

SOLUNABİLİR TOZUN SU SPREYLERİ KULLANILARAK
BASTIRILMASINDA SON GELİŞMELER**Recent Developments on the Suppression of Respirable Dust Using Water Sprays**Hürriyet POLAT^(*)
Mehmet POLAT^(*)
Sabit GÜRGEN^(*)**Anahtar Sözcükler** : Toz Bastırma, Su Spreyleri, Elektrostatik Yük, Sürfaktantlar**ÖZET**

Türkiye'de görülen meslek hastalıklarının çoğunu tozun solunmasından kaynaklanan pnömokonyoz oluşturmaktadır. Bu yazının amacı, yeraltı ocaklarında işçi sağlığı açısından sakıncalı olan havada asılı tozların, su spreyleri kullanılarak bastırılması konusunda gelinen aşamayı sunmaktır. Bu amaçla, havada asılı toz ve su damlalarıyla yapılan detaylı çalışmalar ışığında, sprey suyuna katılan yüzey aktif maddelerin istenen verim artışı sağlayamama nedenleri ele alınmakta ve su spreylerinin Türkiye'deki maden ocaklarında kullanım olanakları tartışılmaktadır.

ABSTRACT

Majority of the work-related diseases in Turkey can be attributed to dust oriented pulmonary diseases, namely pneumoconiosis. The purpose of this paper is to present the recent state in our understanding about the airborne dust and the water sprays utilized to suppress it in underground mines. For this purpose, a detailed characterization of airborne spray droplets and dust particles in air is presented along with the answer to why the surface active agents have not provided a satisfactory increase in dust suppression efficiency. The results are extended to current practices in Turkish underground mines and the necessary courses of action to increase the dust suppression efficiency in light of the above studies are outlined.

^(*) Yrd. Doç. Dr., İYTE, Kimya Bölümü, İzmir

^(M) Doç. Dr., DEÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

1. GİRİŞ

Yeraltı işletmelerinde solunabilir toz problemi dünya madenciliğinin büyük sorunlarından birisi olagelmıştır. Üretim esnasında delme, patlatma, kazı, yükleme, taşıma, boşaltma, kırma ve öğütme işlemleri, toz oluşturan işlemlerin başında gelmektedir (Baysal, 1979). Genel olarak, boyutu 10 mikrondan daha büyük olan toz taneleri ocak havasında kolayca çökelp problem yaratmazken, bu boyutun altında olanlar havada uzun süre asılı kalabilir ve çalışanlar tarafından solunum yoluyla alınabilirler. 5-10 mikron boyutundaki tozlar solunum yollarına girince trakea, bronş ve bronşçuklarda bulunan yukarı doğru hareketli tüccükler tarafından yakalanırlar. Çapı 0,5 mikrondan küçük tozlar alveollere kadar giderler, ancak alveol yüzeylerinde depolanmaya fırsat bulamadan nefes verme havası ile dışarı atılırlar. Çapları 0,5 ile 5 mikron arasındaki tozlar . tüccükler tarafından tutulamazlar ve alveollere erişirler. Alveollerde depolanma riskleri olduğu için en tehlikeli toz grubu bu boyut grubudur (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 1987; Tatar ve Tatar, 1990). Bu tozlar akciğerlerde çökerek zamanla akciğer dokusunun tahriş olmasına (Pnömonyoz) neden olur (Saltoğlu, 1970).

Türkiye'de görülen meslek hastalıklarının %57'sini pnömonyoz oluşturmaktadır (TMMOB MMO, 1992). Bu nedenle, ocak havasında toz miktarı çeşitli kanun ve yönetmeliklerle sınırlandırılmıştır. Örneğin, solunabilir kuvars tozu için izin verilebilir en yüksek değerler Almanya'da 0,10-0,15 mg/m³, İngiltere'de 0,45 mg/m³tür. ABD'de ve BDT'de kuvars içeren solunabilir toz değerleri 2 mg/m³ olarak belirlenmiştir. Türkiye'de bu değerler Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından belirlenir. Yürürlükte olan "Tozla Mücadele Yönetmeliği"nin 16. Maddesine göre, ipliksi toz dışında, ortam havasında kristal yapıda kuvars içeriği % 5'ten fazla olan solunabilir tozların eşik sınır değerleri (ESD), Eşitlik 1 kullanılarak bulunur.

$$ESD = 25/(\% SiO_2) \text{ mg/m}^3 \quad (1)$$

Kristal yapıda kuvars içeriği % 5'ten az ise ESD = 5 mg/m³ olarak kabul edilir (Resmi Gazete, 2000).

Havadaki toz konsantrasyonunu izin verilebilen sınırların altında tutabilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler başlıca; toz oluşumunun kaynağını kesmek, havaya karışmış tozu bertaraf ederek solunmasına engel olmak, solunan tozun işçi üzerindeki olumsuz etkilerini minimuma indirmek olmak üzere üç ana grupta toplanabilir. Tozu kaynağında kesmek için ayna, su ile doyurulmaktadır. Havaya karışmış tozun seyreltilmesinde kullanılan yöntemler arasında ise iyi bir havalandırma, sulu delik delme, köpük sıkma, toz tutucuların kullanımı ve su püskürtülmesi sayılabilir. Özellikle, su püskürtülerek tozun bastırılması en yaygın uygulamadır. Ancak, su miktarının ve basıncının artırılması, memecik düzenlerinin değiştirilmesi, yüzey aktif maddelerle yüzey geriliminin düşürülmesi gibi toz tutma verimini artırması umulan yöntemler beklenen artışı sağlayamamıştır (Walton ve Woolcock, 1960; Kobrick, 1970). Bu nedenle, konu üzerinde pek çok araştırma yapılmıştır (USDI, 1992a, 1992b). Bu çalışmalarda, toz bastırma konusuna genel olarak üç yönden yaklaşılmıştır:

Havadaki tozun özelliklerinin belirlenmesi,

Su spreyleri kullanarak yapılan toz bastırma işleminde verimin artırılması,

Solunabilir tozun karakterizasyonu ve fizyolojik etkilerinin minimuma indirilmesi.

Bu yazıda toz tanelerinin ve su damlalarının havadaki davranışları ve birbirleri ile etkileşimleri hakkındaki son bulgular verilmektedir.

2. SU DAMLALARIYLA TOZ BASTIRMA MEKANİZMASI

Toz tanelerinin su damlaları tarafından yakalanma olasılığı, P_{cp}, Chander ve diğerleri (1991) tarafından üç alt işlemin olasılıklarının

çarpımı olarak verilmiştir (Eşitlik 2);

$$i_{cp} = \frac{c_{ol} - a_{dl} - r_w}{2} \quad (2)$$

Burada;

p_{col} : Su damlaları ile toz tanelerinin çarpışma olasılığı,

p_{adh} : Toz tanelerinin su damlalarına yapışma olasılığı,

p_w : Su damlasına yapışmış toz tanelerinin ıslatılarak su içine alınabilme olasılığıdır.

