

**TALİ HAVALANDIRMA TASARIMINDA
ETKİLİ FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ**

Erkan ÇEVİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
2006

**THE DETERMINATION OF EFFECTIVE PARAMETERS
IN THE DESIGN OF AUXILIARY VENTILATION**

Erkan ÇEVİK

**Master Thesis
Mining Engineering
2006**

**TALİ HAVALANDIRMA TASARIMINDA
ETKİLİ FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ**

Erkan ÇEVİK

**Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.**

Danışman : Yard. Doç. Dr. Mustafa ÖNDER

2006

Erkan ÇEVİK'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Tali Havalandırma Tasarımında Etkili Faktörlerin Belirlenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Adnan KONUK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hamdi AKÇAKOCA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖNDER

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun gün
ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.Abdurrahman KARAMANCIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Tali havalandırma giriş veya dönüş havasının vantüpler içinde taşınmasıyla gerçekleştirilir. Vantüp hatlarının birçok ek yeri içermesinden dolayı hava kaçaklarının tamamen önlenmesi imkansızdır. Uzun galeriler için tali havalandırma sistemlerinde çoğunlukla çoklu vantilatörler kullanılmaktadır. Vantilatörler, birbirlerinden ayrı, sabit veya değişken uzaklıklarda kurulurlar. Kaçaklı vantüplerde hava akış problemlerinin analizi için birçok metot ileri sürülmektedir. Bu metotların karmaşık olmasından dolayı analizler çoğunlukla bilgisayar paket programları yardımıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada, vantüp ve kaçak yollarını seri – paralel devre olarak kabul eden metot seçilmiş ve bu metodu esas alarak geliştirilmiş bir bilgisayar programı kullanılmıştır.

Tali havalandırılan bir galerideki koşulları tasarlayabilmek için GLİ (Garp Linyitleri İşletmesi) Ömerler yeraltı kömür ocağında yerinde ölçüm çalışmaları yapılmış ve çalışma için gerekli veriler toplanmıştır. Veriler bilgisayar programına girilmiş, ölçülen ve hesaplanan değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu bulunmuştur.

Uzun galeri arınlarına ulaşan debi üzerinde etkili faktörler lineer regresyon analizi kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak, galeri arınına yeterli debinin ulaştırılmasında vantüp çapının büyük öneme sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada incelenen vantilatörler için özellikle uzun vantüp hatlarında vantilatör seçiminin önemli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada TTK (Türkiye Taş Kömürü)' dan elde edilen veriler kullanılarak çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemiyle arına ulaşan debiyi belirleyebilmek için bir denklem geliştirilmiştir. Geliştirilen denklemin % 83.5 belirlilik seviyesinde kullanılabileceği bulunmuştur.

SUMMARY

Auxiliary ventilation is performed by carrying intake or return air in ducts. The complete elimination of air leakage from or into the ducting system is impossible due to duct quality and numerous joints in ducting system. The auxiliary ventilation systems for long drivages often require the use of multiple fans. Fans are installed in series and separated from each other in fixed or variable lengths. There are many methods proposed for the analysis air flow problems in leaky ducts. Due to the lengthy calculations, computers are often needed to conduct the analyses. In this study, a method known as “series–parallel combination of the duct and leakage path” has been introduced and a computer program has been developed based on this method.

In order to design the conditions of an auxiliary ventilated drivage, in situ measurement have been made in Western Lignite Enterprises (GLI) OMERLER underground coal mine (Turkey) and the related data necessary for this study was collected. The developed program was tested using these data, and it was found that the measured and calculated values are quite close.

The effective operational parameters governing auxiliary ventilation have been investigated and the effects of these variables on the volume rate of air flow reaching long drivage face have been examined by using linear regression analysis. Finally, it was concluded that the increase of duct diameter has prime importance in achieving the adequate air flow to the face and that for the auxiliary fans considered in this study the selection of fan does not greatly affect the volume rate reaching the face in a long duct line.

In addition, the related data have been obtained from the Turkish Hard Coal Enterprises and an equation has been developed to determine the volume rate of airflow delivered to the face by using multiple linear regression analysis. It has been found that the equation will be used the 83.5 % R^2 .

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmalarım sırasında her tŸrlŸ yardımını gŸrdŸğŸm danıŐmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Mustafa ÖNDER'e Öncelikle teŐekkŸr ederim.

ŐlŸm çalıŐmalarım sırasında bana yardımcı olan BaŐmŸhendis Tuncay ATAKURU ve Maden YŸksek MŸhendisi Kudret REİS'e teŐekkŸr ederim.

Tez çalıŐmalarına olan değerli katkılarından dolayı tez jurisi Ÿyelerine de teŐekkŸr ederim.

Őėrenim hayatım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen değerli aileme teŐekkŸrŸ bir borç bilirim.

Erkan ÇEVİK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. TALİ HAVALANDIRMA	3
2.1. Tali Havalandırma Ekipmanları	5
2.1.1. Tali Vantilatörler.....	5
2.1.2. Hava Boruları	6
2.2. Tali Havalandırma Sistemleri.....	7
2.2.1. Basit Üfleyici ve Emici Sistemler.....	8
2.2.1.1. Üfleyici Sistem	8
2.2.1.2. Emici Sistem.....	10
2.2.1.3. Galeri dışına yerleştirilen birden fazla vantilatör ile havalandırma	12
2.2.1.4. Galeri boyunca vantilatörlerin aralıklarla yerleştirilmesi	12
2.2.2. Kombine Sistemler.....	13
2.2.2.1. Ana üfleyici – yardımcı emici sistem.....	13
2.2.2.2. Ana emici – yardımcı üfleyici sistem.....	15
2.3. Tali Havalandırma Hesaplamaları	16
2.3.1. Borularla Hava Taşınmasını Etkileyen Faktörler	16
2.4. Kaçaklı Borularda Hava Akım Analizleri.....	19
2.5. Uzun Galeriler İçin Tali Havalandırma Sistemlerinin Tasarım Esasları	22
3. TALİ HAVALANDIRMA TASARIM ÇALIŞMASI	26
3.1. Ömerler M5 Panosu Tali Havalandırma Sisteminin Tanıtımı	27
3.2. M5 Panosu Tali Havalandırma Sisteminin Tasarımı.....	32

