

Değişik Birimlerde Havayolu Direnci ve Sürtünme Katsayıları

(Airway Resistance and Coefficient of Friction
For Different Unit Systems)

Dr. Tefik GÜYAGÜLER*

ÖZET.

Havalandırma problemlerinin çözümünde değişik sistem ve birimler kullanılmaktadır. Özellikle hava miktarı, basınç düşmesi, galeri direnci ve buna bağlı olarak sürtünme katsayılarının değişik sistem ve birimlerde kullanılması bazı karışıklıklara ve sonuç olarak bazı hatalara neden olmaktadır.

Bu yazıda, havalandırma hesaplamalarında kullanılan değişik sistem ve birimlere bağlı olarak sürtünme katsayılarının değerleri irdelenmiş ve değişik birimlerin nasıl kullanılacağı örnek problemlerle açıklanmıştır.

Ayrıca konuya ilişkin olarak kullanılmakta olan birimler ile çevirme katsayıları yazıya ek olarak verilmiştir.

ABSTRACT.

In the solution of mine ventilation problems, the calculations can be carried out by using different unit systems.

Using of the different unit systems and the related coefficients of friction in solving problem is main source of error.

The units of airflow, pressure drop and resistance (also coefficient of friction) have different units for different systems.

In the selection of coefficient of friction which fits the conditions, one should be careful. It is always possible to use the coefficient of friction which does not prepared for, that unit system.

In this paper together with the different unit systems used in mine' ventilation, the coefficient of friction Values used in different systems are investigated and their usage are illustrated with sample problems.

In the last part, the units used in mine ventilation are listed and their conversion factors are given.

1. GİRİŞ

Yeraltı havayollarında havalandırma hesaplamalarının tam ve doğru olarak yapılabilmesi için hava geçen yolların dirençlerinin hatasız olarak saptanması gerekir..

Özellikle proje aşamasında yolların direnci, direnç formülü kullanılarak bulunur. Yolun özelliğine uygun olarak seçilen sürtünme katsayısı, kesit alanı, galeri çevresi ve uzunluğu direnç formülünün elemanlarıdır. Formül kullanımında uygun sürtünme katsayısının seçilebilmesi hesaplanacak olan direncin doğruluk ve duyarlılığının derecesini saptar. Sürtünme katsayısının İse havanın akım türüne, başka bir deyişle Reynold sayısına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Buna ilaveten değişik birim sistemlerinde kullanılan sürtünme katsayıları farklıdır. Bu nedenle yazıda Öncelikle hava akış türlerini ve sürtünme katsayıları ile olan ilişkileri, daha sonrada değişik sistemlerde kullanılan sürtünme katsayısı değerleri İncelenecektir.

2. AKIŞ TÜRLERİ

Bir boru İçinde akan sıvı veya galeri içinde hareket eden havanın akış şekilleri üç ayrı sınıfa ayrılabilir.

- Düzgün akış (LAMINAR)
- Yarı-girdaph akış (LAMINAR- TURBULENT)
- Girdaph akış (TURBULENT)

Akış türleri arasındaki farkı ve sürtünme katsayılarına olan etkilerini iyi anlamak hesaplama sonuçlarının doğru olmasını sağlayacaktır. Galerilerde sürtünme nedeniyle oluşan basınç düşmesi değişik akım türleri için değişik olmaktadır. Örneğin düzgün akışda basınç düşmesi havanın hızı ile değişmesine karşın, girdaph akımda hızın karesi ile değişmektedir.

Akış türleri arasındaki farkı kesin olarak belirlemeye yönelik yapılan araştırmalardan birini yapan Osborne "Reynolds, silindirik yollar için Reynold sayısı olarak bilinen, bir imsiz, sabit bir değer saptamıştır (T).

dV

n

Burada : w = yoğunluk (kg/m)
d = boru veya galerinin çapı (m)
V = mutlak viskozite (kg/ms. veya NS/m²)
n = akış hızı (m/sn)

Silindirik olmyan yollar için ise Reynold sayısı aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

$$N_R = w \cdot 4mV$$

Burada (m) ortalama hidrolik çap

{m ~ çevre ~P} olarak tanımlanmaktadır.

