

KISA DEVRE HAVALANDIRMADA ETKİLİ OLAN FAKTÖRLER

Saim SARAÇ¹, Mustafa ÖNDER¹

ÖZET : *Galeri sürme sırasında uygulanan Kısa Devre Havalandırma sisteminin başarısı büyük oranda, sistem üzerinde etkili olan bazı faktörlerle bağlıdır. Bu çalışmada, tali havalandırmadaki Kontrollü Kısa Devre Havalandırma yöntemi tanıtılmış, kısa devre edilen hava miktarının, toz bastırıcı veriminin, üfleyici hat vasıtasıyla arına taşınan temiz havadaki toz konsantrasyonunun ve arın civarında galeri açma makinası tarafından üretilen toz miktarının, ortam havasındaki toz konsantrasyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.*

ANAHTAR KELİMELELER : *Kısa Devre Havalandırma, Tali Havalandırma.*

EFFECTIVE FACTORS ON THE CONTROLLED RECIRCULATION METHOD

ABSTRACT : *The success of the Controlled Recirculation system in headings highly depends on some factors effective on the system. In this study, the Controlled Recirculation Method in auxiliary ventilation was summarised and the effects of some factors such as recirculated air quantity, efficiency of dust suppressor, dust concentration of air in the blowing duct, dust quantity created by heading machine on the environmental dust conditions in drivages were investigated.*

KEYWORDS : *Controlled Recirculation Ventilation, Auxiliary Ventilation.*

¹ Saim SARAÇ, Mustafa ÖNDER, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 26030 ESKİŞEHİR, Tel:230 39 72

I. GİRİŞ

Yeraltı madenciliğinde galeri sürme işleri ile tünel ve metro gibi yeraltı yapılarının açılması sırasında bir hava geliş ve bir hava dönüş yolu bulunmadığından, arın civarına yeterli miktarda hava ulaştırabilmek için tali havalandırma sistemlerinden birisi uygulanır. En uygun havalandırma sisteminin seçiminde, çalışma sırasında karşılaşılabilecek olası çevre sorunlarının gözönünde tutulması gerekir. Son yıllarda galeri ve tünel açma işlerinde galeri açma makinalarının kullanımının yaygınlaşması, ateşleme gazları problemini ortadan kaldırmış, ancak beraberinde toz sorununu getirmiştir. Çalışma ortamındaki, özellikle de galeri açma makinası operatörünün civarındaki toz konsantrasyonunu azaltabilmek için, klasik tali havalandırma sistemlerinde de değişik uygulamalara gidilmiştir. Bu uygulamalardan, aynı galeride iki vantüp hattının ve bir toz bastırıcı filtrenin kullanıldığı “Kısa Devre Havalandırma” (KDH) sistemi çeşitli ülkelerde deneme ölçeğinde başlatılmış ve edinilen deneyimler ışığında geliştirilerek yaygınlaştırılmıştır.

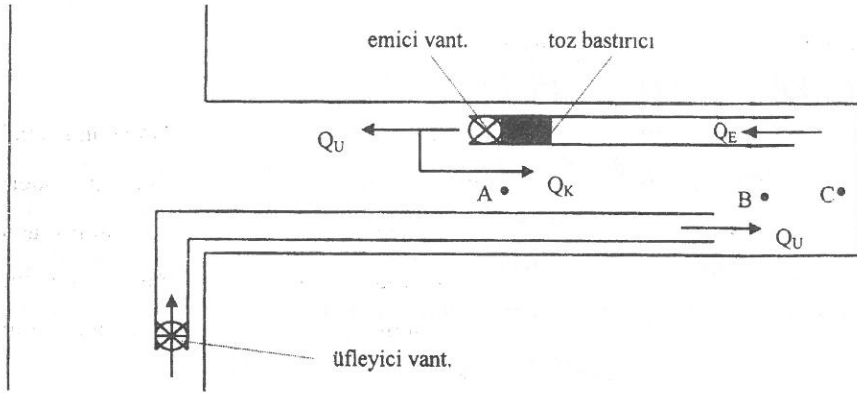
II. KISA DEVRE HAVALANDIRMA

Aynı havanın bir noktadan birden fazla kez geçirilmesi “Kısa Devre Havalandırma” olarak nitelenir. Panoların, iletimli ayaklardaki kılavuz arınlarının ve tali galeri arınlarının havalandırılmasında bu sistem uygulanabilmektedir. Tali havalandırmada KDH, galeri arınına havalandırdıktan sonra galeri çıkışına doğru yönelen havanın bir kısmının tekrar arın bölgesine gönderilmesi anlamına gelir [1]. Bu makalede, tali havalandırmadaki KDH uygulaması konu edilmektedir.