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.3. Tali Havalandırma Sisteminde Etkili Faktörlerin Araştırılması.....	35
4. GALERİ ARININA ULAŞAN DEBİYİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	43
4.1. Doğrusal Regresyon Modeli.....	43
4.2. Parametre Tahmini	44
4.3. b_0 ve b_1 'in anlamı	45
4.4. Belirlilik katsayısı.....	45
4.5. Çoklu Regresyon	46
4.6. SPSS kullanılarak varyans analizinin yapılması	47
4.7. Verilerin Analizi	48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR DİZİNİ	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Radyal ve aksiyal vantilatörler.....	6
2.2. Üfleyici havalandırma sistemi	9
2.3. Emici havalandırma sistemi.....	11
2.4. Galeri dışında iki veya daha fazla vantilatörle havalandırma.....	12
2.5. Galeri boyunca vantilatörlerin aralıklarla yerleştirilmesi ile havalandırma	13
2.6. Ana Üfleyici – Yardımcı Emici Sistem.....	14
2.7. Ana Emici – Yardımcı Üfleyici Sistem.....	15
2.8. Boru hattındaki seri – paralel bağlantılar	20
3.1. Tali havalandırma sisteminin plan görünüşü.....	27
3.2. Ömerler yeraltı ocağı havalandırma sisteminin genel görünümü	28
3.3. M5 Panosu tali havalandırma sisteminin genel görünümü.....	29
3.4. Engart tipi tali vantilatör genel görünümü.....	30
3.5. B.40 tipi vantilatörün karakteristik eğrisi	31
3.6. M5 Panosunda ölçüm yapılan noktalar	31
3.7. Vantilatör çalışma noktası	33
3.8. Vantüp hattı boyunca ölçülen ve hesaplanan değerler	34
3.9. Arına ulaşan debi üzerinde parametrelerin değişim etkisi	37
3.10. B20 kodlu vantilatörün karakteristik eğrisi	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.11. B70 kodlu vantilatörün karakteristik eğrisi	39
3.12. B100 kodlu vantilatörün karakteristik eğrisi	40
3.13. Vantilatörlerin karakteristik eğrileri ve hatta uygulanışı.....	40
3.14. Arına ulaşan debi üzerinde farklı vantilatörlerin etkisi	41
3.15. Arına ulaşan debi üzerinde farklı vantüp çaplarının etkisi	41
4.1. Regresyon doğrusu ile gözlem değerleri arası farklar.....	44
4.2. ANOVA tablosunun genel görünümü.....	47
4.3. SPSS model uyarı penceresi	49
4.4. Modele katılan bağımlı değişkenler	49
4.5. SPSS model özeti	50
4.6. SPSS varyans analizi tablosu.....	50
4.7. SPSS katsayılar tablosu	51
4.8. Farklı vantilatörlerin çap ve uzunluğa göre debi üzerindeki etkileri	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kaçak katsayısı ve buna eşdeğer olan kaçak yolu direnç katsayısı	18
2.2. Boru hattı karakteristikleri	19
3.1. Engart tipi vantilatörlerin özellikleri	29
3.2. Engart tipi tali vantilatörün boyutları	30
3.3. M5 Panosundaki ölçüm değerleri	32
3.4. Tali havalandırma sistemi için program tarafından üretilen tasarım sonuçları	34
3.5. Arında gerekli debiye göre program tarafından üretilen tasarım sonuçları.	35
3.6. Lineer regresyon analizinde kullanılan parametrelerin sınırları	36
3.7. Lineer regresyon analizinde kullanılan parametrelerin değişimi.....	37
3.8. Arına ulaşan debi üzerindeki parametrelerin denklemleri.....	38
4.1. Vantilatör Seçim Tablosu.....	48

1. GİRİŞ

Yeraltı ocaklarında ana hava akımının ulaşamadığı, bir ucu kör olan yolların havalandırılmasında tali havalandırma sistemleri kullanılır. Uygulanacak sistemin seçiminde; ateşleme gazları, toz, grizu, ısı gibi karşılaşılabilecek çevre sorunlarının ve işçi sayısının göz önünde bulundurulması gerekir.

Özellikle yeraltı kömür madenciliğinde çok sayıda can ve mal kaybına neden olan grizu, kömür tozu patlamaları ve ocak yangınlarında alınacak birinci önlem ocak havalandırma planının tekniğine uygun olarak yapılmasıdır. Son yıllarda ocak derinliklerinin artması ile ortaya çıkan, sıcaklık ve rutubet sorunu da yine, ancak ocak havalandırmasının bilimsel yapılması ile çözümlenebilir.

Günümüz madenciliğinde uzun galerilerin açılması gereği, beraberinde uzun tali havalandırma hatlarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu durumda galeri arınındaki gerekli havayı karşılamak, ancak uzun boru hatları kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir..

Tali havalandırma, giriş veya dönüş havasının hava boruları içinde taşınması ile gerçekleştirilir. Boru hatlarının niteliğinden ve pek çok ek yeri içermesinden dolayı, tüm tali havalandırma boru hatları bir miktar hava kaçıır. Galeri arını ilerledikçe boru hattı arınına yakınına uzatıldığından, arına ulaşan hava, hattın direncinin ve hattaki hava kaçaklarının artmasından dolayı giderek azalır. Hattın içine veya dışına olan hava kaçaklarının tamamen önlenmesi olanaksızdır.

Uzun tali havalandırma sistemlerinde meydana gelen hava kaçakları, galeri arınına ulaşan hava miktarını oldukça azaltmakta ve etkin bir tasarım yapılmasını gerektirmektedir. Tali havalandırma sistemlerinin tasarımında göz önüne alınması gereken faktörler; gerekli hava miktarı, vantilatör tipi, vantüp çapı, hattın uzunluğu ve hattın tesis kalitesi olarak da adlandırılabilen kaçak yollarının direnç katsayısıdır. Etkin bir tasarım yapabilmek için tüm faktörlerin göz önüne alınması işçi sağlığı ve güvenliği yönünden oldukça önem taşımaktadır.

Vantüp hatlarında meydana gelen hava kaçakları çeşitli teorilerle hesaplanabilmekle beraber hesaplamalardaki karmaşa ve hesapların uzun zaman almasından dolayı bilgisayar paket programları ile belirlenebilmektedir. Bilgisayar kullanarak etkin bir tasarım yapabilmek için de arına ulaşan debiyi etkileyen faktörlerin önem sırasının belirlenmesi gerekmektedir. Böylece tali havalandırma sistem tasarımında yapılabilecek düzenlemelerle gerekli havayı çalışma alanına ulaştırmak hem daha emniyetli hem de daha ekonomik olacaktır.

Bu çalışmada, tali havalandırma sistemleri ve tali havalandırma tasarımında kullanılan hesaplamalar verildikten sonra tasarım uygulaması Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Ömerler yeraltı ocağında yapılmıştır. Ömerler yeraltı işletmesinde mekanize sistemle kömür üretimi yapılmakta ve hazırlık çalışmalarında sürülen galerilerin boyutları 600 m civarında olmaktadır. Bu nedenle etkin tali havalandırma tasarımının yapılması işletme açısından bir gereklilik olarak görülmektedir. Ömerler yeraltı işletmesi, M5 panosunda yapılan tali havalandırma tasarımdan sonra Türkiye Taşkömürleri Kurumu (TTK)'ndan elde edilen verilerle çoklu doğrusal regresyon modeli kurulmuş ve galeri arınına ulaşan debiyi belirlemek için kullanılabilen bir eşitlik elde edilmiştir.

2. TALİ HAVALANDIRMA

Ana hava akımının ulaşamadığı, bir hava geliş bir hava dönüş yolunun bulunmadığı, galeri sürme, kuyu açma, bazı üretim yöntemlerinde arın ilerleme işlerinde arına yeterli miktarda hava ulaştırma çalışmaları '*Tali Havalandırma*' olarak nitelenir. Galeri arınında çalışan işçilere standartlar ölçüsünde temiz havanın sağlanması, delme – patlatma işlemleri veya galeri açma makinesinin çalışması sırasında oluşan toz veya gazın seyreltilerek bir an önce bu ortamdan uzaklaştırılması son derece önemlidir (Önce ve Saraç, 1986) .

Tali havalandırma sisteminin seçiminde, çalışmalar sırasında karşılaşılabilecek beklenen ateşleme gazları, toz, grizu ve ısı gibi çevre sorunlarının göz önünde tutulması gerekir.

Tali olarak havalandırılan bir galeri arınına yeterli havanın ulaştırılması hem ekonomik açıdan hem de emniyet açısından büyük sorunlar yaşanabilir. Tali havalandırma hatlarında meydana gelen kaçakları karşılayabilmek için daha fazla hava ve basınca ihtiyaç duyulurken, kaçaklardan dolayı arına ulaşan hava miktarındaki azalma da işçilerin çalışma verimliliklerini düşürür (Auld, 2002). Bu nedenle tali havalandırma hatlarında vantüp çapı artırmak, kaçak koşullarını iyileştirmek gibi çeşitli önlemlerin alınması gerekir (Auld, 2004).