Birinci alt işlem, püskürtülmüş su damlaları ile toz tanelerinin çarpışması olup bu işlemin başarısı; akım koşullarına, damla ve tane boyutuna ve sayılarına, tanenin ataletine, damla ve tane üzerindeki elektrik yüküne bağlıdır. Yapılan bir çalışmada serbest olarak düşen damlacıkların 600 mikron boyutu civarında maksimum çarpışma verimi gösterdiği saptanmıştır (Stairmand, 1956). Ayrıca, basınçla püskürtülen su damlalarının, serbest düşen damlalara oranla toz bastırmada daha verimli olduğu görülmüştür (Walton ve Woolcock, 1960). Chander ve diğerleri (1991) basınçla püskürtülen su damlaları boyutunun 200 mikrondan 20 mikrona düştüğünde toz toplama veriminin belirgin olarak arttığını göstermiştir. Bu artışın nedeninin boyutun küçülmesi ile damla sayısının artması olduğu öne sürülmüştür.

İkinci alt işlem, toz tanelerinin su damlalarına yapışması olup çarpışma sonrasında tanelerin hava/su arayüzeyinde tutulmasını kapsayan ikinci aşamadır. Bu aşamada, toz tanesi ya hava-su arayüzeyine yerleşir ya da yüzey geriliminin etkisi ile elastik bir top gibi davranan su damlasından geri sıçrayarak uzaklaşır. Görüldüğü gibi, bu aşamada verim, tanenin ataletine, tanenin ve su damlasının yüküne ve yüzey geriliminin şiddetine bağlıdır.

Üçüncü alt işlem, toz tanelerinin ıslatılması ve su damlalarının içine alınması olan üçüncü aşamadır. Bu aşamada damla yüzeyinde tutunmuş taneler damlanın ve tanenin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak ya arayüzeyde kalmaya devam ederler ya da sıvı

tarafından ıslatılıp damla içine alınırlar. Tanenin damla içine alınması damla yüzeyinin bir sonra çarpacak toz tanesi için boşaltılması açısından önemlidir.

Bir tanenin herhangi bir sıvı tarafından ıslatılma yatkınlığı, denge koşullarında, serbest Gibbs enerjisi içindeki değişim (AG) ile ifade edilebilir. Tane yüzeyinin su tarafından ıslatılması durumunda, suyun tane yüzeyinde yayılması sonucu oluşacak serbest Gibbs enerjisi içindeki değişim Eşitlik 3'e bağlıdır.

$$AG = 7Hs(1 - \cos\theta) \quad (3)$$

Burada;

γ_{HS} : Hava/su arayüzey gerilimi,
9 : Tane/su/hava arayüzeyinde oluşan temas açısıdır.

AG değerinde oluşacak bir düşüş suyun yayılmasının kolaylaşması anlamına gelir. Görüleceği gibi, hem temas açısında hem de hava/su arayüzey geriliminde oluşacak bir düşüş tanenin su tarafından ıslatılmasını kolaylaştıracaktır.

Kuvars taneleri, su ile yapılan hidrojen bağları nedeni ile kolayca ıslanırlar. Kömür tanelerinin ıslanabilirlikleri ise kömürleşme derecesine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Düşük kömürleşme derecesine sahip kömürler (örneğin, yüzeylerinde bol miktarda oksijen içeren fonksiyonel gruplar bulunan linyitler) su tarafından nispeten daha kolay ıslatılabilirler ve genellikle düşük temas açısına sahiptirler. Yüksek kömürleşme derecesine sahip bitümlü kömürler yüzeylerinde daha çok parafin türü yapılar içerdikleri için hidrofob özellik gösterirler. Bu kömürlerin tozları ıslanmaya karşı koyarlar ve hava/su arayüzeyinde toplanırlar (Alaboyun, 1989).

Görüleceği gibi, havada asılı olan toz tanelerinin bastırılması için su spreylerinin kullanılması durumunda verimi artırmak için akla ilk gelen yöntem hava/su arayüzey geriliminin düşürülmesi ve bu sayede ikinci ve üçüncü alt işlemlerin verimlerinin artırılmasıdır. Bu amaçla yüzey aktif maddeler (süfaktantlar) kullanılır.

3. HAVADA ASILI TOZUN VE SU DAMLALARININ TANIMLANMASI

3.1. Toz Tanelerinin Havadaki Dağılımı ve Toz Üretim Kapasitesi

Toz tanelerinin ocak havasında taşınması ve çökmesi konusunda yapılmış çalışmalarda toz tanelerinin havada tek tek dağılmış olduğu varsayılmıştır. Bunun nedeni, ocak havasından doğrudan emilen tozun "cascade impactor" cihazı ile elde edilen tane boyut dağılımının, lazer difraksiyonu yöntemi kullanılarak suda dağıtıldıktan sonra tayin edilen tane boyut dağılımı ile uyuşmasıdır (Dumm, 1983).

Polat (1990) ve Polat vd. (1991, 1996) tarafından yapılan çalışmalarda, "Taze Toz Üreticisi" adı verilen, tek aşamada kırmaya ve oluşan tozu anında ortamdan uzaklaştırmaya olanak veren bir cihazla ocak koşullarına benzer bir şekilde toz üretilmiş ve bu toz, oluşumundan hemen sonra incelenmiştir. Toz üreticisini terkeden tozun boyut dağılımı, bu toz bir filtrede toplanmadan hemen önce havada iken lazer difraksiyon yöntemi ile belirlenmiştir. Daha sonra filtrede toplanan tozun boyut dağılımı su içinde dispersiyonu takiben tekrar ölçülmüştür. İki boyut dağılımında da aynı toz kullanılmasına rağmen havadaki boyut dağılımının sudaki boyut dağılımından çok daha iri olduğunu görülmüştür (Çizelge 1). Bu sonuçlar tozun havada asılı iken aglomeratlar halinde olduğunu göstermektedir. Aynı çalışmada, toz üreticisini terkeden "taze" toz, saniyede 2000 resim çekebilene ve teleskopa bağlı bir hızlı kamerayla filme alınmıştır. Bu kayıtların incelenmesi ile havadaki tüm toz tanelerinin aglomer bir yapıda olduğu görülmüştür. Cascade impactor sonuçları ile laboratuvar lazer difraksiyonu sonuçlarının benzerliği, her iki durumda da aglomeratların değil, bu aglomeratları oluşturan tanelerin dağılımının ölçüldüğünü göstermektedir. Havada asılı tanelerin birbirine gevşek olarak bağlı aglomeratlar halinde olduğu ve laboratuvarında yapılan ölçümlerde kimyasal (sodyum heksametafosfat ile), ocakta yapılan ölçümlerde de fiziksel (Cascade impactor plakalarına çarpma ile) bir dağılım oluştuğu anlaşılmaktadır.

Farklı kayaçlarla yapılan çalışmalarda, bir kayacın toz üretme kapasitesi (TÜK) ile bu kayaçtan oluşan toz tanelerinin aglomerasyon eğiliminin doğrudan ilişkili olduğu Çizelge 1'de gösterilmiştir. Görüleceği gibi, küçük aglomeratlar oluşturan kuvars ve antrasit, büyük aglomeratlar oluşturan kömürlere kıyasla daha fazla miktarda havaya karışan toz üretmektedirler. Bu sonuçlar, ocak havasındaki toz içinde görülen yüksek kuvars konsantrasyonlarını ya da antrasit ocaklarındaki aşırı toz oluşumunu (Leiteritz vd., 1965; Cartwright, 1965; Yaprak vd., 1988) açıklamaktadır.