Bu sistemde galeri içine biri üfleyici, diğeri emici olmak üzere iki ayrı boru hattı döşenir. Üfleyici hat ana sistem, emici hat ise yardımcı sistemdir (Şekil 1). Emici vantilatör tarafından çekilen hava miktarı (Q_E), üfleyici hat ucundan boşalan hava miktarının (Q_U) 1.5-2 katı kadar olur. Bir başka deyişle, arından emilen hava miktarı arına üflenen havadan daha fazla olacak şekilde düzenleme yapılır. Galeriye terk eden hava miktarının, galeriye giren hava miktarına eşit olması gerektiğinden, arından emilen havanın $Q_K=Q_E-Q_U$ kadar kısmı dönüş yaparak tekrar arın bölgesine doğru

yönlenir, böylece bir kısa devre akımı oluşturur. Bu sayede arın civarındaki hava miktarı artarak, $Q_E=Q_U+Q_K$ değerine ulaşır [2].

Emilen havanın bir kısmının bu şekilde arına geri gönderilmesi arın civarındaki hava miktarını artırmakla birlikte, kısa devre edilen havadaki toz konsantrasyonu yüksek olmaktadır. Bu nedenle, emilen hava içindeki tozu bastırabilmek için emici hat üzerinde bir veya birkaç toz bastırıcı yerleştirilir. Genellikle yaş tip olarak kullanılan toz bastırıcılar, bünyelerindeki filtre ve su püskürtme memecikleri yardımıyla, emilen hava içindeki toz partiküllerinin büyük kısmını çöktürür [3]. Böylece, kısa devre edilerek arın bölgesine yeniden gönderilen havadaki toz miktarı çok düşük seviyelere indirilir. Galeri açma makinası operatörü, arından biraz daha geride bulunduğundan, filtrelenmiş ve toz içeriği azaltılmış olan havayı solur. Tali galeri ağzına doğru yönlendirilerek ana galeri havasına karışan hava da olabildiğince tozdan arındırılmış olur.



Şekil 1. Galeri sürmede kısa devre havalandırma sistemi (Q_U : Üfleyici hattaki hava miktarı, Q_E : Emici hattaki hava miktarı, Q_K : Kısa devre edilen hava miktarı).

Arındaki kazı çalışmaları sırasında üretilen toz miktarının, kullanılan toz bastırıcının toz filtreleme veriminin ve sistemdeki hava miktarlarının bilinmesi durumunda, galeri havasındaki toz konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik teorik bir yaklaşıma gidilebilir [4].

Şekil 1'deki kısa devre havalandırma uygulamasında umulan değerler aşağıdaki gibi olsun;

Arındaki toz üretimi	: 42 mg/s
Üfleyici hat debisi (Q_U)	: 3 m ³ /s
Emici hat debisi (Q_E)	: 5 m ³ /s
Toz bastırıcı verimi	: % 70
Üflenilen havadaki tozluluk	: 1 mg/m ³

Bu galeride sadece üfleyici sistem uygulanması durumunda;

Üfleyici hattaki toz miktarı	: 3 m ³ /s * 1 mg/m ³ = 3 mg/s
Arındaki toz miktarı	: 42 mg/s + 3 mg/s = 45 mg/s
Arındaki toz konsantrasyonu	: 45 mg/s ÷ 3 m ³ /s = 15 mg/m ³

değerlerinin oluşması beklenir. Aynı galeride KDH uygulanırsa A, B ve C noktalarında umulan tozluluk değerleri [4] deki algoritma ile hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek kısa devre havalandırma uygulaması için hesaplama sonuçları

İterasyon	A daki toz oranı (mg/m ³)	B daki toz miktarı (mg/s)	B daki toz oranı (mg/m ³)	C daki toz miktarı (mg/s)	C daki toz oranı (mg/m ³)
1	4.5	12	2.4	54	10.8
2	3.24	9.48	1.896	51.48	10.296
3	3.088	9.177	1.835	51.17	10.235
4	3.071	9.141	1.828	51.14	10.228
5	3.068	9.137	1.827	51.13	10.227
6	3.068	9.136	1.827	51.13	10.227
A Noktasındaki Toz Konsantrasyonu : 3.068 mg/m ³					
B Noktasındaki Toz Konsantrasyonu : 1.827 mg/m ³					
C Noktasındaki Toz Konsantrasyonu : 10.227 mg/m ³					
A Noktasındaki Toz Azalma Oranı : % 79.55					
B Noktasındaki Toz Azalma Oranı : % 87.82					
C Noktasındaki Toz Azalma Oranı : % 31.82					

Çizelge değerleri, KDH uygulamasının ortam havasındaki toz konsantrasyonlarında teorik olarak büyük azalmalar sağladığını göstermektedir. Özellikle, en kritik bölge olan galeri açma makinası operatörünün bulunduğu B noktasındaki tozluluk, KDH sistemi sayesinde, basit üfleyici sisteme oranla %87.82 oranında azaltılabilmektedir.