Yüksek metan geliri olmayan galerilerde, delme – patlatma işlemleri ile galeri açma işlerinde tali havalandırmanın amacı, delik delme, patlatma ve pasa yükleme sırasında açığa çıkan gaz ve tozların ortamdan uzaklaştırılmasıdır (Çetin, 1995).

Delme – patlatma tekniklerinin uygulandığı galerilerde toz oluşumu sulu delik delme, deliklerin su veya jel ampülleri vasıtasıyla sıvanması ve pasanın yüklenmeden önce ıslatılması ile minimuma indirilebilir. Ayrıca, delme modeli ve her delik başına düşecek patlayıcı miktarı en az toz üretimini sağlayacak biçimde tasarımlandırılmalıdır.

Çok ince boyutlu su partikülleri oluşturan memeciklerin galeri kesitince yerleştirilip, patlatmadan hemen önce çalıştırılması ile patlatmadan kaynaklanan toz

oluşumu büyük ölçüde önlenir. Ayrıca, galeri kesitince yerleştirilen su perdeleri vasıtasıyla benzeri bir yarar sağlanabilir. Patlatma sonucunda oluşan pasanın ıslatılmasını takiben yükleyicilere yüklenmesi, çok pasanın olduğu yerlerde yeterli bir çözüm sağlamayabilir. Böyle durumlarda yükleyicinin gövdesine monte edilmiş olan su başlıkları hem yükleme hem taşıma sırasında daha olumlu sonuçlar verebilir (Şensöğüt, 1994).

Mekanize galeri açma makinelerinin kullanılması ile ortaya çıkan büyük miktardaki tozu bastırmak için, su başlıklarına ek olarak, başka toz kontrol mekanizmalarının da kullanılması gerekir. Kesici başlık tarafından oluşturulan toz bulutu, dönen elemanların hızları nedeniyle meydana gelen hava tarafından dağıtılır. Bazı kesici makinelerde başlıklarla kesici kafaya verilen su bile hava hareketine neden olur. Su başlıklarının yerlerinin iyi saptanmamış olması, toz bulutunun arın tarafından kesici makinenin arkasına hareket etmesine ve dolayısıyla kesici makine operatörünün tozlu bir atmosferde çalışmasına yol açar.

Bu problemin çözümünde ana prensip ise, yüksek toz konsantrasyonlarını mümkün olduğu kadar daha az hacimli yerlere hapsederken, tehlikeli gaz birikimlerini tehlikesiz oranlara seyreltebilecek hava hareketini sağlamaktır (Şensöğüt, 1994).

Grizu, yeraltı kömür madenciliğinde özellikle uzun bacalarda önemli bir tehlike unsurudur. Çalışma sahalarının giderek daha derinlere inmiş olması, arın civarında metan gazı birikmesi problemini artırmıştır. Günümüz madenciliğinde daha geniş galeri açma ihtiyacı, yeterli hava sağlanmadığı takdirde, daha büyük bir metan riskine neden olmaktadır. Böylece galerilerin havalandırılmasında amaç, grizuyu emniyetli bir konsantrasyona kadar seyreltmek için büyük hava hacimlerini sağlamaktan başka, aynı zamanda tavandaki herhangi bir metan tabakalaşmasını da önlemektir.

Madenciliğin daha derinlere doğru uzaması, ana havalandırma kuyusundan uzaklaşması, yüksek galeri ilerleme hızları ve yüksek güçlü galeri açma makinelerinin kullanılması ısı problemini de beraberinde getirmiştir. Yüksek hızlı galeri sürme teknikleri, kesme ve taşıma sistemlerine yüksek güç vermeyi gerektirir. Enerjinin büyük bir kısmı ısı olarak açığa çıkar ve bu da galerilerde iklim problemi yaratır.

Tali havalandırma sistemlerinin tasarımında tüm bu çevre sorunlarının göz önünde tutulması ve değerlendirilmesi gerekir.

2.1. Tali Havalandırma Ekipmanları

Tali havalandırmada hava akımı, ana vantilatör doğal akımı depresyonu, tali vantilatörler veya basınçlı hava enjektörleriyle sağlanır. Elde edilen tali havanın taşınması ise hava perdeleri, paralel sürülen galeriler veya hava borularıyla yapılır (Önce ve Saraç, 1986).

Uzun galeri veya tünel arınlarında yeterli havayı sağlamak için, tali vantilatör veya vantilatörler tarafından üretilen basınçla, bir boru hattı boyunca hava akımını sevk etme en yaygın yöntemdir.

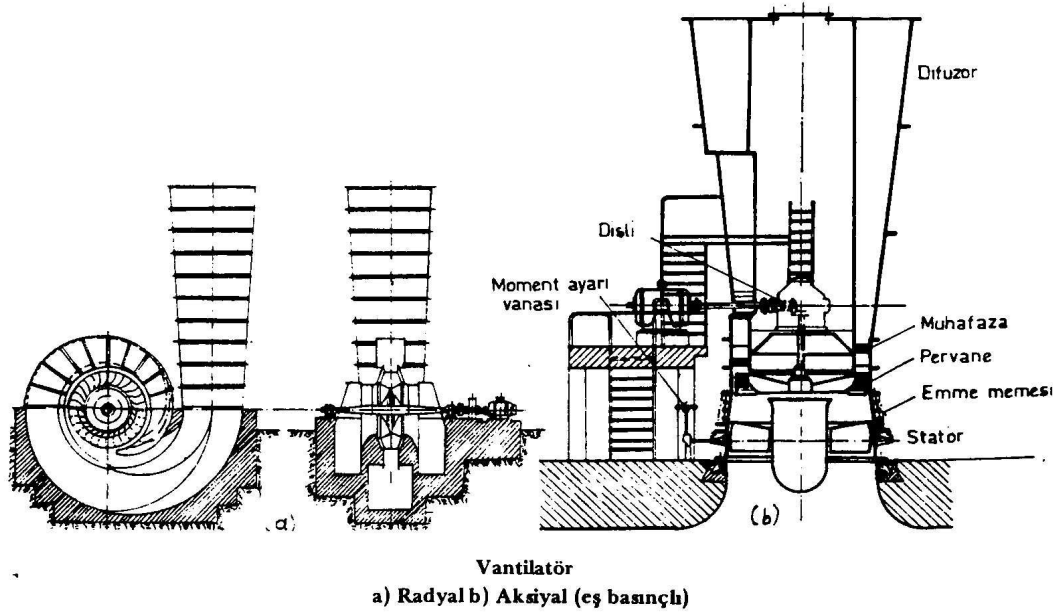
2.1.1. Tali Vantilatörler

Vantilatörler, hava giriş ve çıkış noktaları arasında basınç farkı yaratarak yer altı hava yollarında hava hareketini sağlayan makinelerdir.

Yeraltı madenciliğinde tali havalandırma; santrifüj ve aksiyal olmak üzere iki ana tip vantilatör ile sağlanır. Her iki vantilatör çeşidi de elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Ancak, bazı hallerde basınçlı hava, buhar ya da dizel motorlarıyla da çalışan vantilatörler kullanılmaktadır (Güyağüler, 1991).

Aksiyal vantilatörler, az yer kaplamaları, taşıma ve kurulmalarının daha kolay olmasından dolayı tali havalandırma işlerinde daha çok tercih edilir. Ayrıca kullanımları daha verimlidir. Aksiyal vantilatörlerin üstünlüğü kayıpların daha az olması ve değişen şartlara uydurulabilme kolaylığıdır. Elektrik ve basınçlı hava enerjisi ile çalışırlar. Seri olarak bağlanmaya uygun olduklarından, uzun galerilerin havalandırılmasında boru hattının yüksek direncini yenmek için, daha uygundur (Önce ve Saraç, 1986;Güyağüler, 1991). Bu tip vantilatörler son yıllarda büyük gelişmeler göstermiş, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Aksiyal vantilatörlerin benzer karakteristiklere sahip olmaları, bu vantilatörlerin seri bağlı olarak kullanımını verimli hale getirir. Bu nedenle uzun galerilerin havalandırılmasında, benzer tip ve büyüklükteki aksiyal vantilatörlerin kullanılması en iyi uygulamadır. Hava borusundan fazla kaçak olduğunda, ya da çalışılan galerilerin çok uzun olması halinde, vantilatörlerin hava borusu boyunca aralıklı olarak kurulması uygun olmaktadır (Güyagüler, 1991). Şekil 2.1’de radyal ve aksiyal vantilatörler için bir görünüm verilmiştir.