3.2. Havada Asılı Toz Tanelerinin Elektriksel Özellikleri

Havadaki toz taneciklerinin yüzeylerinde önemli miktarlarda elektrik yükü taşıdıkları bilinen bir gerçektir (Hopper ve Laby, 1941; Kunkel, 1948, 1950a, 1950b, 1950c; Dodd, 1952; Liu vd., 1987; Kutsuwada ve Nakamura, 1989).

Tanelerin elektrik yükü kazanması değişik mekanizmalarla olabilir. Bunlar:

Tanelerin oluşumu sırasında mineral yapısındaki bağların kırılması ile.

Tane-tane ve tane-çevre kontaklarından dolayı (İki farklı malzeme temas ettiğinde arayüzeylerinde bir potansiyel farkı oluşur. Temas eden yüzeyler ayrıldığında her iki yüzey elektrik yükü kazanmış olarak kalır (Harper, 1950, 1955, 1957; Krupp, 1967)).

Tanelerin yüzeyinde su damlalarının yoğuşması ile (Oluşan su filmi içinde ayrılan iyonlar taneye elektrik yükü kazandırır. Cooke (1955), iletken olmayan malzemelerin üzerinde sıvı filmi oluştuğunda bu malzemelerin iletken hale geldiklerini gözlemiştir).

Tane yüzeyinde havada serbest halde bulunan iyonların tutulması ile (Atmosferde bulunan kozmik ışınlar, elektrik ve radyoaktivite nedenleri ile havada serbest halde iyonlar bulunmaktadır (Kunkel, 1950; Liu vd.,

Çizelge 1. Havada Asılı Taze Tozun Boyut Dağılımı

Malzeme	d ₅₀ (mikron) ¹		d ₉₀ (mikron) ¹		TÜK,%
	Suda ²	Havada ³	Suda ²	Havada ³	
Kuvars	7,3	13,1	22,0	35,0	1,4
Antrasit	7,6	16,1	22,6	55,0	0,9
YBK	18,2	35,5	40,0	85,3	0,1
DBK	14,9	30,2	41,5	75,2	0,1

1 : Tanelerin % 50'sinin ya da % 90'ının daha küçük olduğu boyut.

2: Sodyum hexametaphosphate ve ultrason kullanılarak dağılım sonrası lazer difraksiyon yöntemi ile ölçülmüştür.

3: Havada iken lazer difraksiyon yöntemi ile ölçülmüştür.

TÜK: Toz Üretim Kapasitesi =Havaya karışan toz miktarı/ Havaya karışma potansiyeli olan toplam toz miktarı.

YBK: Yüksek Bitümlü Kömür; DBK: Düşük Bitümlü Kömür

1987; White, 1951). Bu nedenle bu tür iyonların tane yüzeylerinde tutulduğu kabul edilebilir).

Polat (1990) tarafından yapılan bir çalışmada, değişik kayaçlardan üretilen yeni kırılmış taneler serbest düşme koşullarında bir elektrik alanından geçirilmiş, tanenin düşey ve yanıl hızlarından aerodinamik boyutu ve taşıdığı elektrik yükü belirlenmiştir. Tanenin maruz kaldığı kuvvetlerin analizinde sürtünme katsayısı (drag coefficient), dar kapsamlı Stokes yasası yerine, daha geniş bir kullanım alanı olan formüllerden elde edilmiştir (Concha ve Almendra, 1979a; Concha ve Almendra, 1979b; Concha ve Barrientos, 1982; Concha ve Barrientos, 1986; Concha ve Christiansen, 1986). Sonuç olarak, kuvars ve kömür tanelerinin taşıdıkları yüklerin sıfır-yük etrafında normal dağılım gösterdiği ve standart sapmanın malzeme emsine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca, tane elektrik yükünün havanın nemi ve tane yüzeyinin oksidasyon derecesine bağlı olduğu bulunmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Değişik Kayaçlardan Elde Edilen Tanelerin Yüzey Yükleri

Malzeme	Tane üzerindeki RMS ¹ yük, x1000	
	% 25 Hava Nemi	%90 Hava Nemi
Kuvars	10,6	79,2
DBK	15,1	18,1
Antrasit	120,2	142,7

1 : RMS elektrik yükü tane yüklerinin karelerinin toplamı/tane sayısı'nın kare köküdür.

Yüzeyde bulunan elektrik yükünün, o tanenin havada bulunan diğer tanelerle olan ilişkisini etkileyeceği bir gerçektir. Çizelge 2'de, hava neminin yüksek olduğu koşullarda havada yüksek miktarda aglomerasyon gösteren bitümlü kömür tanelerinin düşük, aglomerasyon eğilimi düşük olan kuvars ve antrasit tanelerinin ise yüksek elektrik yükü taşıdıkları görülmektedir. Bu durumda, nemli ocak koşullarında, kuvars ve antrasitin küçük aglomeratlar üreterek havaya daha fazla oranda karışacakları beklenmelidir. Kaya ve diğerleri (1993) tarafından ocak havasından alınan örneklerde yapılan ölçümler bu bulguları doğrulamıştır.

4. HAVADA ASILI SU DAMLALARI

Havada bulunan su damlaları da elektrik yükü taşırlar (Chapman, 1937; 1938; Blanchard, 1958; Iribarne ve Mason, 1967; Jonas ve Mason, 1968; Byrne, 1977; Baily, 1988). Gök gürültüsü ve şimşek gibi atmosferik olaylar, damlalar üzerindeki elektrik yükü miktarlarının ne kadar büyük boyutlara ulaşabileceğini gösterir. Elektrik yükünün kazanımı çok çeşitli nedenlerle olabilir. Bunlar;

Elektriksel çift tabakanın oluşması: Her

arayüzeyde elektriksel çifte tabaka oluşur (Bailey, 1988). Bir sıvı püskürtüldüğünde elektriksel çift tabaka bozulduğu için oluşan damlacıklar yüklüdürler (Lenard, 1892; Chapman, 1934; 1937; 1938a, 1938b; Iribane ve Mason, 1967; Dodd, 1952).

Temas potansiyelinin oluşumu: İki farklı yüzey temas ettiğinde oluşan arayüzeyde (örneğin metal boru ile solüsyon arayüzeyi) bir potansiyel farkı oluşur (Vick, 1953). Bu durumda, katı yüzeyinden solüsyon tarafına doğru bir elektriksel çift tabaka oluşur. Suyun boru içinde hareketi ile elektriksel çift tabaka da hareket eder ve bu suyun memecikten püskürtülmesi ile de yüklü damlacıklar oluşur.

Damla yüzeyinde havada serbest halde bulunan iyonların tutulması: Atmosferde mevcut kozmik ışınlar, elektrik ve radyoaktivite, havada serbest iyonlar oluşmasına neden olur (Kunkel, 1950; Liu ve diğerleri, 1987; White, 1951). Bu tür iyonlar, tane yüzeylerinde tutunarak tanelerin elektrik yükü kazanmasına neden olurlar.