Eğer yol, kenarları (a) ve (b) olan bir dikdörtgen şeklinde İse hidrolik çap:

$$m \sim \frac{A}{2(a+b)}$$

dairesel İse:

$$m = \frac{A}{P} = \frac{nd^2/4}{jrd} = \frac{d}{4} \text{ olarak bulunacaktır.}$$

Herhangi bir sıvı veya hava akışının düzgün (laminar) olabilmesi İçin Reynold sayısının 2300 den az olması gerekmektedir. Reynold sayısı 2300 - 5000 arasında İse akış, bazı özelliklere bağlı olarak, kısmen düzgün kısmen girdaph, 5000 den fazla ise akış tümüyle Hİrdaphdır.(İ)

3. AKIŞ TÜRÜNÜN SÜRTÜNME KATSAYISINA ETKİSİ

Reynold sayısının, dotayısıyla akış türünün sürtünme katsayısı üzerindeki etkileri değişik araştırmacılar tarafından araştırılmış ve aşağıdaki ilginç sonuçlar alınmıştır. '

Akış laminar (düzgün) ise (Re < 2300) sürtünme katsayısı (F);

$$F = \frac{64}{N_R} \times 10^{-3} \text{ formülünden, Reynold sayısı}$$

2300-20000 arasında ise sürtünme katsayısı (F) :

$$F = \frac{0.316}{N_R^{0.25}} \text{ formülünden hesaplanmaktadır.}$$

Jır.

Burada F = sürtünme katsayısı,
N[^] = Reynold sayısıdır.

Reynold sayısının daha büyük olması halinde ise Reynold sayısı ile sürtünme katsayısı arasında herhangi bir bağıntının söz konusu olmadığı saptanmıştır.

Bu konuda galeriler esas alınarak yapılan araştırmalarda Reynold sayısı 100 000 i geçtiğinde, galeri sürtünme katsayısının sabit alınabileceği gösterilmiştir (4). Bu sayıyı karşılayan hız değeri ise ol-

dukça küçük olup tüm ocağa oranla çok az sayıda hava yolları için geçerli olduğundan, havalandırma hesaplarında sürtünme katsayısının Reynold sayısından bağımsız olarak kullanılması fazla hata getirmeyecektir. Başka bir deyişle bir hava yolunun sürtünme katsayısı hava hızına dolayısıyla Reynold sayısına bağlı olmaksızın sabit değerler olarak düşünülebilir (6).

4. BASINÇ DÜŞMESİ-HIZ İLİŞKİSİ

Basınç düşmesi ve hız arasında ise aşağıdaki bağıntı bilinmektedir (2).

$$H \ll V^n$$

Ancak (n) değeri değişik akı; türleri için değişik olabilmektedir. Örneğin düzgün akış için $n = 1$, girdaptı akış, pürüzsüz ve muntazam boru veya galeri için (bu durum havayolları için söz konusu değildir) $n = 1.75$, temiz olmayan yollar için (hava yolları, galeriler gibi) $n = 2$ olarak alınmaktadır. Bu durumda basınç düşmesi hızın karesi ile değişmektedir.

$$H \ll V^2$$

Düzgün akış sınırında yani Reynold sayısı 2300 olduğunda, bu değere karşı gelen (hizyolun çapı) değeri aşağıdaki formülden bulunabilmektedir.

$$V \times d = \frac{R_e \times n}{w} = \frac{2300 \times 18 \times K T^6}{V^2} = 3.5 \times 10^{-2}$$

m^2/s

Burada $n =$ mutlak viskosite (18×10^{-4})
 $w =$ havanın yoğunluğu (1.2 kg/m^3),

$R_e =$ 20000 için ($n=2$ olabilmesi için alt sınır)

$$w = \frac{20000 \times 18 \times 10^{-4}}{1.2} = 0.3 \text{ m}^2/s$$

olarak bulunur.

Yukarıdaki formülden galeri çapı 3.0 m olarak alındığında

$R_e =$ 2300 için, hız = 0.01 m/s

$R_e =$ 2000 için, hız = 0.1 m/s olmaktadır.

Diğer taraftan $H \ll V^n$ eşitliğinde Reynold sayısı 20 000 veya daha fazla olduğundan $n = 2$ olmaktadır. Bu Reynold sayısına karşı gelen hız değeri ise yukarıda gösterildiği gibi 0.1 m/s civarındadır. Ocak havalandırmasında hava hızının 0.1 m/s den

daha ar olma olasılığı çok zayıftır. Bu nedenle havalandırma hesaplanmalarında $n = 2$ alınması fazla hata getirmeyecektir.

Sonuç olarak ocak havalandırmasında sürtünme katsayıları akış türüne bağlı olmaksızın düşünülmeli ve basınç düşmesi formülü

$$H = RQ^2$$

olarak alınmalıdır.

5. ATKINSON EŞİTLİĞİ VE SÜRTÜNME KATSAYISI

Yeraltı havayollarında sürtünme nedeniyle meydana gelen basınç düşmesi aşağıda verilen Atkinson eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$H_L = \frac{KCLV^3}{A} = \frac{KCLQ^3}{A^2}$$

Burada : $H =$ Basınç düşmesi

$C =$ Galeri çevre boyu

$L =$ Kesit alanı

$V =$ Hız

$K =$ Sürtünme katsayısı

Bu formülden değişik sistemlerde değişik birimler kullanılmaktadır.