Şekil 2.1. Radyal ve aksiyal vantilatörler

Santrifüj vantilatörler, çok yer kaplamaları ve kurulma zorluklarından dolayı tali havalandırma işlerinde uygulamaları fazla değildir.

2.1.2. Hava Boruları

Galeri sürme işlerinde vantilatör tarafından basılan havanın arına ulaştırılmasında ahşap, çadır bezi veya demir saçtan yapılmış hava boruları kullanılır.

Ahşap boruların dirençleri düşük olmakla beraber ek yerlerinden hava kaçırlar. Hafif ve rutubete dayanıklıdır. En büyük sakıncaları kolay yanabilmeleridir. Uygulama alanları azdır.

Kauçuk kaplı çadır bezinden veya plastik maddelerden yapılmış olan hava borularına vantüp adı verilir. Katlanabilir ve esnek olduklarından, kurulmaları ve yer değiştirmeleri kolaydır. Hafif oluşları, dönemeçlere kolay uymaları, depolama ve taşıma kolaylıkları bakımından büyük üstünlüklere sahiptirler. Ancak, dirençleri fazladır ve kolay delinirler. Normal uygulamalarda sadece üfleyici vantilatörler ile kullanılabilirler.

Vantüpler emici olarak kullanılacaklarsa etraflarına spiral çelik çemberler sarılır. Bunlar uzunlamasına katlanabilmekte olup, oldukça ağır, pahalı ve dirençleri yüksek olmaktadır (Önce ve Saraç, 1986 ; Güyagüler, 1991).

Saç borular genellikle ana galerilerin sürülmesinde kullanılır. Pahalı ve ağır olup, asitli suların aşındırmasına dayanıklı değildirler. Bunun yanında sağlamlıkları ve dirençlerinin az oluşu üstün yönleridir.

Boruların birbirine bağlantısı geçme olarak, manşon veya flanşlarla sağlanır. Boru hattı hafif zincir veya tellere takılmış çengellerle tavan tahkimatına asılır. Uzun ömürlü demir borular tabana döşenir (Önce ve Saraç, 1986).

2.2. Tali Havalandırma Sistemleri

Tali havalandırma esas olarak üfleyici ve emici olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Kullanılan diğer havalandırma sistemleri bu iki temel yöntemden türetilen sistemlerdir.

Tali havalandırma sistemleri şunlardır (Vutukuri, 1986).

1. Basit üfleyici veya emici sistemler;

- Tek vantilatör ile,
- Galeri dışında iki veya daha fazla vantilatör ile,

- Uzun galerilerde, boru hattı boyunca vantilatörlerin aralıklı yerleştirilmesi ile çalıştırılabilir

2. Kombine sistemler;

- Ana üfleyici – yardımcı emici sistem
- Ana emici – yardımcı üfleyici sistem

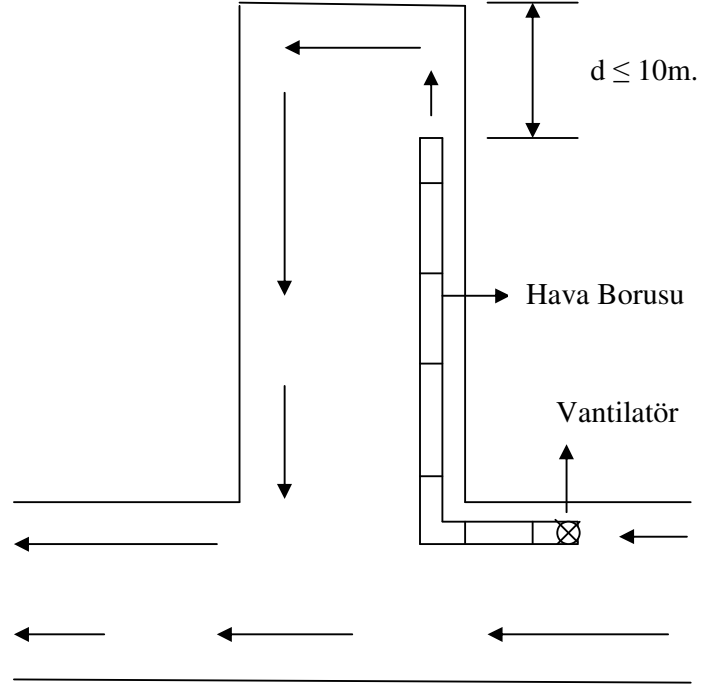
Etkili bir tali havalandırma yaratabilmek için vantilatörlerin kullanımında şu hususlar dikkate alınmalıdır.

- a) Havalandırılacak galeri ile ana galeri arasında bir kısa devre olmamasına dikkat edilmelidir. Vantilatör üfleyici ise giriş havası tarafına, emici ise dönüş havası tarafına yerleştirilmeli ve havalandırılacak galeri ağzına olan uzaklıkları en az 5 metre olmalıdır (Önce ve Saraç, 1986).
- b) Vantilatörler ana galeri üzerinde ve kullanılmış havayı tekrar emmeyecek şekilde yerleştirilmelidir.
- c) Vantilatörün havalandırılacak galeriye göndereceği hava miktarı, ana galeriden geçen miktarın üçte birini aşmamalıdır (Önce ve Saraç, 1986).

2.2.1. Basit üfleyici veya emici sistemler

2.2.1.1. Üfleyici Sistem

Üfleyici sistemde hava, üfleyici bir vantilatör ve hava boruları yoluyla çalışma yerine gönderilmekte, kirli hava ise tüm galeri içinden geri gelmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Üfleyici havalandırma sistemi (Güyağüler, 1991)

Üfleyici havalandırma sisteminin üstünlük ve sakıncaları aşağıda verilmiştir (Vutukuri, 1986 ; Önce ve Saraç, 1986 ; Güyağüler, 1991 ; Çetin, 1995).

Yöntemin üstünlükleri :

1. Temiz hava doğrudan çalışma yerine ulaşır.
2. Havalandırma borusundan çıkan havanın yüksek bir hıza sahip olmasından dolayı, arını kolay ve çabuk temizleyerek gaz konsantrasyonunu azaltır ve gaz tabakalaşmasını önler
3. Üfleyici sistemde metan, arından uzaklaştırılarak galerinin dışına süpürülür. Emici sistemde ise metan, tutuşmanın en tehlikeli olduğu yer olan arın kısmında boru hattı içerisine alınmaktadır.
4. Emici havalandırma ile karşılaştırıldığında arına ulaşan hava daha serin ve kuru olur. Hava, arındaki nemi ve ısıyı toplayarak galeriden geri döner ve böylece arını nem ve ısı bakımından daha iyi koşullarda tutar. Emici havalandırma ise, hava arına

ulaşmadan önce nem ve ısı toplayacağından bu husus özellikle uzun galerilerde sorunlar yaratabilir.

5. Galerinin içinde açıldığı formasyonlardan yayılan gazlar arına taşınmamaktadır.

6. Üfleyici vantilatör temiz hava akımı içinde çalışmaktadır.

7. Üfleyici havalandırmada hafif ve ucuz olan bez vantüpler kullanılabilir.