Polat (1992) tarafından yapılan bir çalışmada değişik sulu sürfaktant solüsyonları mikron boyutunda damlacıklar üretecek şekilde püskürtülürken, havada bu damlacıkların taşıdıkları yükler ölçülmüştür. Sonuç olarak, bu mekanizmaların tümünün damlaya elektrik yükü kazanmada etken olduğu, ancak bazı elektrolitlerin ve sürfaktantların damlalara yük kazandırmada baskın bir rol oynadığı görülmüştür. Çizelge 3'de NaCl ve CaCl₂ konsantrasyonuna bağlı olarak damla elektrik yükündeki değişim verilmektedir.

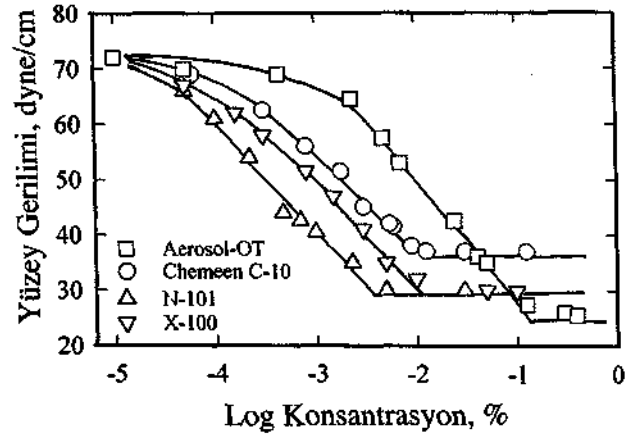
Çizelge 3. Elektrolitlerin Damla Elektrik Yüküne Etkisi.

Konsantrasyon, M	Damla üzerindeki RMS yük, x1000	
	NaCl	CaCl ₂
0,001	1,9	15,3
0,01	2,0	14,2
0,1	1,7	11,8

5. SÜRFİKTANTLARIN TOZUN BASTIRILMASINDA KULLANIMI

Sürfaktantlar, yapılarında hem hidrofilik hem de hidrofobik kısımlar içerirler ve bu nedenle hava/su arayüzeyinde adsorblanırlar. Sürfaktant moleküllerinin hidrofobik kısımları arayüzeyin hava tarafına doğru uzanırken, hidrofilik kısımları su içerisinde çözünmüş olarak kalır. Sürfaktantların bu dizilimi, suda çözünmüş durumlarından daha düşük bir enerjiye sahiptir ve sonuç olarak yüzey enerjisinde (yüzey gerilimi) bir düşüşe neden olurlar. Yüzey gerilim kuvvetindeki düşme sürfaktant konsantrasyonuna bağlıdır.

Piyasada yaygın olarak kullanılan bazı reaktiflere örnek olarak ethoksile oktil fenoller, ethoksile nonil fenoller, sodyum dioktil sülfosukkinatlar ve kokoaminler verilebilir. Bu sürfaktantlara bazı ticari örnekler, sırasıyla; Triton X-100, Triton N-101, Aerosol-OT ve Chemeen C-10'dur. Bu reaktiflerin bazı özellikleri Çizelge 4'de, hava/su arayüzey geriliminde konsantrasyona bağlı olarak neden oldukları değişim Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Yaygın olarak kullanılan ıslatıcı reaktiflerin hava/su arayüzey gerilimine etkisi (Polat vd. 1993 ve 1996)

Çizelge 4. Yaygın Olarak Kullanılan Islatıcı Reaktiflerin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ticari İsim	Hidrofobik Grup	Hidrofilik Grup	Mol. Ağ.	Kritik Misel Kons., 10 ⁻³ M	Yüzey Gerilimi, mN/m
Anyonik Sürfaktant					
Aerosol-OT	Dioktil	sülfosukkinat	444	1,3°	26,0°
Katyonik Sürfaktant					
C-10	Koko	PEO(10 Moles)	645	0,16 ^d	38,0 ^f
İyonik Olmayan Sürfaktant					
Triton X-100	Oktil fenol	PEO(9,5 Moles) ^a	628	0,22°	30,1°
Triton N-101	Nonil fenol	PEO(9,5 Moles) ^b	642	0,033°	30,0°

a: PEO:Poly Etilen Oksit

b: Mukerjee ve Mysels, 1971

c: Osipow, 1962

d: Hu, 1992

e: Mohal, 1988

f: Reck, 1967

5.1 Sürfaktantların Islatıcı Reaktif Olarak Kullanımı

Toz bastırmada genel olarak sürfaktantlar ıslatıcı reaktif olarak kullanılır. Sürfaktantların tozun damlacıklar tarafından yakalanmasında ikinci ve üçüncü alt-işlemi etkilediğine inanılır. Yüzey gerilimi fazla olduğunda, tanenin hem ikinci mekanizmaya göre hava/su arayüzeyine yapışması (tane geriye sıçrayılabilir), hem de yapıştığı durumlarda damla içine girmesi zorlaşır (tane ıslanmaz). Tanelerin geri sıçraması ya da ıslanmaması değişik araştırmacılar tarafından tozun su spreyleri ile etkin bir şekilde bastırılmama nedeni olarak görülmüş ve pek çok araştırmaya konu olmuştur (Walker vd., 1952; Fainerman ve Levisatov, 1976; Cohen ve Rosen, 1981; Glanville ve Haley, 1982; Zeller, 1983; Chander vd., 1988; Chander vd., 1991). Bu araştırmalarda yüzey gerilimini düşürmek için yüksek konsantrasyonlarda reaktifler kullanılmış ve bu sayede toz tanelerinin damla tarafından yakalanması ve ıslatılması sağlanmaya çalışılmıştır. Fakat bu çalışmaların sonunda araştırmacılar arasında fikir birliği oluşmamıştır. Bazıları (Anderson vd., 1963; Godard, 1967; Papic ve McIntyre, 1973; Courtney ve Cheng, 1976), sürfaktant kullanımının şart olduğunu iddia ederken, diğer bir grup da bu reaktiflerin yararları konusunda tereddütlerini belirtmişlerdir

(Walker vd., 1952; Zeller, 1979). Bazı araştırmacılar ise sürfaktantların toz bastırma verimini tamamen yok ettiğini öne sürmüşlerdir (Levo, 1965; USBM, 1983; Zeller, 1983).

Sürfaktantların varlığında laboratuvarında yapılan ıslatma deneyleri (örneğin Walker ıslatma deneyi) kömür tanelerinin su damlaları ile çarpışması sonucu kolayca ve tümüyle su içine gömüldüklerini göstermiştir (Mohal 1988; Alaboyun, 1989). Bunun anlamı, yapışma ve ıslanma verimlerinde, ve sonuç olarak da toz tutma veriminde bir artış olması gerektiğidir. Hu vd. (1992), hava/su arayüzey gerilim kuvvetinin ve temas açısının ölçülmesiyle, Eşitlik 4 kullanılarak yapışma işinin hesaplanabileceğini ve böylece sürfaktantların toz tutma verimine etkisinin kantitatif olarak belirlenebileceğini savunmuşlardır.

$$W_A = 7H_s(1 + \cos\theta)/6 \quad (4)$$

Başka bir deyişle, belirli bir sürfaktant tipi ve konsantrasyonu için toz tutma veriminin derecesi bu koşullar için hesaplanacak W_A değerlerine bakılarak tahmin edilebilir. Ancak, bu ilişkinin anyonik ve iyonik olmayan reaktifler için geçerli olduğu gözlenmiş, karyonikler için ise geçerli olmadığı görülmüştür. Yukarıda verilen çelişkili sonuçlar, toz bastırma konusunda, bir çok

tartışmaya ve araştırmaya konu olmuştur.