III. KISA DEVRE HAVALANDIRMADA ETKİLİ FAKTÖRLER

Klasik tali havalandırma sistemleriyle karşılaştırıldığında, kısa devre havalandırmanın getirdiği kazanımlar şöyle sıralanabilir [5]:

- Arın civarındaki hava miktarı artar,
- Hava hızı da artacağından, metan tabakalaşması önlenir,
- Ortam havası sıcaklığında azalmalar sağlanır,
- Ortam havasındaki toz konsantrasyonları azalır.

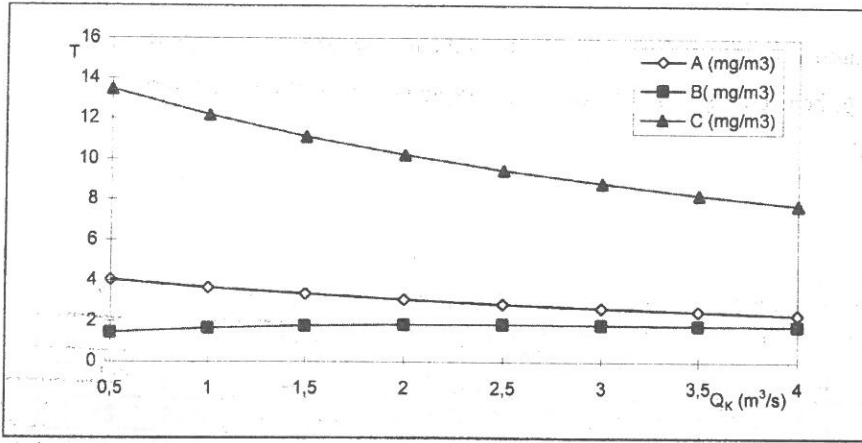
Ancak sistemi etkileyen çok sayıda faktör vardır ve sistemin başarısı büyük oranda, toz bastırıcı verimine, kısa devre oranına ve üfleyici hattaki hava kalitesine bağlıdır [6,7]. Bu faktörlerin etkisini araştırmak amacıyla, örnek uygulamadaki veriler değiştirilerek bilgisayar yardımıyla hesaplamalar tekrarlanmış, yeni koşullardaki tozluluk değerleri belirlenmiş, değişimler eğrisel olarak yorumlanmıştır.

III.1. Kısa Devre Edilen Hava Miktarının Etkisi

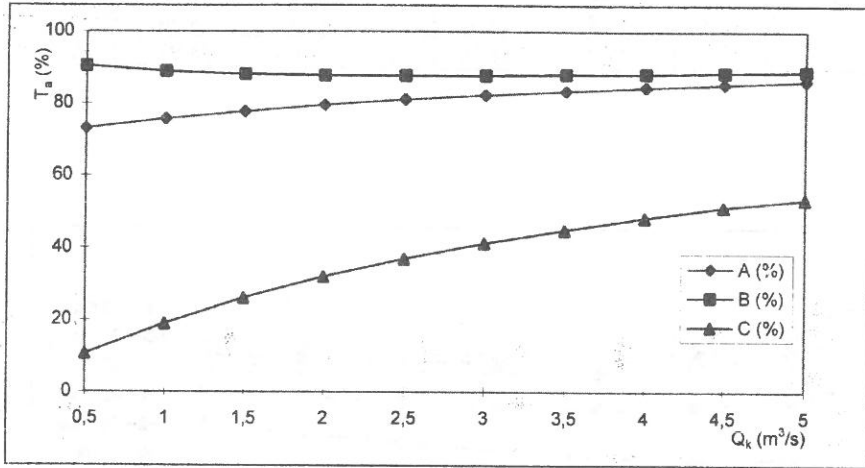
Kısa devre edilen hava miktarı (Q_K) değeri $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ den başlatılarak, $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ artışlarla $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ye kadar artırılmış ve her aşama için tali galerinin A, B ve C noktalarındaki tozluluk değerleri, yazılan bir bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 2'de, toz konsantrasyonlarının değişimi Şekil 2'de, toz azalma yüzdelerinin değişimi ise Şekil 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. Değişik Q_K değerleri için elde edilen hesaplama sonuçları (Q_K : Kısa devre hava miktarı, T : Toz konsantrasyonu (mg/m^3), T_a : Toz azalma oranı (%))