Yöntemin sakıncaları :

1. Arın gerisi ve galeri içi iyi havalandırılmamaktadır.

2. Galeri boyunca hava hızının düşük olmasından dolayı, atım sonrası oluşan gazlar ortamdaki çok çabuk uzaklaştırılmamakta ve ayrıca zararlı gazlar tüm galeri boyunca taşınmaktadır.

3. Arında ve galeride çalışan makine operatörleri ve işçiler, kirlenmiş havanın çok düşük bir hızla geri dönüşü sırasında maksimum toz ve gaz konsantrasyonuna uzun süre maruz kalır. Bu nedenle, özellikle toz üretiminin fazla olduğu mekanize sürülen galerilerde üfleyici havalandırmanın tek başına kullanılması uygun değildir.

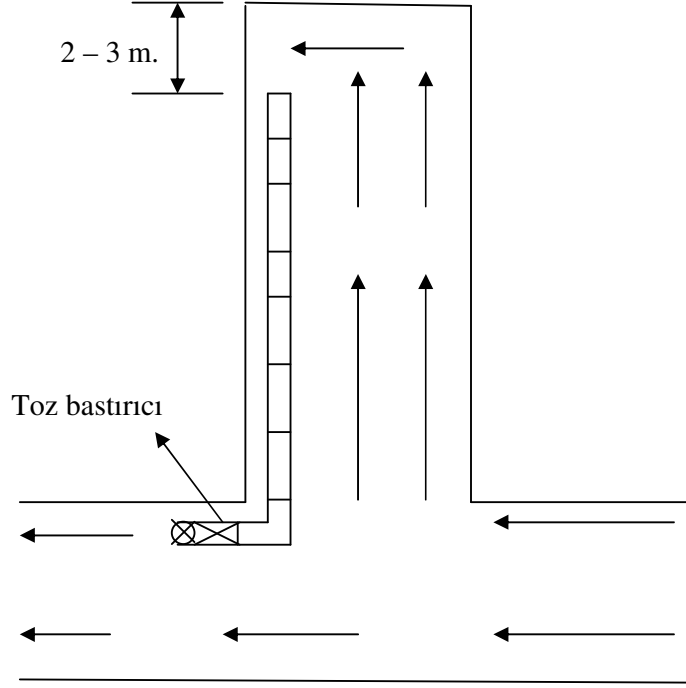
4. Galeriden gelen hava genel havalandırma sistemi içine girerek diğer üretim panolarının havasını kirletir.

5. Arındaki yüksek hava hızı toz oluşumu ve işçi sağlığı açısından zararlıdır.

Toz probleminin yüksek olmadığı galerilerde, ortamdaki gazı daha iyi dağıttığından ve havayı daha serin ve kuru verebildiğinden dolayı üfleyici sistem tercih edilir. Fakat mekanize kazının uygulandığı, yani toz problemi yüksek olan galerilerde, üfleyici sistemin kullanılabilmesi için ilave ekipmanlar gereklidir.

2.2.1.2. Emici sistem

Emici sistemde hava, emilerek borular içerisinde çalışma yerinden uzaklaştırılır. Temiz hava ise yaratılan alçak basınç nedeniyle galeri içinden akarak arına kadar gelmektedir. Emici havalandırma sisteminin genel bir plan görünüşü Şekil 2.3' de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Emici havalandırma sistemi (Güyağüler, 1991)

Emici sistemin üstün ve sakıncalı yönleri aşağıda sıralanmıştır.

Yöntemin üstünlükleri ;

1. Toz ve gaz, çalışma yerinden hızla uzaklaştırılmaktadır.
2. Atım sonucu oluşan gazlar hemen emilmekte, arın gerisinde ve galeri içindeki havanın kalitesi daima iyi olmaktadır (Güyağüler, 1991).

Yöntemin sakıncaları ;

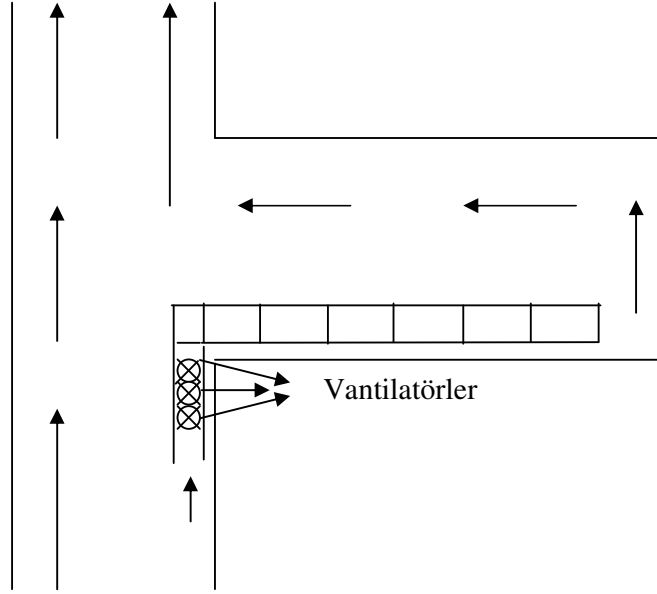
Üfleyici havalandırma sisteminin avantajları, emici havalandırma sisteminin sakıncalarını oluşturur.

Ayrıca emici sistemlerde kullanılan boruların, vantilatörün yüksek emiş gücü nedeniyle, ya çelik yada çelik spiral iskelet ile takviye edilmiş vantüpler olması

zorunluluğu vardır. Yeraltı koşullarında, özellikle hızlı ilerleyen galerilerde çelik hava borularının taşınması, bez vantüplere göre oldukça zordur (Vutukuri, 1986).

2.2.1.3. Galeri dışına yerleştirilen birden fazla vantilatör ile havalandırma

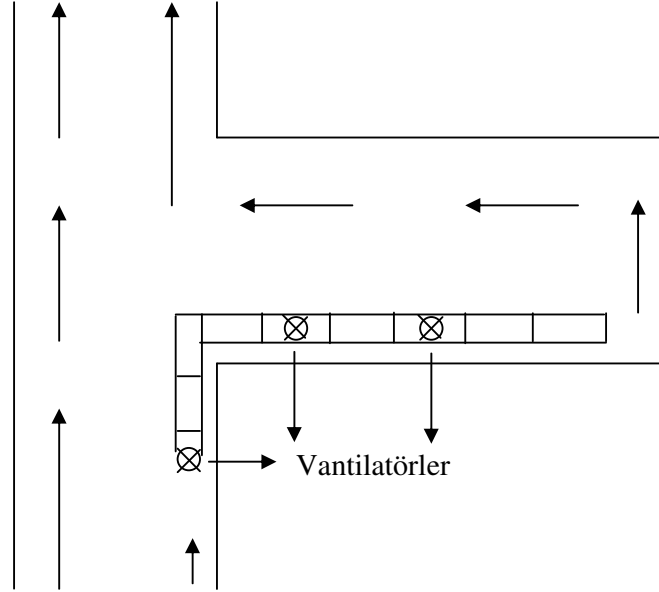
Bu sistemde birden fazla vantilatör kullanılmakta ve bu vantilatörler tali galerilerin dışına ve seri bağlı olarak yerleştirilmektedir. Havalandırma sistemi emici veya üfleyici olabilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Galeri dışında iki veya daha fazla vantilatörle havalandırma (Vutukuri, 1986)

2.2.1.4. Galeri boyunca vantilatörlerin aralıklarla yerleştirilmesi

Bu sistemde tali havalandırma, vantilatörlerin sürülen galeri içinde ve birbirleriyle seri bağlı olacak şekilde aralıklarla yerleştirilmesi ile yapılmaktadır. Havalandırma sistemi emici veya üfleyici olabilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Galeri boyunca vantilatörlerin aralıklarla yerleştirilmesi (Vutukuri, 1986)