Süfaktantlar kullanılarak düşürülen yüzey geriliminden dolayı yapışma ve ıslanma işlemlerinin verimlerinde artış olması gerekir. Buna karşılık, toz tutma veriminde bir artış gözlenmemesi, ancak çarpışma alt işlem veriminin düşmesi ile açıklanabilir. Su damlacıkları süfaktantlar sayesinde elektrik yükü kazanabilir ve elektrik yükü taşıyan toz taneleri ile olan çarpışma verimleri düşebilir (Polat, 1990, 1992; Polat vd., 1993 ve 1996). Bu olgu literatürde uzun süre gözardı edilmiştir.

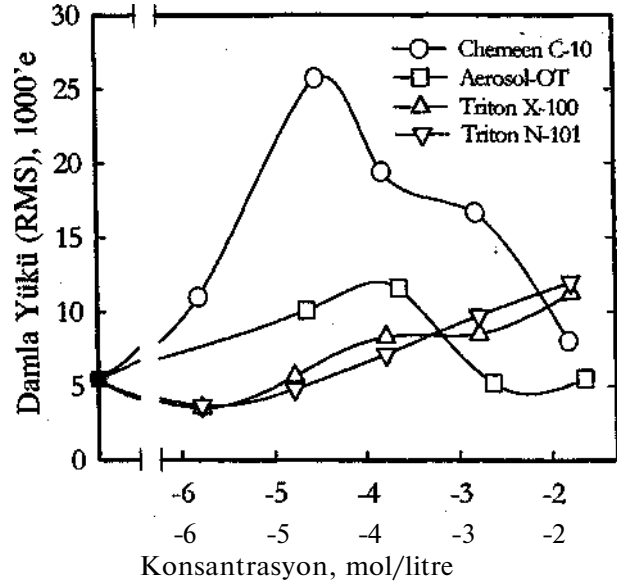
5.2. Süfaktantların Yüzey Elektrik Yükünü Değiştirmek İçin Kullanımı

Son yapılan çalışmalarda, süfaktantların yapışma ve ıslanma alt işlemlerindeki fonksiyonlarına ilave olarak, damla yüzeyindeki elektrik yükünü değiştirmek suretiyle çarpışma alt işlemini de etkileyebilecekleri öne sürülmüştür (Polat vd., 1993 ve 1996). Bu durumda, tanelerin ve damlaların yüzeylerinde taşıdıkları elektrik yükünün değerinin bilinmesi, süfaktantların doğru kullanımı açısından son derece önemlidir. Bu araştırmacılar, saf suyun püskürtülmesi ile elde edilen 0-100 mikron boyut aralığındaki su damlacıklarının ortalama 5.400 RMS elektron elektrik yükü taşıdıklarını göstermişlerdir. Anyonik (Na-lauril sülfat, Aerosol-OT), katyonik (Dodesil amin hidroklorid, Ethoksile koko amin, C-10 ve tallow aminler, T-10, T-15) ve iyonik olmayan (Triton X-100, Triton N-101) gibi süfaktantların varlığında damla yüzeyindeki yükün büyük ölçüde artarak 26.000 RMS elektrona kadar yükseldiği görülmüştür. Bu yükün miktarı, reaktif tipi ve konsantrasyonuna bağlıdır. Katyonik reaktiflerin solüsyonlarından elde edilen su damlacıklarının +80.000 elektrona kadar toplam pozitif yük taşıdıkları gözlenmiştir (Şekil 2).

6. ELEKTRİK YÜKÜ VE TOZ BASTIRMA VERİMİ

Su damlalarının elektrik yükü ile toz bastırma verimi arasındaki ilişki Şekil 3'de katyonik

süfaktantlar için verilmektedir (Polat vd., 1993 ve 1996). Görüldüğü gibi, hem toz bastırma verimi hem de damlaların üzerindeki yük, süfaktant konsantrasyonuyla doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir. Elektrik yükü ve

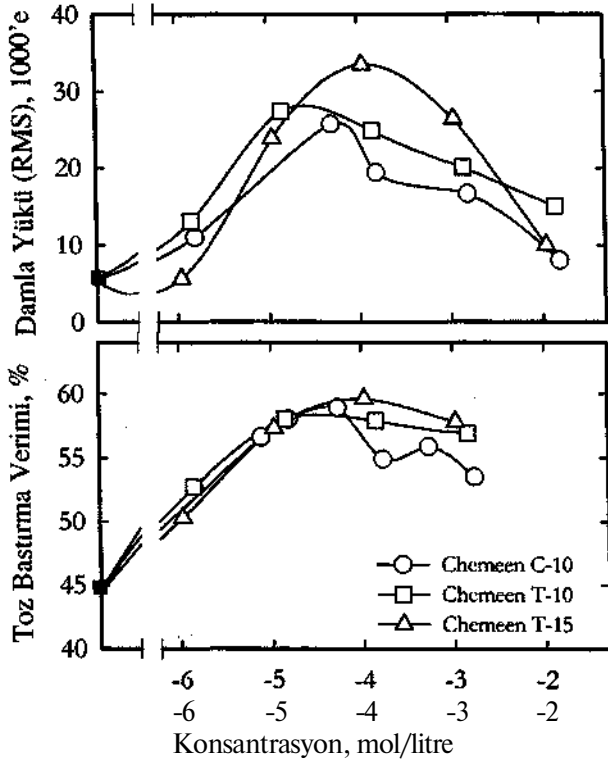


Şekil 2. Değişik süfaktantlardan elde edilen su damlacıkları üzerinde ölçülen elektrik yüklerinin konsantrasyonla değişimi (Polat vd. 1993 ve 1996).

toz bastırma verimi aynı konsantrasyonda maksimuma ulaşmakta, yani, toz bastırma verimi ile damla üzerindeki elektrik yükü arasında direk bir ilişki göze çarpmaktadır. Ancak katyonik süfaktantlarda görülen bu ilişki anyonik ve iyonik olmayan süfaktantlarda görülememiştir. Bu sonuçlar, daha önce tartışılan ve yapışma işi ile toz tutma verimi arasındaki termodinamik ilişkinin anyonik ve iyonik olmayan reaktifler için geçerli olduğu, katyonikler için ise bir anlam ifade etmediği sonuçları ile birlikte gözönüne alınmalıdır. Bunun anlamı, toz tutma veriminin yüzey gerilimindeki düşmeyle artırılabilmesi ancak elektrik yükü düşük olan damlalar için mümkün olduğudur. Yani, süfaktantın ikinci ve üçüncü mekanizmaya etkisinden bahsedilmesi, ancak birinci mekanizmaya olan etkisinin belirlenmesinden sonra söz konusudur. Başka bir deyişle, toz tutma için termodinamik

koşulların (yapışma ve ıslanma) sağlanması ancak kinetik koşullar (çarpışma) sağlanmış ise mümkündür.