Yukarıda verilen eşitlik akışkanlar mekaniğinden bilinen Darcy eşitliği ile benzerlik göstermektedir. Darcy eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$H_L = \frac{FLV}{2gd} = \frac{FLV^2}{2gA/P} = \frac{FSV^2}{8gA} = \frac{F}{8g} \frac{SV^2}{A}$$

Görüldüğü gibi Atkinson eşitliğindeki (K) değeri Darcy eşitliğinde $F/8g$ ile yer değiştirmiştir. Aynı eşitlik bazen;

$$SV^2$$

olarak düşünülmekte, bu durumda ise $K = \frac{F}{8g} \frac{1}{A}$

maktadır. Eğer $H_L =$ mm su sütünü, $g = 9.81$ olarak alınırsa, ikisinin çarpımı Paskal cinsinden basınç değerini verecektir.

$$H_L \text{ (mmSS)} = \frac{F}{8g} \times g \text{ (m/s}^2\text{)} = \text{Pa (kg/m.s}^2\text{)}$$

ve bu durumda yukarıdaki formal

$$P_a = \bullet KSV$$

şeklini alacaktır.

Bazı hallerde K değeri havanın yoğunluğu ile birlikte düşünülmektedir, örneğin hava yoğunluğu, standard yoğunluktan (1.21 kg/m^3) farktı ise Atkinson eşitliği:

$$\frac{u}{L} = \frac{KSV}{T} \quad 1.21$$

şeklinde ifade edilmekte ve hava yoğunluğu K değeri ile birlikte düşünülmektedir. Bu nedenle K değerini tablolardan belirlerken, K değerinin hangi birim sisteminde hazırlandığını ve nasıl kullanıldığını bilmemiz gerekir. Örneğin SI (Système International d'Unités) birimleri ile basınç düşmesini hesaplamak için kullanılan aşağıda verilen iki formülün K değerleri farklıdır (1).

$$\frac{F \ll CLV^2}{A} \cdot w \quad \text{ve} \quad \frac{F'' CLV^2}{1.2A} w$$

Sonuç olarak değişik birimlerde ve değişik koşullarda farklı sürtünme katsayıları kullanılmaktadır. Bu nedenle (K) sayısını uygun tablolardan seçebilmek için farklı birimleri ve farklı kullanımları bilmemiz gerekir.

Bu farklı birimleri SI, metrik ve imperial olmak üzere üç sınıfa ayırmak mümkündür.

5.1. SI Birimleri

Bu sistemde Atkinson eşitliği aşağıda verilmiştir

$$\frac{FCLV^2 w}{8A} \quad \frac{FSW}{8A3} \quad , \quad \ll 2$$

Burada : $P_L =$ Basınç düşmesi (Pa, Paskal)

$$R = \frac{FSw}{8A3} = \text{ direnç (Gaul)}$$

GL = Akım miktarı (m^3/s)

S = Uzunluk x çevre (mxm)

w = Hava yoğunluğu (kg/m^3) "

Bu sistemde sürtünme katsayısı (F) birimsizdir.

$$P_L = \frac{FSwQ^2}{8A3} \quad \text{buradan } F = \frac{\text{bulunur}}{SQ^2 w}$$

Birimler yerlerine konduğunda:

$$F = \frac{8 (\text{m}^2)^3 \text{ Pa}}{(\text{m}^2) (\text{m}^3 \text{ Is})^2 (\text{kg}/\text{m}^3)}$$

$$8 (\text{m}^6) (\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2)$$

$$(\text{m}^2) (\text{m}^6 / \text{s}^2) (\text{kg}/\text{m}^3)$$

O halde bu sistem kullanıldığında, tablodan bulacağımız sürtünme katsayısı birimsiz Olmalıdır.

Atkinson eşitliğinde F (sürtünme katsayısı), L (uzunluk) » C (çevre uzunluk), A (Kesit alanı) parametreleri galerinin tip ve geometrisini belirler ve ocağın ömrü boyunca çoğu zaman sabit kalırlar.

Buna ilaveten hava yoğunluğu $1.21 \text{ kg}/\text{m}^3$ (standard hava yoğunluğu) olduğunda yoğunluk faktörü de yukarıda ki parametrelerle birlikte düşünülür ve direnç olarak tanımlanır.

$$R = \frac{fCLw}{8A^3} \quad \text{veya} \quad R = \frac{KCL}{A^*}$$

Bu direnç birimi GAUL olarak tanımlanır.

$$R = \frac{MM (\text{fcg}/\text{m}^3)}{\{ \ll fi \}} \quad (\text{kg}) \quad m'$$

Ayrıca P - RQ? formülünde $R = \text{Gaul} (\text{kg}/\text{m}^7)$, $Q = \text{m}^3/\text{s}$ olduğunda $P = \text{Paskal}$ olmaktadır.

