damla yarıçapı ne olursa olsun Y değerleri arasındaki fark azalmakta ve en sonunda tüm Y değerleri birbirine eşit olmaktadır.

Yapılan bu çalışmadaki yaratılan model belirli varsayımlar altında doğru sonuçlar vermektedir. Fakat yaratılan model ileriki çalışmalara ışık tutabilecek ve geliştirilebilecek şekildedir.

Modelde toz taneleri küresel olarak kabul edilmiştir. Gerçekte ise tozlar farklı şekillerde olabilmektedir. İleriki çalışmalarda tozların küresel şeklinden farklı olarak düşünülerek modele katılması olasıdır.

Ayrıca, önceki yapılan çalışmalarda tozların aglomerat halde olduğu ispatlanmıştır. Bu yüzden, ileriki yapılacak çalışmalarda tozun aglomerasyon özelliğinin hesaba katılabilirliği önemlidir. Aglomerasyondan oluşacak porozite ve yoğunluk farklılıkları bu çalışma kapsamında hesaba katılmadığından, sonraki çalışmalarda bu özellik düşünülerek hesaba dahil edilmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- Bulut, S.A. (1997) *Sayısal Çözümleme*, No:268. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.
- Chander, S., Alaboyun, A.R., Aplan, F.F. (1991). On the mechanism of capture of coal dust particles by sprays. *In: Proceedings of the Third Symposium on Respirable Dust in the Mineral Industries (Pittsburgh, PA, October 17-19, 1990). Littleton, CO.* 193–202
- Colinet, J.F., ve Jankowski, R.A. (1997). Ventilation Practices on Longwall Faces in the United States. *Proceedings of Ventilation '97*, 14–17.
- Concha, F. ve Almendra E.E. (1979). Settling Velocities of Particulate Systems, 1. Settling Velocities of Individual Spherical Particles. *International Journal of Mineral Processing*, 5, 349–367.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (14.9.1990) tarih 20635 sayılı Resmi Gazete Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik.
- Ediz, İ.G., Yuvka, Ş., Beyhan S. ve Çolpan R. (2001). GLİ Tunçbilek-Ömerler Bölgesinde Mekanize Üretimde Toz Sorunu. *Türkiye 17. Uluslar Arası Madencilik Kongresi ve Sergisi – TUMAKS*, 169–174.
- Goodman, G.V.R., Taylor, C.D., Colinet J.F. ve Thimons E.D. (2000). *NIOSH Research for Controlling Respirable Dust and Methane Gas on Continuous Miner Faces*. 30.01.2006. <http://www.cdc.gov/niosh/>.
- Hartman, L.H., Muutmansky, J.M., Ramani, R.V., ve Wang Y.J. (1997). *Mine Ventilation and Air Conditioning*. (Third Edition). USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Hekimoğlu, O.Z., Tiryaki, B., Ayhan, M. (2001). Tamburlu Kesicilerde Solunabilir Toz ve İnce Tane Oluşumunun Laboratuar ve Yeraltı Deneyleleriyle Araştırılması. *Türkiye 17. Uluslar Arası Madencilik Kongresi ve Sergisi – TUMAKS*, 163–167.

- Hurley, F., Cherrie, F., Donaldson, K., Seaton, A., Tran, L. (2004). *Assessment Of Health Effects Of Long-Term Occupational Exposure To Tunnel Dust In The London Underground*. 22 Ağustos 2005, <http://www.tfl.gov.uk/>
- Kaya, E., and Hogg, R. (1992). In-situ Measurements of Agglomeration of Airborne Dust in Mines. *Emerging Process Technology for a Cleaner Environment*. SME, Littleton, CO. 259–267.
- Kissell, F.N. (2003). *Handbook for Dust Control in Mining*. 17.04.2006, www.cdc.gov/niosh
- Koruyan, K. (2002). *Havada Asılı Toz Tanelerinin Su Damlaları Tarafından Tutulmasının Modellenmesi: Pratik Reynolds Sayılarını Kapsayan Yeni Bir Model*. Yayınlanmamış Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Koruyan, K. (2002). *Tozların Çökelmekte Olan Bir Su Damlası Tarafından Tutulmasının Modellenmesi*, Yayınlanmamış Yılıçi Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Lapple, C.E. ve Shepherd, C.B. (1940). Calculation of Particle Trajectories. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 32, 605–17.
- Lawrie, W.B., (1967). Some Aspects of Dust, Dust Sampling, the Interpretation of Results. ILO, Occupational Safety and Health Series (No. 8), 4–43.
- McPherson, M.J. (bt.) *The Aerodynamics, Sources And Control Of Airborne Dust*, 12.01.2006, <http://www.multimedia.vt.edu/mcpherson/>
- Mukherjee, S.K. ve Singh, M.M. (1984). New techniques for spraying dust. *Coal Age*, 54–56.
- Önce, G. ve Saraç, S. (1986). *Madenlerde Havalandırma*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Basımevi.