Aynı çalışmalarda toz tanelerinin elektrik yükü ile toz bastırma verimi arasında direkt bir ilişki kurulamamıştır. Bunun nedeni, elektrik yükünün öncelikli olarak tanelerin aglomerasyonunda etkili olmasıdır. Aglomere olmuş taneler için toz tutma verimi ile agregatın toplam yük içeriği arasında bir ilişkinin son derece karmaşık olacağı açıktır.



Şekil 3. Damla yüzeyindeki elektrik yükü ve toz toplama etkinliğinin sürfaktant konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi (Polat vd. 1993 ve 1996).

7. TÜRKİYE YERALTI MADEN OCAKLARINDA TOZ BASTIRMA ÇALIŞMALARI

Türkiye'de görülen meslek hastalıklarının %57'sini tozdan ileri gelen pnömokonyoz oluşturmaktadır (TMMOB MMO, 1992). Buna rağmen, yeraltı ocaklarında tozun seyreltilmesine yönelik sistematik bir çalışmaya

rastlanmamaktadır. Türkiye'de Tozla Mücadele Yönetmeliği'nin 1990'da çıktığı göz önüne alındığında, mevcut durum normal karşılanmalıdır. Türkiye yeraltı ocaklarında tozla mücadele daha çok, toz yoğunluğunun fazla olduğu noktalarda alman pratik önlemlerle özetlenebilir. Bunlar;

Ocak havasına karışan tozu biran önce uzaklaştırmak için iyi bir havalandırma (Saltoğlu, 1975; Didari, 1983),

Delme sırasında oluşacak tozu bastırmak için sulu delik delme,

Patlatma sırasında oluşacak tozu bastırmak için sulu plastik sıkılama kartuşu kullanma,

Kazı sırasında oluşacak tozu önlemek için kömüre (ayak arınma) basıçlı su enjeksiyonu (Tatar ve Tatar, 1990),

Ayak içinde dökme ve aktarma noktalarında, taban yollarında, silo içlerinde fiskete kullanımı,

Kömür tozu birikintilerinin ve paşanın, tozun tekrar havaya karışmasını önlemek amacıyla suyla yıkanması (Didari, 1983),

Mekanize galeri açma işleminde oluşan tozun yüksek basınçlı su ile bastırılması (Eyyüboğlu, Çetin ve Saraç, 1995; Eyyüboğlu ve Çetin, 1995),

Tam mekanize uzun ayaklarda yüksek basınçlı su ile kazı sırasında oluşacak tozun bastırılması (Tatar ve Tatar, 1990),

Fazla toz yoğunluğu olan galerilerde su damlacıklarından oluşan bir su perdesinin oluşturulması

olarak sıralanabilir.

Ocakta yapılan kazı çalışmalarında en fazla toz, mekanize kazıda görülmektedir. Oluşan toz miktarı kullanılan makine cinsine bağlı olarak değişmektedir. Uzunayaklarda en fazla toz,

tamburlu kesiciler kullanıldığında ortaya çıkmaktadır. Bu tozu bastırmak için kesici uçların dibinde bulunan memelerden kesim noktasına ve tamburun ön ve arka kısmından konveyöre su püskürtülerek kömür tozu bastırılmaya çalışılmaktadır. Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi'nde uzunayak arınında su enjeksiyonu yapılmış ve ölçülen toz yoğunluklarının 1 ile 7 mg/m³ değerleri arasında olduğu görülmüştür (Tatar, 1989). Uzunayakta mekanize kazı yapılırken, damar içi galerilerde de mekanik kazı yapılması gerektiğinden buralarda da su spreylere kullanılarak toz bastırılmaya çalışılmaktadır. Bu galerilerde dönüş havası filtreli bir toz bastırma sisteminden geçirilmektedir. Bu durumda toz bastırıcının verimi %72 olarak hesaplanmıştır (Eyyüboğlu vd., 1995). Fakat bu tür bir toz bastırma sisteminin uzunayakta kullanımı mümkün değildir. Tamburlu kesicilerde suyun sertliğinin düşürülmesi için tuz kullanımının dışında herhangi bir reaktif kullanılmamaktadır (Tatar, 1989).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yazıda toz tanelerinin ve su damlalarının havadaki davranışları, sürfaktantların varlığında birbirleri ile etkileşimleri ve bu koşullarda toz bastırma veriminin nasıl etkilendiği incelenmiştir. Tozun verimli bir şekilde havadan elimine edilmesinde ve bu sayede işçi sağlığının korunmasında aşağıdaki bulgular son derece önemlidir :

Havada asılı olarak bulunan toz, üzerinde yüksek miktarlarda elektrik yükü taşımaktadır. Tane üzerindeki elektrik yükü, tanenin oksidasyon durumu ve ortamın nemine bağlı olarak değişmektedir.

Havada asılı taneler gevşek yapıda aglomeratlar halindedir. Bu aglomeratların kolayca dağılması nedeniyle klasik yöntemlerle elde edilen tane boyut dağılımları, havadaki aglomeratların değil, aglomeratları oluşturan tanelerin boyut dağılımını vermektedir. Ocak havasındaki

çökme ve tekrar havaya karışma özelliklerinin analizinde, tozun bu özelliğinin dikkate alınması son derece önemlidir.

Tozun havada ne derece aglomere olduğu, havaya karışan toz miktarını etkilemektedir. Örneğin, küçük aglomeratlar oluşturan kuvars tozu, iri aglomeratlar oluşturan kömür tozundan daha fazla miktarlarda havaya karışmakta ya da havada asılı kalmaktadır. Bu sonuç, ocak havasında normalin üzerinde kuvars bulunmasını açıklaması yönünden önemlidir.

Su damlaları da toz taneleri gibi havada asılı iken elektrik yükü taşırlar. CaCl₂ gibi elektrolitlerin ve sürfaktantların damla yükünü selektif olarak artırdıkları gözlenmiştir. Madenlerde su püskürterek toz bastırma veriminin artırılması, toz tanelerinin su damlaları tarafından yakalanmasını sağlayan üç alt işlemin (çarpışma, yapışma ve ıslanma) başarısına bağlıdır. Toz toplama kapasitesini artırmak için sisteme ilave edilen yüzey aktif maddeler bu alt işlemlerin tümünü etkilediğinden bilinçli olarak kullanılmalılardır.

Sürfaktantların toz tutma olayındaki etkileri tiplerine ve konsantrasyonlarına göre değişebilir. Damla yüzey elektrik yükünü önemli ölçüde etkileyerek toz taneleri ile çarpışma mekanizmasını büyük ölçüde değiştiren katyonik sürfaktantlar söz konusu olduğunda, düşük sürfaktant konsantrasyonları seçilmelidir. Elektrik yükünü fazla etkilemeyen anyonik ve iyonik olmayan reaktifler, daha çok yapışma ve ıslanma işlemlerini etkilerler ve yüksek konsantrasyonlarda kullanıldıklarında toz tutma verimini artırırılar.

Türkiye yeraltı ocaklarında toz bastırma konusundaki çalışmalar genellikle ocakta belirli noktalarda toz yoğunluğunun tesbitine ya da bu tozun pratik olarak azaltılmasına yöneliktir. Ocak havasındaki toz konsantrasyonunun düşürülmesinde su

spreylerinin bilinçli ve yukarıdaki bulgular gözönünde tutulacak şekilde kullanılması son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

Alaboyun, A. R, 1989; "The Effect of Surfactants on the Suppression of Non-Wettable Particles", Yüksek Lisans Tezi, Pennsylvania State Üniversitesi.