Havalandırma problemlerinin çözümünde SI birimlerinin kullanılması büyük kolaylıklar getirmektedir. Ayrıca bu konudaki gelişmeler bu birim sistemini kullanma yönündedir.

Bu nedenle $P = \frac{fCLw}{8A3}$ a formülünde kullan ila-

cak olan f değerlerini burada tablo olarak vermek yararlı olacaktır (1).

Bu sistem birimlerini kullanarak çözülen örnek problem aşağıda verilmiştir.

3000 m. uzunluğunda, 6m çapında olan bir galeriden akış hızı $10 \text{ m}/\text{s}$ olan hava geçmektedir. Atmosferik basınç 101.325 kPa , sıcaklık ise I_f/C dir. Standard hava yoğunluğunda sürtünme katsayısı

Tablo 1- Havayolları için sürtünme katsayısı (K-Birimsiz) (S1)

Havayolu Tipi		(K x 10 ³) değeri											
		Düz			Eğri								
		Temiz Pürüzsüz	Biraz Pürüzlü	Oldukça Pürüzlü	Az Eğri			Orta Eğri			Çok Eğri		
Temiz Pürüzsüz	Biraz Pürüzlü				Oldukça Pürüzlü	Temiz Pürüzsüz	Biraz Pürüzlü	Oldukça Pürüzlü	Temiz Pürüzsüz	Biraz Pürüzlü	Oldukça Pürüzlü		
Muntazam Kaplanmış	En az	10	20	30	25	30	45	30	35	50	45	50	60
	Ortalama	20	25	35	30	35	50	35	45	55	50	55	70
	En çok	25	30	45	35	45	55	45	50	60	55	60	75
Çökeltili Kayaç (veya Kömür)	En az	35	45	55	50	55	70	55	60	75	70	75	85
	Ortalama	70	75	85	80	85	100	85	95	105	100	105	115
	En çok	85	95	105	100	105	115	105	115	125	115	125	135
Ağaç Tahkimat (1,5 m. mesafede)	En az	100	105	115	110	115	130	115	125	135	130	135	150
	Ortalama	115	125	135	130	135	150	135	140	155	150	155	165
	En çok	130	135	150	140	150	160	150	155	165	160	165	180
Mağmatik Kayaç	En az	110	115	130	125	130	140	130	135	150	140	150	160
	Ortalama	118	185	200	190	200	205	200	205	215	210	215	240
	En çok	240	245	260	255	260	270	260	265	280	270	280	290

160 x 10³ olduğuna göre, sürtünme nedeni İte oluşan basınç düşmesi (Paskal ve mm su sütunu) ve galerinin direnci nedir?

Havann yoğunlu w = $\frac{P}{RT}$ formülünde bulunabilir.

$$w = \frac{701.325}{0.287 \times 283.15} = 1.247 \text{ kg/m}^3$$

$$P = \frac{KCLV^2}{8A} = \frac{KCLw}{8A3} Q^2$$

$$P = RQ^2$$

Burada R = $\frac{KCLw}{8A3}$ olup birimi GAUL'dür.

$$R = \frac{160 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^3 \times 1.247}{8 \times (9 \times 10^3)^2} = 62.39 \times 10^{-3} \text{ Gaul}$$

$$P = RQ^2 \quad (\text{Paskal}) = (\text{Gaul}) (\text{m}^3/\text{s})^2$$

$$P = (62.39 \times 10^{-3}) (9 \times 3.14 \times 10^3)^2$$

$$P = 4987.72 \text{ Paskal}$$

$$H = \frac{P}{\rho g} = \frac{4987.72}{9.8066} = 508.61 \text{ mm}$$

$$H = \frac{4987.72}{9.8066} = 508.61 \text{ mm olarak bulunur,}$$

Yine aynı sistemde, yukarıda belirtilen

$$p = \frac{FCLw}{8A3} Q^2 \quad \text{Formülünde} \quad k = \frac{Fw}{8}$$

alındığında P = $\frac{KCL}{A^3} Q$ olarak yazılabilmek

tedir,

?0

Bazı araştırmacılar k = $\frac{Fw}{8}$ değerini sürtünme

katsayısı (k) olarak kabul etmişlerdir. Burada k mn birimi (kg/m³) olmaktadır. Bu tür (k) değerleri standard hava yoğunluğu için hazırlanmıştır.

Dr. Malcolin J. McPherson tarafından kuyu, demir-bağlt ve dörtgen şeklindeki galeriler için hazırlanan k değerleri aşağıda verilmektedir (3).