Q_K	A' da		B' de		C' de	
	T	T_a	T	T_a	T	T_a
0.5	4.030	73.13	1.432	90.45	13.432	10.45
1	3.648	75.68	1.662	88.92	12.162	18.92
1.5	3.333	77.78	1.778	88.15	11.111	25.93
2	3.068	79.55	1.827	87.82	10.227	31.82
2.5	2.842	81.05	1.837	87.75	9.473	36.84
3	2.647	82.35	1.824	87.84	8.823	41.18
3.5	2.477	83.48	1.795	88.03	8.257	44.95
4	2.327	84.48	1.758	88.27	7.758	48.27



Şekil 2. Kısa devre edilen hava miktarı (Q_K) ile A, B ve C noktalarındaki tozluluğun değişimi.



Şekil 3. Q_K ile A, B ve C noktalarındaki toz azalma yüzdelere değişimi.

Arında ve galeri gerisinde, kısa devre hava miktarı arttıkça tozluluk azalmakta, operatör konumunu temsil eden B noktasında ise fazla bir etkisi olmamaktadır. Bu, üflenen havadaki toz konsantrasyonunun arındaki toz üretimine oranla çok düşük bir değerde olmasından kaynaklanmaktadır. Buradan, temiz havadaki toz miktarının arındaki toz üretiminden çok düşük olduğu durumlarda kısa devre hava oranının düşük tutulabileceği sonucu çıkarılabilir.

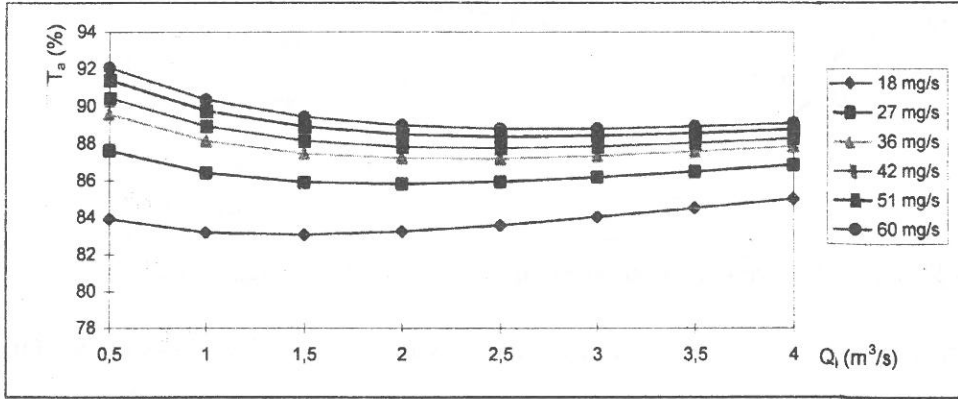
III.2. Arındaki Toz Üretimine Etkisi

Arındaki toz üretiminin A, B ve C noktalarındaki tozluluğa etkisini araştırmak amacıyla, arında 18, 27, 36, 42, 51 ve 60 mg/s toz üretilmesi durumları için hesaplamalar

tekrarlanmıştır. A ve C noktaları için sağlanan toz azalma yüzdelerinde bir değişim olmadığı belirlenmiştir. B noktası için hesaplanan toz azalma yüzdeleri ise Çizelge 3'de verilmiştir.

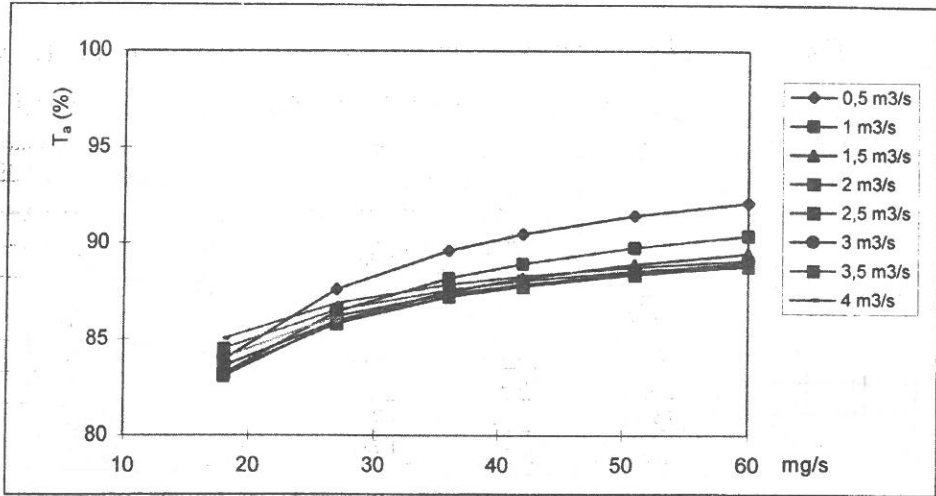
Çizelge 3. Arındaki toz üretiminin, B noktasındaki toz azalmasına etkisi (%)