- Polat, M., Chander, S. ve Hogg, R. (1990), Characterization of Freshly Generated Airborne Quartz Dust. *Proceedings, International Symposium on Respirable Dust in the Mineral Industries*, Pittsburgh, PA, SME, Littleton, Co.
- Polat, M., Polat, H., Chander, S. (2000). Electrostatic charge on spray droplets of aqueous surfactant solutions. *Journal of Aerosol Science*, v 31, n 5, 551–562. 22.05.2006, COMPENDEX.
- Polat, M., Polat, H., Chander, S. ve Hogg, R., (2001). Characterization of airborne particles and droplets: Relation to amount of airborne dust and dust collection efficiency. *Particle and Particle Systems Characterization*, 18, 1–9.
- Seibel, R.J. (1976). Dust control at a transfer point using foam and water sprays. *Department of the Interior, Bureau of Mines*, 255–440.
- Skochinsky, A., Komarov, V. (1969). *Mine Ventilation*. Moskova: Mir Publishers.
- Stoces, B. ve Jung, H. (1970). *Maden İşletmelerinde Toz ve Silikozla Mücadele*. (S. Saltoğlu, Çev.). Gümüşsuyu: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası. (bt.)
- U.S. Department of Labor (1999). *Dust — What You Can't See CAN Hurt You!*. 30.08.2006. <http://www.msha.gov/>.
- U.S. Department of Labor (1999). *Practical Ways to Reduce Exposure to Coal Dust in Longwall Mining-A Toolbox*. 24.04.2006. <http://www.msha.gov/>.
- World Health Organization. (1999) *Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust*. 17.04.2005, <http://www.who.int/>.
- Workplace Health and Safety*, (bt.). 22.08.2005, <http://www.hre.gov.ab.ca/cps/rde/xchg/hre/hs.xsl/53.html>.
- Yalçın, E. ve Gürgen S. (1999) *Madenlerde Havalandırma*. (İkinci Baskı). İzmir: DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi Yayınları.

EKLER**Ek.1 MODEL İÇİN YAZILAN BİLİSAYAR PROGRAMI**

REM Concha drag ile X,Y koordinatlari

DECLARE SUB traject (Rp, Rhom, Mu, Uo, a, b, c, Y, X, Vy, Vx, W, Z, Th)

OPEN "c:\qbasic\drp-c-1.dat" FOR OUTPUT AS #1

CLS

PRINT " Rp Rd Yo"

n = 100

sp = -10

yjump = .1

Th = .1

Rhom = 1.23

Rhod = 1000!

q = 1.6022E-19

g = 9.81

Mu = .0000179

E = 1.00059

E0 = 8.854E-12

Rhop = 2650

Rdn = 320

Rpn = 5

Qdn = 5000000

$$Q_{pn} = -5000000$$

$$Rho = (Rhop - Rhom) / Rhop$$

$$Rd = Rdn * .000001$$

$$Rp = Rpn * .000001$$

$$Qd = Qdn * q$$

$$Qp = Qpn * q$$

$$Pdx = ((3 * Mu ^ 2) / (4 * (Rhop - Rhom) * Rhom * g)) ^ (1 / 3)$$

$$Qdx = ((4 * (Rhop - Rhom) * Mu * g) / (3 * Rhom ^ 2)) ^ (1 / 3)$$

$$Dd = Rd * 2$$

$$Uo = Qdx * (20.52 / (Dd / Pdx)) * (((1 + .09144 * ((Dd / Pdx) ^ (1.5)))) ^ (.5)) - 1) ^ 2$$

$$Ppx = ((3 * Mu ^ 2) / (4 * (Rhop - Rhom) * Rhom * g)) ^ (1 / 3)$$

$$Qpx = ((4 * (Rhop - Rhom) * Mu * g) / (3 * Rhom ^ 2)) ^ (1 / 3)$$

$$Dp = Rp * 2$$

$$Vxo = (Qpx * (20.52 / (Dp / Ppx)) * (((1 + .09144 * ((Dp / Ppx) ^ (1.5)))) ^ (.5)) - 1) ^ 2) / Uo$$

$$a = g * Rd * Rho / Uo ^ 2$$

$$b = 3 * Rd / (12.56 * Rhop * Rp ^ 3 * Uo ^ 2)$$

$$c = 3 * Qd * Qp / (12.56 * Rd * Rp ^ 3 * Rhop * Uo ^ 2 * E * E0)$$

FOR i = 1 TO n

$$Vyo = 0!$$

$$Vx = Vxo$$

$$Vy = Vy0$$

$$xo = sp$$

$$Yo = i * yjump$$

xc = x0

Y = Y0

100 X = xc

CALL traject(Rp, Rhom, Mu, Uo, a, b, c, Y, X, Vy, Vx, W, Z, Th)