2.2.2 Kombine sistemler

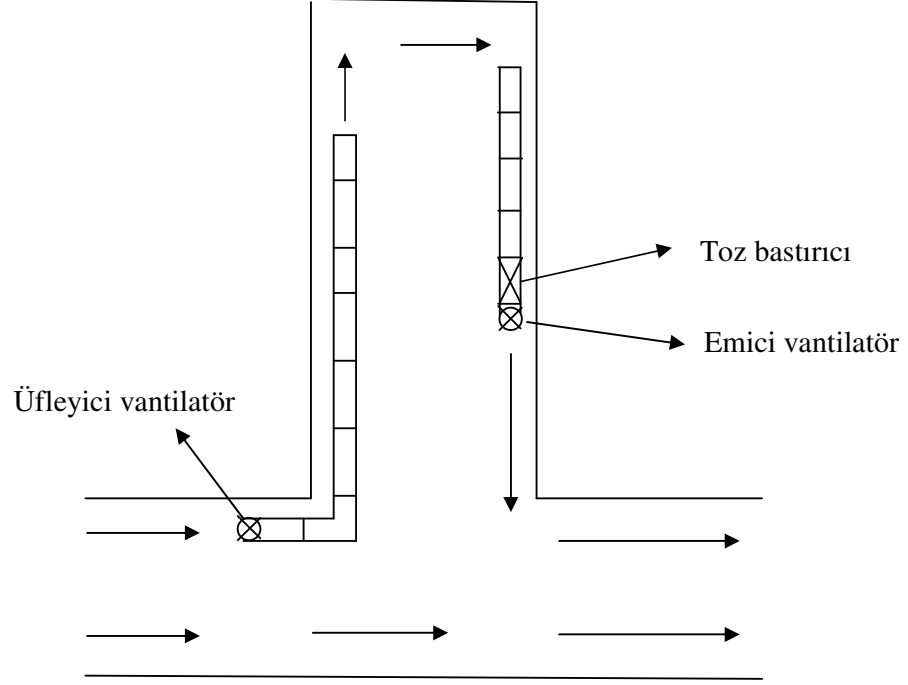
Kombine sistemler, temel olarak üfleyici ve emici sistemlerin birleşik avantajlarını elde etmek için kullanılırlar. Üfleyici bir vantilatörün kullanımı ile ortamdaki gaz oranlarında iyi bir seyreltme, emici bir vantilatörün kullanımı ile de yüksek toz konsantrasyonlarında etkili bir iyileştirme sağlanabilir.

Kombine sistemlerde birisi “ana vantilatör”, diğeri “yardımcı vantilatör” olarak nitelenen iki ayrı vantilatör, iki ayrı boru hattına bağlı olarak kullanılır. Ana ve yardımcı vantilatörlerin her ikisi de aynı enerji kaynağından beslenmeli ve birbirleriyle bağlantılı olmalıdır. Bu sayede herhangi bir nedenle ana vantilatörün durması halinde, yardımcı vantilatörün de durması sağlanır (Önce ve Saraç, 1986).

2.2.2.1 Ana üfleyici – yardımcı emici sistem

Galeri açma makinesinin kullanıldığı durumlarda, tali havalandırma ; çalışanlara gerekli temiz havayı sağlamalı, galeri açma makinesinin oluşturduğu ısıyı ortamdaki uzaklaştırmalı ve yüksek değerlerde oluşan toz konsantrasyonunu en aza indirmelidir (Güyağüler, 1991).

Galeri açma makinesinin kullanılması durumunda ateşleme sonrası gazları söz konusu olmadığından, tozla mücadelede bu sistem kullanılır. Üfleyici sistem, arına temiz havayı sağlar ve olası bir metan tehlikesini kontrol eder, emici sistem ise bir toz filtresi ile beraber toz kontrolünü sağlar (Vutukuri, 1986). Örnek bir görünüm Şekil 2.6'da verilmiştir.



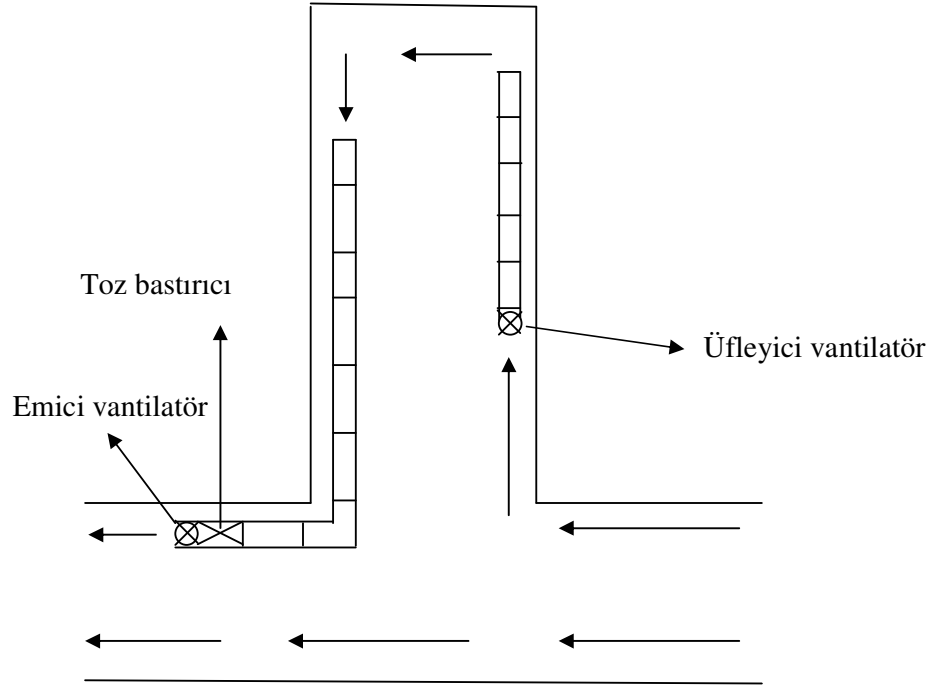
Şekil 2.6. Ana Üfleyici – Yardımcı Emici Sistem

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, her iki sistem galerinin iki ayrı yanında tesis edilir. Üfleyici sistem genellikle operatörün bulunduğu tarafa, toz bastırıcı ise karşı tarafa yerleştirilir. Böylece arında iyi bir süpürme hareketi yaratılırken, toz da ileri doğru üflenmiş olur. Üfleyici sistem arına ne çok yakın, ne de çok uzak olmalıdır. Çok yakın olması durumunda üflenmiş hava, arındaki tozun geri gelmesine ve operatörün toz içerisinde kalmasına neden olabilir. Emici hattın olabildiğince arına yakın tutulması ile arında kazı esnasında ortaya çıkan tozun yayılmadan toplanması sağlanır. Tozun etkin bir şekilde kontrolünü sağlamak için, emici vantilünün ucu galeri arınının 2 – 3 m kadar gerisinde tutulmalıdır (Çetin, 1995).

Hızlı ilerleyen bacalarda, yardımcı vantilatör, vantüp ve toz bastırıcının düzenli olarak ilerletilmesi zor bir iştir. Bu güçlüğü üstesinden gelmek için, sistem galeri açma makinesine monte edilerek makine ile beraber hareket etmesi sağlanabilir. Böylece emici vantüp hattının geride kalması problemi ortadan kalktığı gibi, vantüpün kesici kafaya yerleştirilmesiyle de daha etkin bir toz kontrolü sağlamak mümkün olur.