Anderson, F. G., Evans, R. L. ve Peluso, R. G., 1963; "A Study of Dust Control Methods for Continuous Mining of Coal", USBM Information Circular, Sayı 8205, s. 1-14.

Baily, A. G., 1988; "Electrostatic Spraying of Liquids", University of Southampton, England.

Balanchard, D. C, 1958; "Electrically Charged Drops from Bubbles in Sea Water and Their Meteorological Significance", Journal of Meteorology, Sayı 15, s. 383-396.

Baysal, F., 1979 ; "İşyerlerinde Toz Sorunu", 6. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Byrne, M. J., 1977; "Studies on Spray Electrification and the Inertial Collection of Particles by Spheres", (Doktora tezi), National Univ. of Ireland.

Cartwright, J., , 1965; Airborne Dust in Coal Mines, Inhaled Particles and Vapours, Sayı II, Ed. C.N. Davies, Proc. Int. Symp. Organized by the British Hygiene Soc, Cambridge, s. 393-408.

Chander, S., Mohal, B. R. ve Aplan, F. F., 1988; "Wetting Characteristics of Particles and Their Significance in Dust Abatement", Respirable Dust in the Mineral Industries, Health Effects Characterization and Control, ACGIH, Eds. R.L. Frantz ve R.V. Ramani, Cincinnati, s. 19-23.

Chander, S., Alaboyun, A. R. ve Aplan, F. F., 1991; "On the Mechanism of Capture of Dust Particles by Sprays", 3rd Symposium on Respirable Dust in the Mineral Industries, Eds. R. L. Franz ve R. V. Ramani, SME, Littleton, CO.

Chapman, S., 1934; "The Charges on Droplets

Produced by the Spraying of Liquids as Revealed by the Millikan Oil Drop Method", Phys. Rev., Sayı 5, s. 150.

Chapman, S., 1937; "Carrier Mobility Spectra of Spray Electrified Liquids", Phys. Rev., Sayı 52, s. 184-190.

Chapman, S., 1938a; "Carrier Mobility Spectra of Spray Electrified Liquids", Phys. Rev., Sayı 54, s. 520-527.

Chapman, S., 1938b; "Interaction of Carrier Mobility Spectra of Liquids Electrified by Bubbling and Spraying", Phys.Rev., Sayı 54, s. 528-533.

Cohen, A. W. ve Rosen, M. J., 1981; "Wetting Properties of Nonionic Surfactants of Homogenous Structure $C_{12}H_{25}(OC_2H_4)_x OH$ ", Journal of Am. O. Chem. Soc, s. 1062-1066.

Concha, F. ve Almendra, E.R., 1979a; "Settling Velocities of Particulate Systems, 1. Settling Velocities of Individual Spherical Particles", International Journal of Mineral Processing, Sayı 5, s. 349-367.

Concha, F. ve Almendra, E.R., 1979b; "Settling Velocities of Particulate Systems, 2. Settling Velocities of Suspension of Spherical Particles", International Journal of Mineral Processing, Sayı 6, s. 31-341.

Concha, F. ve Barrientos, A., 1982; "Settling Velocities of Particulate Systems, 3. Power series Expansion for the Drag Coefficient of a Sphere and Prediction of the Settling Velocity", International Journal of Mineral Processing, Sayı 9, s. 167-172.

Concha, F. ve Barrientos, A., 1986; "Settling Velocities of Particulate Systems, 4. Settling of Nonspherical Isometric Particles", International Journal of Mineral Processing, Sayı 18, p. 297-308.

Concha, F. ve Christiansen, A., 1986; "Settling Velocities of Particulate Systems, 5. Settling Velocities of Suspension of Particles of Arbitrary Shape", International Journal of Mineral Processing, Sayı 18, s. 309-322.

Cooke, B. A., 1955; Nature; s. 176:264.

- Courtney, W. G. ve Cheng, L., 1976; "Control of Respirable Dust by Improved Sprays", USBM Information Circular 8753, s. 92-108.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Enstitüsü, 1987; Yayın No 8.
- Didari, V., 1983; "EKİ Kozlu Bölgesinde İki Kazı Panosunda Solunabilir Toz Durumunun Etüdü", Madencilik, Eylül, s. 27.
- Dodd, E. E., 1952; "The Statistics of Liquid Spray and Dust Electrification by the Hopper and Laby Method", Journal of Applied Physics, Vol. 24, No. 1, s. 73-80.
- Dumm, T., 1983; "An Evaluation of Techniques for Characterizing Respirable Coal Dust", Yüksek Lisans Tezi, The Pennsylvania State Üniversitesi.
- Eyyüboğlu, M. ve Çetin, O., 1995; "Mekanize Galerilerde Kullanılan Toz Bastırıcılar ve Yaş Tip Toz Bastırıcıların OAL'de Uygulaması", Madencilik, Mart, s. 3.
- Eyyüboğlu, M., Çetin, O. ve Saraç, S., 1995; "Üfleyci Tali Havalandırma Uygulanan Mekanize Galerilerde Toz Kontrolü", 14. Madencilik Teknik Kongresi, s. 123, Zonguldak.
- Fainerman, V. B. ve Levitasov, Y. M., 1976; "Effectiveness of Additions of Surfactants in Dust Collection by Wet Methods", Translated from Zhurnal Prikladnoi Khimii, Sayı 49, No. 6, s. 1295-1298.
- Glanville, J. O. ve Haley, L. H., 1982; "Studies of Coal Dust Wetting by Surfactant Solutions" Colloids and Surfaces, Sayı 4, s. 213-227.
- Godard, R. R., 1967; "Dust Abatement Activities Within United States Steel Coal Operations", Coal age, Sayı 72, s. 112.
- Harper, W. R., 1950; "The Volta Effect as a Cause of Static Electrification", Proceedings of Royal Society Series, Sayı A 205, s. 83-103.
- Harper, W.R., 1955; "Adhesion and Charging of Quartz Surfaces", Proc. Royal Soc. Series, Sayı A225, s. 389-403.
- Harper, W.R., 1957; "Generation of Static Charge, Advances in Physics", Sayı 6, s. 365-417.
- Hopper, V.D. ve Laby, T. H.,-1941; "The Electronic Charge", Proc. Roy. Soc, A, Sayı. 178,s. 243-273.
- Hu, Q., 1992; "Dust Removal by Surfactant-Containing Water Sprays", Yüksek Lisans Tezi, The Pennsylvania State Üniversitesi.
- Hu, Q., Polat, H. ve Chander, S., 1992; " Effect of Surfactants in Dust Control by Water Sprays", Proc. of the Symposium on Emerging Process Technologies for a Cleaner Environmental, SME, Littleton, CO, Section 36.
- Iribarne, J. V. ve Mason, B. J., 1967; "Electrification Accompanying the Bursting of Bubbles in Water and Dilute Aqueous Solutions", Trans. Faraday Soc, Sayı 63, s. 2234-2245.
- Jonas, P. R. ve Mason, B. J., 1968; "Systematic Charging of Water Droplets Produced by Break-up of Liquid Jets and Filaments", Trans. Faraday Soc, Sayı 64, s. 1971-1982.
- Kaya, E. ve Hogg, R., 1992; "In-situ Measurements of Agglomeration of Airborne Dust in Mine Atmospheres. Emerging Process Technologies for a Cleaner Environment"; Eds. S. Chander SME, Littleton, CO, s. 259-267.
- Kobrick, T., 1970; "Water as a Control Method State of the Art Sprays and Wetting Agents", USBM Information Circular, 8458, 123-131.
- Krupp, H., 1967; "Particle Adhesion-Theory and Experiment", Adv. Colloid and Interface Sci., Sayı 1,s. 111-239
- Kunkel, W., 1948; "Growth of Charged Particles in Clouds", Journal of Applied Physics; Sayı 19, s.1053-1055.
- Kunkel, W., 1950a; "Charge Distribution in Coarse Aerosols as a Function of Time", Journal of Applied Physics; Sayı 21, s.833-837.
- Kunkel, W. B., 1950b; "A Dust Electricity Analyzer, The Review of Scientific Instruments", Sayı 21, s. 308-314.
- Kunkel, W. B., 1950c; "The Static Electrification