Arındaki toz üretimi (mg/s)	Kısa devre edilen hava miktarı (m^3/s)							
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
18	83.92	83.20	83.07	83.24	83.59	84.03	84.51	85.01
27	87.59	86.42	85.92	85.82	85.93	86.48	86.49	86.85
36	89.57	88.15	87.46	87.20	87.19	87.33	87.56	87.84
42	90.45	88.92	88.15	87.82	87.75	87.84	88.03	88.27
51	91.40	89.75	88.89	88.48	88.36	88.40	88.54	88.75
66	92.08	90.35	89.42	88.96	88.79	88.79	88.91	89.09



Şekil 4. Arındaki toz üretimi ile, B noktasında sağlanan toz azalma yüzdelerinin değişimi.

Değişik Q_k değerleri için, arındaki toz üretimi ile B noktasında sağlanan toz azalma yüzdelerinin değişimi ise Şekil 5'dedir.



Şekil 5. Arındaki toz üretiminin B noktasındaki toz azalma yüzdelerine etkisi.

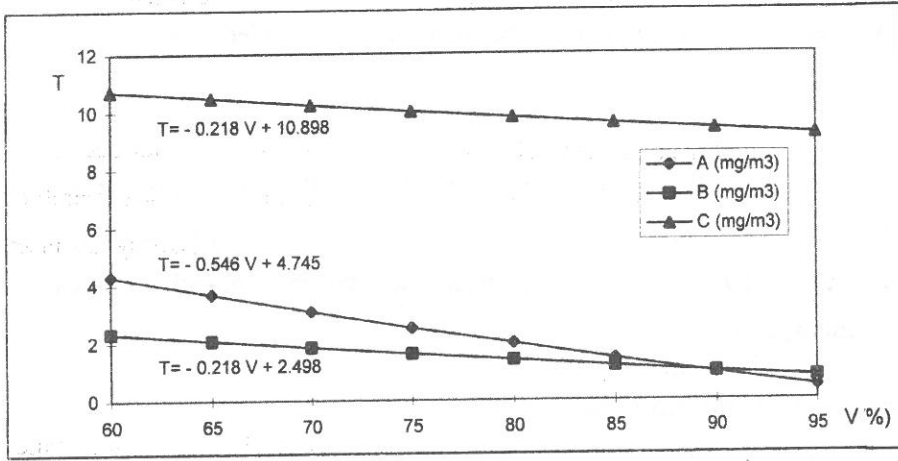
Arındaki toz üretimi arttıkça, sürülen galeri içindeki en kritik konum olan operatörün bulunduğu B noktasında toz azalma yüzdesi artmaktadır. Buradan, yüksek toz üretilen galeri sürme çalışmalarında kısa devre havalandırma sisteminin mutlaka uygulanması gerektiği yorumu yapılabilir.