2.2.2.2. Ana emici – yardımcı üfleyici sistem

Delme – patlatma ile sürülen galeriler, patlatma sırasında oluşan gazların hızla temizlenebilmesi bakımından emici sistemle havalandırılırlar. Kritik koşullarda ilave olarak, arında metan birikimini engellemek için üfleyici bir vantilatör sistemi kullanılır. Bu düzenekte (Şekil 2.7) ana sistem emici olup, üfleyici hat arın civarındaki havanın emici hatta girmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.7. Ana Emici – Yardımcı Üfleyici Sistem

Kombine sistemlerin en büyük sakıncası, üfleyici ve emici boruların birlikte bulunduğu kısımda hava miktarı ve buna bağlı olarak hava hızının azalmasıdır. Bu

azalma söz edilen kısımda metan tabakalaşmasına sebep olabilir. Bu sakıncadan dolayı, yardımcı vantilatör mevcut havanın %50' den fazlasını almamalıdır (Vutukuri, 1986).

2.3. Tali Havalandırma Hesaplamaları

Tali havalandırma, giriş veya dönüş havasının borular içinde taşınması ile gerçekleştirilir. Boru hattının niteliğinden ve pek çok ek yeri içermesinden dolayı tüm boru hatları bir miktar hava kaçırlar. Hattın içine veya dışına olan bu kaçakların tamamen önlenmesi pratikte olanaksızdır (Vutukuri, 1984). Etkin bir tali havalandırma tasarımı yapabilmek için, borularla hava taşınmasının analizinin iyi bir şekilde yapılması ve hava kaçaklarının hesaba katılması gerekmektedir.

2.3.1. Borularla Hava Taşınması Etkileyen Faktörler

Kaçaksız bir boru hattındaki hava debisi Atkinson eşitliği kullanılarak hesaplanır (Vutukuri, 1983). Boru hattındaki basınç düşüşü ;

$$p = \frac{kLCQ^2}{A^3} \dots\dots\dots(2.1)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Buradan Q çekilirse ;

$$Q = \sqrt{\frac{pA^3}{kLC}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Bu eşitliklerde ;

Q : Hava debisi, m³/s

p : Basınç düşüşü, Pa

A : Hattın kesit alanı, m²

k : Hattın sürtünme katsayısı, Ns²/m⁴

L : Hat uzunluğu, m

C : Hattın çevresi, m

Belli bir hat uzunluğu için, $(k \times L \times C) / A^3$ sabittir ve genellikle R ile gösterilen direnç katsayısı olarak tanımlanır ve birimi Ns^2/m^8 'dir.

Bu nedenle ;

$$R = \frac{kLC}{A^3} \dots\dots\dots (2.3)$$

olarak simgelenirse ;

$$Q = \sqrt{\frac{P}{R}} \dots\dots\dots (2.4)$$

biçiminde basitleştirilmiş olur.

Kaçaklı hatlarda, basıncın değişmesine ilave olarak, kaçaklardan dolayı hat boyunca hava miktarı da değişir. Bu nedenle hesaplamalar basit ve tek aşamalı değildir (Browning, 1983).

Kaçaklı bir hattın karakteristiklerini tanımlamak için iki sabit kullanmak gereklidir. Bunlar ; boru hattı direnç katsayısı ve kaçak yolları direnç katsayısıdır.

a) Boru hattı sürtünme (direnç) katsayısı(Ns^2/m^4);

Boru hattı direnç katsayısı belli bir hat uzunluğunda ve belli bir debide oluşan basınç kayıpları ile ifade edilir. Pratik olarak $1\text{m}^3/\text{s}$ ' lik bir hava akışı için 100 m uzunluğundaki bir hatta 1 Pa basınç düşüşü meydana getiren direnç olarak tanımlanır ve $\text{Ns}^2/\text{m}^8/100 \text{ m}$ olarak tariflenir (Browning, 1983) .

b) Kaçak Yollarının Direnç Katsayısı/100 m, (Ns^2/m^8);

Kaçak yolları direnç katsayısı, tesis kalitesi olarak da adlandırılabilir (Vutukuri, 1984). Bu terimi açıklamak için önce kaçak katsayısı tanımlanmalıdır. Kaçak katsayısı belli bir uzunluktaki boru hattından belli bir basınç farkında kaçan hava miktarıdır. Pratik olarak 1kPa 'lık sabit bir basınç altında 100 m uzunluğundaki bir hattan m^3/s olarak kaçan hava miktarı olarak tanımlanabilir (Browning, 1983 ; Vutukuri, 1983).

Boru hattının bir ucuna giren hava miktarı ile diğer ucundan ayrılan hava miktarının ölçülmesiyle ve vantilatör basıncının da belirlenmesiyle kaçak katsayısı hesaplanabilir. Boru hattının kaçaksızlığını ifade eden bu değer, hattın uzunluğu ve uygulanan basınçla ilişkilendirilir. Belli bir uzunluktaki hatta, özellikleri bilinen bir vantilatör kullanıldığı zaman oluşacak kaçağı tahmin etmek için kullanılır.

Kaçak yollarının direnç katsayısı 100 m hat uzunluğu için Ns^2/m^8 olursa, bu durumda kaçak katsayısı ve kaçak yollarının direnç katsayısı (Çizelge 2.1) arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olur (Vutukuri 1983).

$$\text{Direnç katsayısı} = 1000 / (\text{Kaçak Katsayısı})^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Çizelge 2.1. Kaçak katsayısı ve kaçak yolu direnç katsayısı (Vutukuri, 1983).

Kaçak Katsayısı $m^3/s/100\text{ m}$ 1 kPa'da	Kaçak yolları direnç katsayısı/100 m Ns^2/m^8
0.158	40000
0.316	10000
0.474	4444
0.632	2500

Çizelge 2.1'den de anlaşılacağı gibi kaçak yolları direnç katsayısı değerleri hat çapının karesiyle ters orantılı olarak değişir. Bu değerler aşağıdaki gibi yorumlanabilir (Vutukuri, 1983).

- 40000/R² İyi
- 10000/R² Orta
- 4444/R² Zayıf
- 2500/R² Kötü

Burada R hat çapını temsil etmektedir. Çeşitli çap ve tesis kaliteleri için, hat sürtünme katsayısı ve kaçak yollarının direnç katsayılarının değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Vutukuri, 1983).

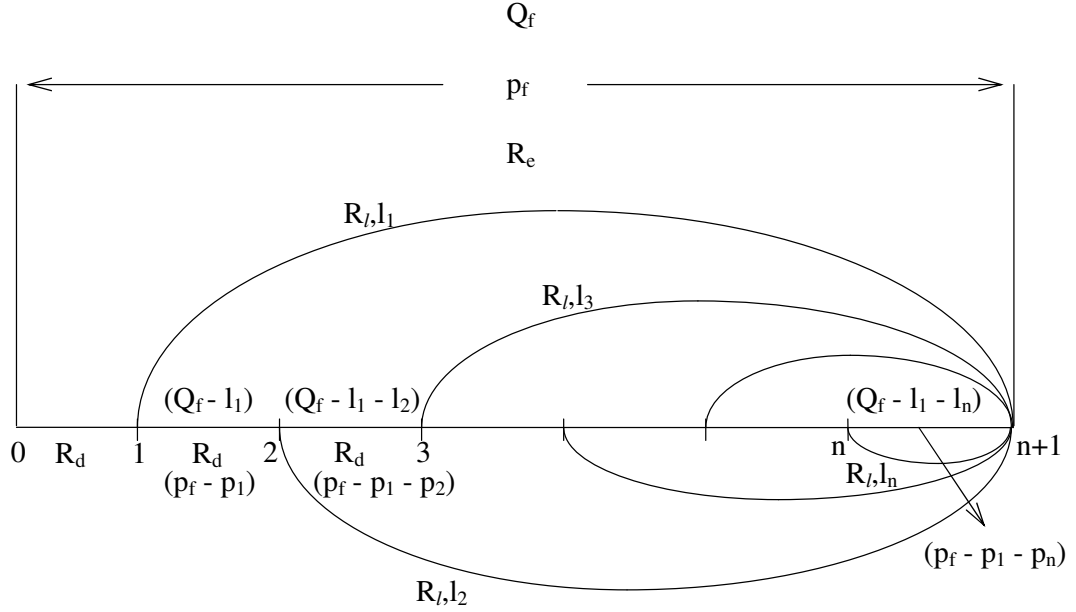
Çizelge 2.2. Boru hattı karakteristikleri (Vutukuri, 1983)