of Dust Particles on Dispersion into a Cloud", Journal of Applied Physics, Sayı 21, s. 820-832.

Kutsuwada, N. ve Nakamura, Y., 1989; "A Measurement of Electro-photographic Toner Charge", The Journal of Imaging Technology, Sayı 15, No. 1, s. 1-6.

Leiteritz, H., Einbrodt, H.J. ve Klosterkotter, W., 1965; Grain Size and Mineral Content of of Lung Dust of Coal Miners Compared with Mine Dust, Inhaled Particles and Vapours, Sayı II, Eds. C.N. Davies, Proc. Int. Symp. Organized by the British Hygiene Soc, Cambridge, s. 381-391.

Lenard, P., 1892; Wied. Ann., Sayı 46, s. 584.

Levo, Jr. N., 1965; "Dust Control in Coal Mines", Trans. 53rd National Safety Congress, Coal Mining Sessions, s. 11-13.

Liu, B. H. Y., Pui, D. Y. H., Kinstley, W. O. ve Wayre, G. F., 1987; "Aerosol Charging and Neutralization and Electrostatic Discharge in Clean Rooms", Journal of Environmental Sciences, s. 42, March-April.

Mohal, B., 1988; "Enhancement of Wettability of Coal Powders Using Surfactants", (Doktora Tezi), Pennsylvania State Üniversitesi.

Mukerjee, P. ve Mysels, K.J., 1971; "CMC of Aqueous Surfactant Systems", Nat. Stand. Ref. Data Ser., Bur. Stand. (US), s. 36, 227.

Osipow, L.W., 1962; "Surface Chemistry, Theory and Industrial Applications, Reinhold Publishing" Co., N.Y.

Papic, M. M. ve McIntyre, A. D., 1973; "Surface Active Agents Evaluated in a Canadian Study", Coal Age, s. 85-87.

Polat, M., 1990; "Characterization of Freshly Generated Airborne Dust", Yüksek Lisans Tezi, Pennsylvania State Üniversitesi.

Polat, M., Chander, S. ve Hogg, R., 1991; "Characterization of Freshly Generated Airborne Dust of Quartz", Proc. of Int. Sypm. on Respirable Dust in the Mineral Ind.; Eds., R. L. Frantz, Littleton, CO, s. 267-274.

Polat, H., 1992; "Charge on Spray Droplets of Aqueous Electrolyte and Surfactant Solutions", Yüksek Lisans Tezi, Pennsylvania State

Üniversitesi, University Park.

Polat, H, Hu, Q, Polat, M ve Chander, S., 1993; "The Effect of Droplet and Particle Charge on Dust Suppression by Wetting Agents", Proceedings of the VIth US Mine Ventilation Symposium,, Eds. R. Bhaskar, SME, s. 535-541, Littleton CO.

Polat H, Polat, M, Chander S ve Hogg, R., 1996; " The Electrostatic Charge on Particles and Its Relation to Agglomeration in Air" Journal of Applied Occupational and Environmental Hygiene, Sayı 11, No. 2, s. 817-825.

Reck, R.A., 1967; In M.J. Schick (Editor), Non-ionic Surfactants, Marcel-Decker, Inc., N.Y., s. 187-246.

Resmi Gazete, Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik, Resmi Gazete No; 20635, Tarih : 14/09/1990.

Resmi Gazete, Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik, Resmi Gazete No; 23976, Tarih : 26/02/2000.

Saltoğlu, S., 1970; Maden İşletmelerde Toz ve Silikozla Mücadele, B. Stoces ve H. Jung'dan çeviri, İTÜ Kütüphanesi, Sayı 805.

Saltoğlu, S., 1975; Madenlerde Havalandırma ve Emniyet İşleri, İTÜ Kütüphanesi, Sayı 1019.

Stairmand, I., 1956; Institute of Fuel, Sayı 29, s. 58.

Tatar, Ç., 1989; "TKİ Orta Anadolu Linyitleri Çayırhan Bölgesinde Mekanize Hazırlık, Üretim, Nakliyat ve Tahkimat Uygulaması, Sorunları, Tasarımı", Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şubat.

Tatar, Ç ve Tatar, D., 1990; "OAL'de Mekanize Kömür Madenciliğinde Oluşan Toz ve Gürültünün Ölçümleri ile Bunların Fizyolojik Özellikleri", 7. Türkiye Kömür Kongresi, TMMOB, s. 383-398.

TMMOB MMO, 1992; "Türkiye Taşkömürü Madenciliğinde İşçi Sağlığı ve İşgüvenliğine İlişkin Sorunlar ve Çözüm Önerileri", TMMOB MMO Zonguldak Şubesi.

USBM' Open File Report, 1983; 98-83, "Evaluation of Charged Water Sprays for Dust Control".

US Department of Interior , 1992a; "Wetting Characteristics of Dust Particles in Relation to Dust Abatement", Project Report, Washington, D.C..

US Department of Interior , 1953; "Adhesion, Agglomeration and Deposition of Respirable Dust", Project Report, Washington, D.C., 1992b.Vick, F. A., Theory of Contact Electrification, British Journal of Applied Physics, Sayı Supp.- 2, s. S1-S5.

Walker, Jr., Peterson, E. E. ve Wright, C. C, 1952; "Surface Active Agent Phenomena in Dust Abatement", Ind. and Eng. Chenu Sayı 44, No. 44, s. 2389-2393.

Walton, W. H. ve Woolcock, A., 1960; "The Suppression of Airborne Dust by Water Sprays", Int. Journal of Air and Pollution, Sayı 3, s. 129-153.

White, H. J., 1951; "Particle Charging in Electrostatic Precipitation", Am. Ins. Electrical Eng. Trans., Sayı 70, s. 1186.

Yaprak, S., Didari, V. ve Tözün, A.İ., 1988; "Solunabilir Ocak Tozlarının Kuvarz İçerikleri", 6. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Zeller, H. W., 1979; "As Quoted by Harold, R., Surfactants vs. Dust - Do They Work?", Coal Age, 84, s. 102-105.

Zeller, H. W., 1983; "Laboratory Test for Selecting Wetting Agent For Coal Dust Control", USBM Report of Investigations, s. 1-21.