III.3. Toz Bastırıcı Veriminin Etkisi

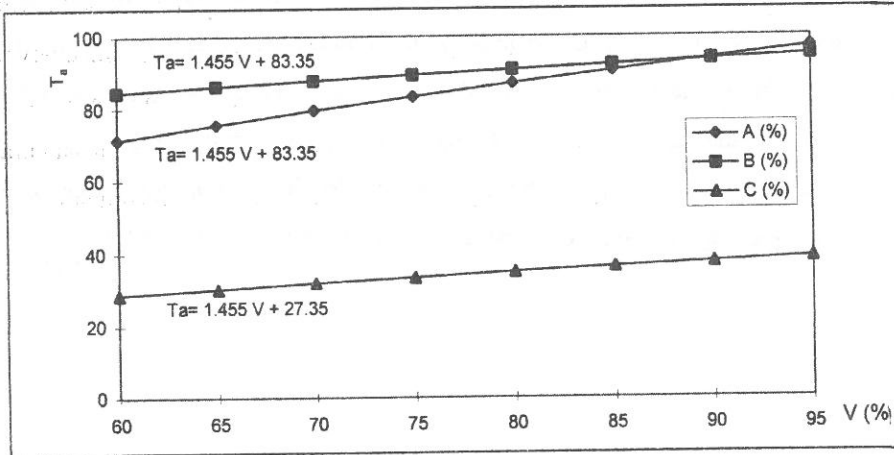
Kısa devre havalandırma sisteminde toz bastırıcının veriminin etkisi büyüktür. Emilen havadaki tozların çöktürülme oranı arttıkça, gerek kısa devre edilen hava içindeki, gerekse ana galeriye verilen çıkış havası içindeki toz konsantrasyonları azalacaktır. Bu etkiyi gözlemek için, arında 42 mg/s toz üretilmesi ve 2 m³/s kadar havanın kısa devre edilmesi durumunda, toz bastırıcı verimi %60'dan %95'e kadar değiştirilmiş ve A, B, C noktalarındaki toz konsantrasyonları ile toz azalma yüzdeleri hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 4'de, eğrisel değerlendirmeler ise Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Çizelge 4 : Değişik toz bastırıcı verimleri için hesaplama sonuçları. (V: Toz bastırıcı verimi (%), T : Toz konsantrasyonu (mg/m^3), T_a : Toz azalma yüzdesi (%))

V	A' da		B' de		C' de	
	T	T_a	T	T_a	T	T_a
60	4.286	71.43	2.314	84.57	10.714	28.57
65	3.663	75.58	2.065	86.23	10.465	30.23
70	3.068	79.55	1.827	87.82	10.227	31.82
75	2.500	83.33	1.600	89.33	10.000	33.33
80	1.956	86.96	1.382	90.78	9.783	34.78
85	1.436	90.43	1.174	92.17	9.574	36.17
90	0.937	93.75	0.975	93.50	9.375	37.50
95	0.459	96.94	0.783	94.77	9.184	38.77



Şekil 6. Toz bastırıcı veriminin, A, B ve C noktalarındaki tozluğa etkisi.



Şekil 7. Toz bastırıcı veriminin, A, B ve C noktalarındaki toz azalma oranlarına etkisi.

Toz bastırıcı verimi arttıkça, temel alınan üç noktada da tozluluk doğrusal olarak azalmakta, azalma hızı A ve B noktalarında aynı kalmakta, B noktasındaki toz azalma hızı ise daha yüksek olmaktadır. Bir başka deyişle, toz bastırıcının verimli çalıştırılabilmesinin en büyük etkisi, en kritik nokta olan B noktasındaki tozluluk üzerinde gözlenmektedir.

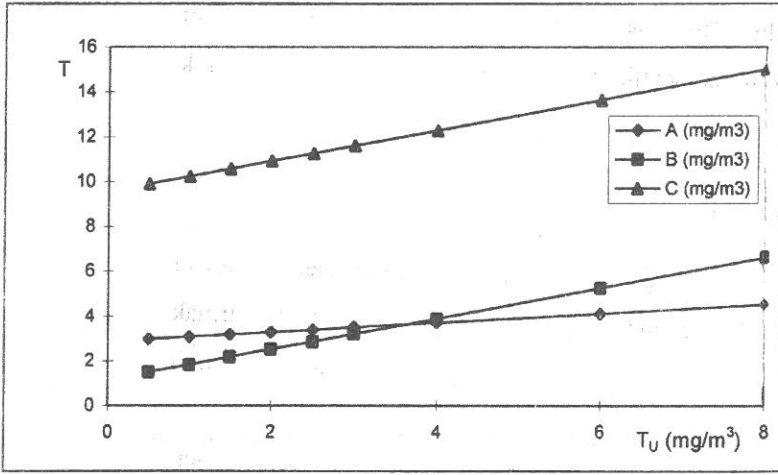
III.4. Üflenen Havadaki Tozluluğun Etkisi

Ana galerideki akımdan havayı alarak, tali galerinin arın bölgesine gönderen üfleyici hattaki havanın temiz olması son derece önemlidir. Bu faktörün etkisini araştırmak amacıyla, arındaki toz üretiminin 42 mg/s ve kısa devre edilen hava miktarının 2 m³/s olduğu durum için, üflenen havadaki toz konsantrasyonları değiştirilerek A, B ve C noktalarındaki toz konsantrasyonları ile bu noktalarda sağlanan toz azalma yüzdeleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 5'de, eğrisel yorumlar ise Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