1. Kuyular

k(kg/m³)

- Düz beton kaplama, pürüzsüz, temiz0.0030
- Tuğla örme, pürüzsüz, temiz0.0037
- Düz beton kaplama, kılavuz makaralar ve borular mevcut0.0065
- Tuğla örme, kılavuz makaralar ve borular mevcut0.0074
- Ahşap kaplama (orta desteği yok)0.0167
- Ahşap kaplama (orta desteği var)0.0223

2. Demir Bağlı Galeriler

- Bağlar arasında beton veya ahşap kama (her tarafta)0.0074
- Bağlar arasında beton veya ahşap kama (yan kısımlarda)0.0093
- Düzensiz tavan, taban ve yan yüzey0.0158

3. Dörtgen Galeriler

- Düz beton kaplama0.0037
- Yan duvarları muntazan kaplanmamış yollar0.0121
- Muntazam olmıyan, kaplanmamış yollar0.0158

Yukarıda verilen k değerleri relatif şekil faktörü i(e düzefifmefidir.

Şekil faktörleri değişik havayolları İçin aşağıda verilmiştir.

Kuyu ve Galerinin şekli

Şekil faktörü

Dairesel	1.00
Üst tarafı yarım daire şeklinde	1.08
Kare	1.73
Dikdörtgen:	-
Genişlik/Yükseklik = 1 : 1	1.15
= 2 : 1	1.20
= 3 : 1	1.30
= 4 : 1	1.41

5.2. Imperial Birimler

Son senelerde havalandırma konusunda kullanımı ve bu nedendefe önemini büyük ölçüde, yitiren bu sistemde, basınç düşmesinin bulunmasında kullanılan formül aşağıda verilmiştir (2).

$$H = \frac{KCL}{5.2 A^3} \quad w \quad 0.075$$

Burada : H = basınç düşmesi ("WG = su sütünü, olarak)
 k = Sürtünme katsayısı
 C = çevre (ft) *
 L = uzunluk (ft)
 Q. = akım miktarı (cfm)
 w = hava yoğunluğu (lb/ft³)
 A = kesit alanı (ft²)

Bu eşitlikte;

$$R = \frac{KCL}{5.2A^3}$$

değeri direnç faktörü olarak tanımlanır. Bu formülde kullanılması gereken k değerleri, daha önce belirtilenlerden farklı olup, Tablo 2 de verilmiştir (2).
 Bu sistemde kullanılan direnç birimi "Atkinson"-dur.

$$R = \frac{KCL}{Q^2} \quad (\text{Atkinson}) = \frac{(\text{Lb/ft}^2)}{(\text{Kilocuses})}$$

Basınç (Lb/ft²) ve akım miktarı kilocusec(1000 ft³/sanfye) olduğunda direnç birimi Atkinson olmaktadır.
 Bu sistem birimlerini kullanarak çözülen örnekte problem aşağıda verilmiştir (7).
 Bağlar arasında 5ft aralık bulunan oldukça pürüzlü ağaç tahkimattı bir galerinin uzunluğu 2000 ft. çevresi 32ft, alanı 64ft²dir. Hava yoğunluğu Standard hava yoğunluğuna eşit olduğunda, sürtünme nedeni ile oluşan basınç düşmesi, direnç faktörü ve galeri direnci (Atkinson) ne kadardır?

$$H = \frac{KCL}{5.2.A^3} \quad Q?$$

Formülde - KCL direnç faktörü (D.F.) olarak tanımlanmaktadır. Öncelikle koşullara uygun (k) değeri ilgili tablodan K = 70x1 (H ° olarak bulunur.

$$\text{Direnç faktörü : (R')} \\ R' = \frac{70 \times 10^{-10} \times 32 \times 2000}{(5.2) (64)^3} \\ R' = 3.286 \times 10^{-10}$$

$$H = R'Q^2 \quad (\text{inç ss}) = (\text{Direnç faktörü}) (\text{cfm})^2 \\ H = 3.286 \times 10^{-10} \times (100.000)^2 \\ H = 3.286 \text{ "WG (inç su sütünü)}$$

Galeri direnci Atkinson olarak ; (R) :

$$R = \frac{H}{Q^2} \quad (\text{Lb/ft}^2) \\ * \text{Atkinson} = \frac{H}{Q^2} \quad \text{c f} \\ R = \frac{3.284 \times 5.2}{100000} \\ \approx 60 \times 1000 \\ R = 6.28 \text{ Atkinson bulunur.}$$

5 3 . Metrik Birimler

Bu sistemde sürtünme nedeniyle oluşan basınç düşmesi miktarının bulunmasında kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$H = \frac{KCL}{A^3} \quad \text{Of}$$

Burada H = basınç düşmesi (mmss = kg/m²)
 k = sürtünme katsayısı (kgs²)
 m
 C » çevre (m)
 L = uzunluk (m)
 A= kesit alan (m)
 CL= hava miktarı (m³/s).dir.