PRINT USING "####.#####"; X; Y

PRINT #1, USING "####.#####"; X; Y

APP = (X ^ 2 + Y ^ 2) ^ .5

IF (APP <= 1 + Rp / Rd) GOTO 200

IF (X > 5) GOTO 400

xc = xc + Th

GOTO 100

200 NEXT i

400 PRINT USING "#####.###"; Rpn; Rdn; Yo

PRINT #1, USING "#####.###"; Rpn; Rdn; Yo

PRINT " Rhop Qd Qp Uo Vxo"

PRINT USING "#####.#####"; Rhop; Qdn; Qpn; Uo; Vxo * Uo

CLOSE #1

END

SUB traject (Rp, Rhom, Mu, Uo, a, b, c, Y, X, Vy, Vx, W, Z, Th)

U = Y

V = X

W = Vy

Z = Vx

D1Y = W

D1X = Z

$$R = U^2 + V^2$$

$$U_x = 1 + (U^2 - 2 * V^2) / R^{2.5}$$

$$U_y = -1.5 * U * V / R^{2.5}$$

$$Y_r = (U_y - W)$$

$$FdcY1 = .4459 * R_p^2 * Rhom * U_o^2 * Y_r^2$$

$$FdcY2 = 5.71 * (U_o * R_p)^{1.5} * (Mu * Rhom)^{.5} * (Y_r^3 / Y_r^2)$$

$$FdcY3 = 18.3 * (Mu * R_p * U_o) * Y_r$$

$$FdcY = FdcY1 + FdcY2 + FdcY3$$

$$D1V_y = c * U / R^{1.5} + b * FdcY$$

$$X_r = (U_x - Z)$$

$$FdcX1 = .4459 * R_p^2 * Rhom * U_o^2 * X_r^2$$

$$FdcX2 = 5.71 * (U_o * R_p)^{1.5} * (Mu * Rhom)^{.5} * (X_r^3 / X_r^2)$$

$$FdcX3 = 18.3 * (Mu * R_p * U_o) * X_r$$

$$FdcX = FdcX1 + FdcX2 + FdcX3$$

$$D1V_x = a + b * FdcX + c * V / R^{1.5}$$

$$U = Y + 2 * Th * D1Y / 3$$

$$V = X + 2 * Th * D1X / 3$$

$$W = V_y + 2 * Th * D1V_y / 3$$

$$Z = V_x + 2 * Th * D1V_x / 3$$

$$D2Y = W$$

$$D2X = Z$$

$$R = U^2 + V^2$$

$$U_x = 1 + (U^2 - 2 * V^2) / R^{2.5}$$

$$U_y = -1.5 * U * V / R ^ 2.5$$

$$Y_r = (U_y - W)$$

$$FdcY1 = .4459 * R_p ^ 2 * R_{hom} * U_o ^ 2 * Y_r ^ 2$$

$$FdcY2 = 5.71 * (U_o * R_p) ^ 1.5 * (Mu * R_{hom}) ^ .5 * Y_r ^ 3 / Y_r ^ 2$$

$$FdcY3 = 18.3 * (Mu * R_p * U_o) * Y_r$$

$$FdcY = FdcY1 + FdcY2 + FdcY3$$

$$D2V_y = b * FdcY + c * U / R ^ 1.5$$

$$X_r = (U_x - Z)$$

$$FdcX1 = .4459 * R_p ^ 2 * R_{hom} * U_o ^ 2 * X_r ^ 2$$

$$FdcX2 = 5.71 * (U_o * R_p) ^ 1.5 * (Mu * R_{hom}) ^ .5 * (X_r ^ 3 / X_r ^ 2)$$

$$FdcX3 = 18.3 * (Mu * R_p * U_o) * X_r$$

$$FdcX = FdcX1 + FdcX2 + FdcX3$$

$$D2V_x = a + b * FdcX + c * V / R ^ 1.5$$

$$Y = Y + Th * (D1Y + 3 * D2Y) / 4$$

$$X = X + Th * (D1X + 3 * D2X) / 4$$

$$V_y = V_y + Th * (D1V_y + 3 * D2V_y) / 4$$

$$V_x = V_x + Th * (D1V_x + 3 * D2V_x) / 4$$

END SUB