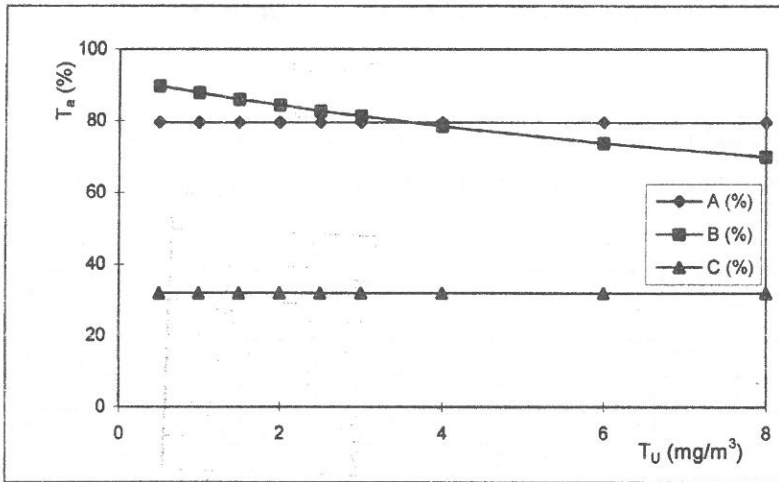
Çizelge 5. Üflenen havadaki toz konsantrasyonları için hesaplama sonuçları (T_U:Üfleyici hattaki tozluluk (mg/m³), T:Toz konsantrasyonu (mg/m³), T_a:Toz azalma yüzdesi (%))

T _U	A' da		B' de		C' de	
	T	T _a	T	T _a	T	T _a
0.5	2.966	79.54	1.486	89.75	9.886	31.82
1	3.068	79.54	1.827	87.82	10.227	31.82
1.5	3.170	79.54	2.168	86.01	10.568	31.82
2	3.273	79.54	2.509	84.32	10.909	31.82
3	3.477	79.54	3.191	81.23	11.591	31.82
4	3.682	79.54	3.873	78.48	12.273	31.82
6	4.091	79.54	5.236	73.82	13.636	31.82
8	4.500	79.54	6.600	70.00	15.000	31.82

Üfleyici hat ile arın civarına taşınan temiz havadaki toz konsantrasyonu arttıkça A, B ve C noktalarındaki toz konsantrasyonları da doğrusal olarak artmaktadır. Artış hızı arında (C) ve operatör konumunda (B) aynı olmakta, A noktası ise bu artıştan daha az etkilenmektedir. Ancak, klasik tali havaladırmanın uygulanması durumunda da temiz havadaki tozluluk arttıkça, galeri havasındaki toz konsantrasyonları artacaktır.



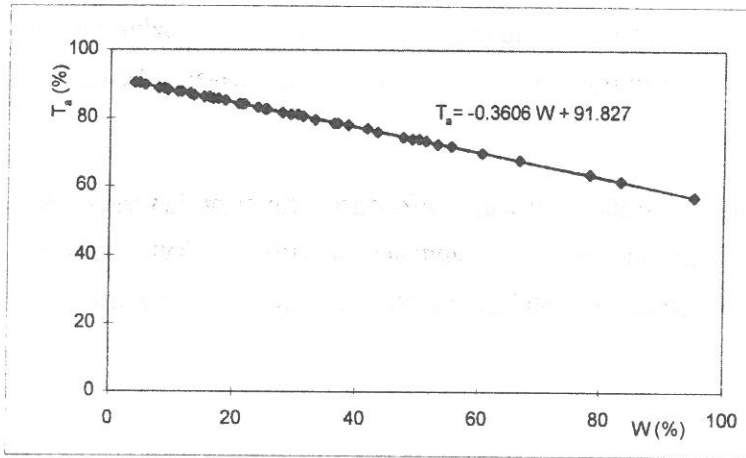
Şekil 8. Temiz havadaki tozluluğun, A, B ve C noktalarındaki tozluluğa etkisi.



Şekil 9. Temiz havadaki tozluluğun, A, B ve C'deki toz azalma yüzdelere etkisi.

Bu nedenle temiz havadaki tozluluğun, kısa devre havalandırmanın sağladığı toz azalma yüzdelere etkisi daha anlamlı olmaktadır. Şekil 9'dan, A ve C noktalarında toz azalma yüzdelерinin değişmediği, yani temiz havadaki tozluluk ne olursa olsun klasik havalandırmaya oranla A noktasında %79.54, C noktasında ise %31.82 değerinde iyileştirmeler sağlanabildiği anlaşılmaktadır. B noktasında sağlanan azalma yüzdesi ise temiz havadaki tozluluk arttıkça düşmektedir.