Formüldeki. KCL değeri R olarak gösterilir, kilo-A³

Tablo 2 Havayolları İçin Sürtünme Katsayıları (Imperial Sistemi)

Havayolu Tipi	Yüzey aya alanda mevcut düzensizlik ve eğrilik derecesi	(K x 10 ¹⁰) değeri											
		Düz			Eğri								
					Az Eğri			Orta Eğri			Çok Eğri		
		Temiz Pürüzsüz	Biraz Pürüzlü	Oldukça Pürüzlü	Temiz Pürüzsüz	Biraz Pürüzlü	Oldukça Pürüzlü	Temiz Pürüzsüz	Biraz Pürüzlü	Oldukça Pürüzlü	Temiz Pürüzsüz	Biraz Pürüzlü	Oldukça Pürüzlü
Muntazam Kaplanmış	En az	10	15	25	20	25	35	25	30	40	35	40	50
	Ortalama	15	20	30	25	30	40	30	35	45	40	45	55
	En çok	20	25	35	30	35	45	35	40	50	45	50	60
Çökelti Kayaç (veya Kömür)	En az	30	35	45	40	45	45	45	50	60	55	60	70
	Ortalama	55	60	70	65	70	80	70	75	85	80	85	95
	En çok	70	75	85	80	85	95	85	95	100	95	100	110
Ağaç Tahkimat (1,5 m. mesafede)	En az	80	85	95	90	90	105	95	100	110	105	110	120
	Ortalama	95	100	110	105	110	120	110	115	125	120	125	135
	En çok	105	110	120	115	120	130	120	125	135	130	135	145
Mağmatik Kayaç	En az	90	95	105	100	105	115	105	110	120	115	120	130
	Ortalama	145	150	160	155	160	165	160	165	175	170	175	195
	En çok	195	200	210	205	210	220	210	215	225	220	225	235

murg cinsinden yolun *direnâne eşittir.*

$$H = RQ^2 \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{mmss}) = (\text{Kilomurg}) (\text{m}^3/\text{s})^2$$

Formülde basınç mmss, hava miktarı (m³/s) olduğunda direnç kilomurg (= 1000 murg) olmaktadır. Kilomurgun birimi ise:

$$R = \frac{H \quad (\text{kg/m}^2)}{Q^2 \quad (\text{m}^6/\text{s}^2)} = \frac{\text{kg s}^2}{\text{m}^4} \quad \text{olmaktadır.}$$

Bu birim sistemi ile çözülen örnek problem aşağıda verilmiştir.

Sürtünme katsayısı 8×10^{-4} (JS&5-) uzunluğu 1000 m .

1000 m. çevresi 12m, kesit alan 9 nr olan bir galeriden $1200 \text{ m}^3/\text{dak}$. hava geçmektedir. Yolun direnci (Kilomurg) ile basınç düşme miktarı ne kadardır? (Hava yoğunluğu = Standard hava yoğunluğu)

$$H = \frac{KCL}{A^3} \cdot Q^2$$

eşitliğinde. KCL yolun kilomurg olarak direncini verdiğinden;

$$R = \frac{S \times 10^{-4} \cdot 1200}{(9)^3} \cdot 1200^2$$

$$R = 0.013 \text{ Kilomurg} (= 13 \text{ murg})$$

$$H = RQ^2 \quad (\text{mmss}) = (K \cdot \text{Homurg}) (\text{m}^3/\text{s})^2$$

$$H = (0.013) \left(\frac{1200}{60} \right)^2$$

$$H = 5.27 \text{ mmss}$$

Havanın yoğunluğu standart hava yoğunluğundan farklı olduğu durumlarda k değerinin aşağıda gösterildiği gibi düzeltilmesi gerekirdi.

$$\text{Düzeltilmiş } (k) = \text{Tablo } (k) \times \frac{W}{1.21}$$

Bu sistem birimleri içinde değişik galerilerin araştırmalar sonucu elde edilen sürtünme katsayıları (k) değerleri aşağıda verilmiştir (4).

1. Tahkimatsız Galeriler :

A- Kömür madenlerinde Galeri tipi

Kaya içinde tabakalaşmaya dik sürülmüş	0.0010
Kaya İçinde tabakalaşma yönünde sürülmüş	0.0008
Kömür içinde, muntazam kesitli, tavan, taban kabarması yok	0.0005-0.0006
Kömür İçinde, muntazam kesitli, tavan kabarması yar.	0.0007-0.0008

B- Metal madenlerinde (L.P Romensky)

a. Eğimli yollar için :

Galeri Tipi

Yatım açısı
60-75° 75-90°

Tabakalaşma yönünde sürülen galeriler	0.0012	0.0010
Tabakalaşmaya dik sürülmüş galeriler.	0.0017	0.0013

b. Düz yollar için

Yatım açısı
60-75° 75-90°

Düz beton kaplama	0.0003	0.0004
Oldukça düz beton kaplama	0.0005	0.0007
Tuğla örgü	0.0003	0.0004

2. Üç Direkli Ağaç Tahkimatlı Galeriler

Sürtünme katsayıları (k) Tablo 3'te verilmiştir. (Tablo değeri $IOI-4$ ile çarpılacak).