B noktasındaki toz azalma yüzdesinin, temiz havadaki ve arın civarı havasındaki toz miktarına göre değişimini araştırmak için; temiz havadaki toz miktarı (mg/m^3) / arın civarı havasında umulan toz miktarı (mg/m^3) oranını ifade eden bir W parametresi tanımlanmıştır. B noktasındaki toz azalma yüzdeleri, toz bastırıcı veriminin %70, kısa devre hava miktarının $2 \text{ m}^3/\text{s}$ olması durumunda, W parametresine bağlı olarak Şekil 10 daki gibi azalmıştır. Bu değişim, etkili bir KDH uygulaması için, W parametresinin olabildiğince düşük tutulması gerektiği anlamını taşır.



Şekil 10. B noktasındaki toz azalma yüzdesinin W parametresiyle değişimi.

IV. SONUÇLAR

Galeri, tünel, metro gibi yeraltı yapılarının açılması sırasında Kısa Devre Havalandırma sistemi havalandırma mühendisine önemli kazanımlar getirmektedir. Özellikle uzun galerilerin sürülmesinde gerekli tali vantilatör sayısını azaltmakta, arın civarındaki hava miktarını artırmakta, ortam havası sıcaklığında anlamlı azalmalar sağlamaktadır. Bu uygulamanın en büyük üstünlüğü ise, ortam havasındaki toz konsantrasyonunu önemli ölçüde düşürmesidir. Sistemin başarısı, toz bastırıcının verimine, kısa devre havalandırma oranına ve üfleyici hattaki havanın kalitesine büyük oranda bağlıdır.

a) Kısa devre edilen hava miktarı arttıkça, arın civarındaki tozluluk büyük bir hızla azalmakta, operatörün bulunduğu noktadaki toz azalmasında ise daha düşük bir hız gözlenmektedir. Optimum kısa devre havalandırma oranı 1.5-2 civarında olmaktadır.

b) Arındaki toz oluşumu arttıkça, operatörün bulunduğu noktada KDH sistemi sayesinde sağlanan toz azalma yüzdeleri de artmaktadır. Bu nedenle, arındaki toz üretiminin aşırı olduğu koşullarda, KDH uygulaması daha fazla yarar sağlayacaktır.

c) Toz bastırıcı verimi arttıkça, galeri içinde gözönüne alınan üç farklı istasyon noktasında da tozluluk doğrusal olarak azalmaktadır. Galeri gerisindeki toz azalma hızı daha yüksek olmakta, ana galeriye daha temiz hava geri verilebilmektedir.

d) Üfleyici ana hattaki temiz havanın tozluluğu arttıkça, galeri içindeki tozluluk da doğrusal olarak artmakta, bu artış ana galeriye geri verilen havayı daha az etkilemektedir.

e) Etkili bir tozla mücadele için üfleyici hattaki toz miktarının, arın civarı havasındaki toz miktarına oranı olabildiğince düşük tutulmalıdır. Üfleyici hattaki toz konsantrasyonunun fazla olması durumunda, bu hat üzerinde de toz bastırıcı yerleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] A.J. Pickering and R. Aldred, "Controlled Recirculation-a Means of Dust Control in a Face Advance Heading", *The Mining Engineer*, pp.329-343, March, 1977.
- [2] A. Gracie, "Controlled Recirculation-Auxiliary Ventilation Systems", *Colliery Guardian*, pp. 226-229, 1984.
- [3] E.M. Eyyuboğlu ve O. Çetin, "Mekanize Galerilerde Kullanılan Toz Bastırıcılar ve Yaş Tip Toz Bastırıcıların OAL'de Uygulanması", *Madencilik*, ss. 3-11, Mart, 1995
- [4] S.Saraç ve O.Çetin, "OAL İşletmesinde Kısa Devre Havalandırma Denemesi", Türkiye 11. Kömür Kongresi, Bildiriler Kitabı, 1998.
- [5] V.S. Vutukuri and R.D. Lama, "How to Maximise the Recirculation of Used Air", *Tunnels and Tunneling*, pp. 57-60, October, 1988
- [6] Y.K. Verma, "Environmental Aspects of Auxiliary Ventilation", *The Mining Engineer.*, pp. 217-226, October, 1981.
- [7] J.A. Allan, "A review of Controlled Recirculation Ventilation Systems in UK. Collieries" *CIM Bulletin*, V. 76, No. 849, pp. 83-88, January, 1983.