3. Köşeli, Dört Parça Ağaç Tahkimatlı Galeriler :

Bu tip galeriler için sürtünme katsayıları Tablo 4 te verilmiştir (Tablo değeri $IO-4$ ile çarpılacak).

Tablo 3- Üç Direkli Ağaç Tahkimat 11 Galeriler

Direk çapı (cm)	Bağı aralığı/cap oranı						Kesit alanı için düzeltme katsayısı	
	1	2	3	4	5	6		
15	10.7	12.7	15.5	16.0	15.5	14.8	$S = 1 m^2$	$k = 1.11$
16	11.1	13.2	15.8	16.2	15.9	15.1	$S = 2 m^2$	$k = 1.03$
17	11.4	13.6	16.1	16.6	16.1	15.4	$S = 3 m^2$	$k = 0.98$
18	11.8	14.0	16.4	16.9	16.4	15.7	$S = 4 m^2$	$k = 0.93$
20	12.6	14.8	17.2	17.7	17.2	16.5	$S = 5 m^2$	$k = 0.87$
22	13.4	16.5	18.0	18.5	18.0	17.3	$S = 6 m^2$	$k = 0.81$
24	14.0	16.2	18.6	19.2	18.6	17.9	$S = 7 m^2$	$k = 0.76$
28	15.0	17.7	20.2	20.7	20.2	19.5	$S = 9 m^2$	$k = 0.67$

Tablo 4- Köseli, 4 Parça Ağaç Tahkimatı

Direk çapı (cm)	(Bağ aralığı/cep) oranı					
	2	3	4	5	6	
15	11.3	16.5	19.0	20.9	22.6	21.0
17	15.0	17.6	20.0	22.0	23.9	22.5
20	15.9	18.7	21.2	23.5	25.6	24.0
22	16.2	19.4	22.0	24.5	26.5	25.0

4. Çelik Tahkimat Beton Kaplamalı Galeriler

Çelik bağlı beton kaplamalı ana hava yolları için sürtünme katsayısı (k) değerleri aşağıda tabloda gösterilmiştir.

(Tablo değerleri 10^{-4} ile çarpılacak)

Tablo 5- Çelik Tahkimat Beton Kaplamalı

Demir Bağın Derinliği	(Bağ aralığı / çap) oran				
	2	3	5	6	8
12	7.15	8.0	8.8	9.2	9.0
14	7.7	8.2	9.1	9.5	9.3
16	7.8	8.4	9.3	9.7	9.5
18	8.0	8.5	9.5	10.0	9.8

5. Çelik Bağ Tahkimat Galeriler:

Bu galerilerin sürtünme katsayısı (k) değerleri aşağıdaki formülden hesap edilebilmektedir.

$$K \times 10 = \frac{(a+b \log 2L)^2}{CL}$$

(m²)

C = çevre (bağın iç kısmından) (m)

L = bağlar arası mesafe

a, b = katsayı

a ve b katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tahkimat şekli	a	b
3 parça (2yan—üst parça)	0.135	0.2
3 parça (betonarmeyan direkler)	0.200	0.12

Burada bulunan k değerleri kesit alanına bağlı olarak düzeltilmelidir.

Alan (m ²)	Düzeltilme faktörü
3	1.08
4	1.00
6	0.91
8	0.88
10	0.84

(Bu konuda detay bilgi 4. referansın "Appendix" bölümünde verilmiştir).

6. DEĞİŞİK BİRİKİMLERİN BASINÇ FORMÜLÜNDE KULLANILMASI

Basınç formülünde bulunan elemanlar ve kullanılan birimler] aşağıda verilmiştir.

	SI	Imperial	Metrik
Basınç Düşmesi :			
-Kuvvet/ alan olarak (P)	Paskal (Pa)	Pound/feet ²	(kg/m ²)
-Su sütunu olacak (H)	(mmss)	"WG" (inçss)	(mmss)
Hava Miktarı (Q)	(m ³ /sn)	cfm(ft ³ /dak)	m ³ /sn
Direnç (R)	Gaul (kg/m ⁷) [^]	Atkinson	Kitomurg (kg.s ² /m ⁸)
Sürtünme katsayı (k)	-BİRİMSİZ -kg/m ³	(Lb/dak ²) ft*	,kg.S ² > m4

Her bir birim sistemi için basınç düşmesi formülünde kullanılan birimler aşağıda gösterilmiştir (7).

$$SI: P = RQ^2 \quad (Paskal) = (Gaul) \times (m^3/s)^2$$

$$(kg/m.s^2) \quad (kg/m^7)$$

$$Imperial: P = RQ^2 \quad (Lb/ft^2) = (Atkinson) \times Kilocusec^2$$

$$H = RQ^2 \quad (inç ss) = (Direnç faktörü) \times (cfm)^2$$

$$Metrik: P = RQ^2 \quad (kg/m^2) = Kilomurg \times (m^3/s)^2$$

$$H \ll RQ^2 \quad (mmss) = Kilomurg \times (m^3/s)^2$$

Basınç formülünde kullanılan birimler arasındaki bağıntılar şöyledir:

1. Basınç birimleri:

$$1 \text{ Paskal (N/m}^2) = 0.145 \times 10^{-3} \text{ Lbf/inç}^2 \text{ (psO)}$$

$$Q = 4.0146 \times 10^{-3} \text{ inç su sütunu}$$

$$= 0.2952 \times 10^{-3} \text{ Hg}$$

$$1 \text{ mm su sütunu} = 0.03937 \text{ inç su sütunu}$$

$$= 1.42234 \times 10^{-3} \text{ Lbf/inç}^2$$

$$Immss = \frac{Paskal}{9.81} \cdot \left(\frac{kg}{nr} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{Wm.s^2}{(m/s^2)}$$

$$1 \text{ Atm} = 101325 \text{ Pa}$$

$$= 101.321 \text{ kPa}$$

$$= 1013.25 \text{ mb (milibar)}$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ megapaskal}$$

$$= 1.0 \times 10^5 \text{ Paskal}$$

$$= 1.0 \times 10^2 \text{ Kilopaskal}$$

2. Direnç Bilimleri

$$1 \text{ Atkinson} = 5.1 \text{ murg}$$

$$= 0.52 \times 10^{-3} \text{ gaul}$$

$$1 \text{ Kilomurg} = 1 \text{ Gau } 1/9.81$$

$$= 1000 \text{ murg}$$

3. Hava miktarı birimleri

$$\begin{aligned} \text{Tm}^3/\text{s} & * 35.315 \text{ ft}^3/* \\ & = 2118.9 \text{ cfm}(\text{ft}^3/\text{dak}) \\ & = 60 \text{ m}^3/\text{dak} \end{aligned}$$

BAZI Sİ BİRİMLERİ VE IMPERIAL BİRİMLERİNE ÇEVİRİLMELERİ

<u>özellik</u>	<u>.SI</u>	<u>Imperial</u>
İvme.....	1m/s2,,	3.2804 ft/s2
Alan.....	1m2.....,,	10.7639 f£
Yoğunluk.....	1kg/m3.....	0.062428 Lbm/ft3
Enerji.....	1Nm = 1J.....	0.737562 ft-Ipf 0.947810x10-3 Btu
Akım hızı (kütle esası).....	1k\$/s.....«	132.277 lhm/min
Akım hızı (hacim esası).....	1nP/s.....	2118.88 ft3/min (cfm)
Kıvvet.....,,	1N.....	0.224809 lbf
Uzunluk.....	1m.....	3.28084ft
Kütle.....	1kg.....	2.2044623 lhm
Güç.....	1J/s«1W.....	44.2537 ft lbf/min 0.056869 Btu/min 1.321022x10-3 hp
Sıcaklık.....,,	1K {veya O».....	1.8R (or veya F)
Hız.....	1m/s.....	3.280 84 ft/s 196.850 ft/min
Hacim.....	1m3.....	35.3147 ft3

Bazı birimlerin sembolleri

N = Newton 1 kgm/s2)

| = joule (1| = 1Nm)

K- Kelvin (K = 273.15 +C)

W*. Watt (IW=INm/s)

Lb = Pound, Libre

YARARLANILAN YAYINLAR

1. Hall, C.J. "Mine Ventilation Engineering" Society of Mining Engineers of the Am. Inst, of Min. Metal, and Pet.Eng. N.York, 1981.
2. Hardman, H.L. "Mine Ventilation and Air Conditioning" Ronald Press, 1961.
3. McPherson, J.M.,~The Resistance of Mine Airways Journ. of the Mine Vent. Society Of S. Africa Oct. 1975.
4. SKochfnsky, A., ve Komarow, V. "Mine Ventilation" Mfir Publishers, Mosfcow, 1969.
5. Mine Ventilation Society of South Africa, 1974. "The Ventilation of South African Gold Mines".
6. Roberts, A. "Mine Ventilation" Cleaver Home, 1960
7. GByagaier, T. "Mine Environment I" Ders notlan. Madan Mõhondslilif Bõlimõ, ODTU.