Çap (mm)	Tesis Kalitesi	Sürtünme Katsayısı (Ns^2/m^4)	Kaçak Yolları Direnç Katsayısı/100 m (Ns^2/m^8)
480	İyi	0.0038	173600
	Orta	0.0038	43400
	Zayıf	0.0038	19300
	Kötü	0.0038	10900
610	İyi	0.0038	107500
	Orta	0.0038	26900
	Zayıf	0.0038	11900
	Kötü	0.0038	6700
760	İyi	0.0038	69300
	Orta	0.0038	17300
	Zayıf	0.0038	7700
	Kötü	0.0038	4300

2.4. Kaçaklı Borularda Hava Akımı Analizleri

Pratikte tüm hava boruları bir miktar hava kaçırlar ve bu kaçak yolları birer hava yolu gibi düşünülebilir. Hatlar uzatıldıkça daha fazla kaçak oluşur ve bu da arına ulaşan havanın azalmasına neden olur. Başka bir deyişle, hattın sonuna ulaştırılan hava miktarı, hat boyunca oluşan toplam kaçak miktarına bağlıdır. Bu sebeple, arına sağlanacak hava miktarını belirlemede vantilatör kadar, hat özellikleri de etkili olmaktadır.

Kaçaklı hatlardaki hava akımı analizleri için birçok yaklaşım önerilmektedir. Bu çalışmada, boru hattı kaçak yolları seri – paralel bağlı devreler şeklinde analiz edilmiş ve şekil 2.8’de gösterilmiştir (Vutukuri, 1983).



Şekil 2.8. Boru hattındaki seri – paralel bağlantılar (Vutukuri, 1983)

Burada;

- Q_f : Vantilatörün kullandığı debi,
- p_f : Vantilatör basıncı,
- R_e : Boru hattının eşdeğer direnci,
- R_d : Birim uzunluk başına boru hattı direnç katsayısı,
- R_l : Birim uzunluk başına kaçak yolu direnç katsayısı,
- l_1, l_2, \dots : Birim uzunluk başına kaçak,
- p_1, p_2, \dots : Birim uzunluk başına basınç kaybı,
- n : Kaçak yollarının sayısı,
- $1, 2, 3, \dots, n$: Boru hattı boyunca kaçak noktaları (eklemler) olarak verilebilir.

Hava, boru hattına 0 noktasında girer ve (n + 1) noktasında terk eder. 1,2,.....n eklem noktalarıdır ve bu noktalarda kaçaklar oluşur. Eklemlerin tipine bağlı olarak kaçak yolları belli bir dirence sahip olur ve kaçak yollarının direnç katsayısı olarak adlandırılır. Eklem aralarının eşit olduğu kabul edilirse, tüm boru hattı kısımlarının direnç katsayıları aynı olur (R_d). Tüm eklemlerin de yapı olarak aynı olduğu kabul edilirse, tüm kavşaklardaki kaçak yollarının direnç katsayıları da (R_l) aynı olur. Bu durumda hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılır (Vutukuri, 1984).

Öncelikle sistemin eşdeğer direnci hesaplanır. Hesaplamaya ilk parçanın eşdeğer direncinin hesaplanmasıyla başlanır.

$$\frac{1}{\sqrt{R_{n-(n+1)}}} = \frac{1}{\sqrt{R_d}} + \frac{1}{\sqrt{R_l}} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$R_{n-(n+1)} = \frac{R_d \times R_l}{(\sqrt{R_l} + \sqrt{R_d})^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Benzer şekilde ikinci parçanın eşdeğer direnci ;

$$\frac{1}{\sqrt{R_{(n-1)-n}}} = \frac{1}{\sqrt{R_d + \frac{R_d \times R_l}{(\sqrt{R_l} + \sqrt{R_d})^2}}} + \frac{1}{\sqrt{R_l}} \dots\dots\dots (2.8)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Aynı adımların ardışık olarak izlenmesi sonucunda, sistemin eşdeğer direnci (R_{0-(n+1)}) hesaplanabilir.

Vantilatör basıncı (p_f) biliniyorsa, hatta giren hava miktarı (Q₀₋₁) sistemin eşdeğer direncini kullanarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q_{0-1} = \sqrt{\frac{P_f}{R_{0-(n+1)}}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Eğer vantilatör 0 noktasına yerleştirilmişse, hattın karakteristik eğrisi, vantilatörün p-Q karakteristik eğrisiyle aynı eksen takımına çizilir ve bu iki eğrinin

kesişim noktası vantilatörün çalışma koşullarını, yani Q_{0-1} ve p_f 'yi verir. Aynı sonuç matematiksel hesaplama yoluyla da bulunabilir.

Hesaplanmış olan Q_{0-1} hava miktarı 1 kavşağında Q_{1-2} ve $Q_{1-(n+1)}$ olarak ikiye ayrılır.

$$Q_{0-1} = Q_{1-(n+1)} + Q_{1-2} \dots\dots\dots (2.10)$$

1-2-3.....(n+1) kolu ile 1- (n+1) kolu paralel olduğundan ;

$$R_l \times Q_{1-(n+1)}^2 = R_{1-(n+1)} \times Q_{1-2}^2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Bu iki eşitlikten yararlanarak ;

$$1. \text{ eklemde kaçan hava : } Q_{1-(n+1)} = \frac{Q_{0-1} \times \sqrt{\frac{R_{1-(n+1)}}{R_l}}}{\left[1 + \sqrt{\frac{R_{1-(n+1)}}{R_l}} \right]} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$1-2 \text{ kolundan geçen hava : } Q_{1-2} = \frac{Q_{0-1} \times \sqrt{\frac{R_l}{R_{1-(n+1)}}}}{\left[1 + \sqrt{\frac{R_l}{R_{1-(n+1)}}} \right]} \dots\dots\dots (2.13)$$

değerleri hesaplanabilir. Benzer şekilde tüm eklem yerlerindeki hava kaçakları ve hatta devam eden hava miktarları (Q_{2-3} , $Q_{2-(n+1)}$, Q_{3-4} , $Q_{3-(n+1)}$ $Q_{n-(n+1)}$) hesaplanabilir.

2.5. Uzun Galeriler İçin Tali Havalandırma Sistemlerinin Tasarım Esasları

Günümüz madenciliğinde galeri sürme işlerinde galeri açma makinelerinin kullanımının yaygınlaşması, açılacak galeri ve taban yolu uzunluklarının daha fazla tutulmasını beraberinde getirmiştir. Uzun galerinin tali havalandırma sistemlerinin tasarımına üç yaklaşım yapılabilir.

1. Tek bir vantilatör ile havalandırma
2. Birkaç vantilatörü galerinin başlangıcına beraber monte ederek havalandırma
3. Birkaç vantilatörü hat boyunca aralıklarla yerleştirilerek havalandırma

Yeraltında kullanılan vantilatörlerin boyutlarının sınırlı olmasından ve ekonomik nedenlerden dolayı uzun galeriler için çoklu vantilatörlerin kullanımı tercih edilir.

Uzun galerilerin havalandırılmasında, arın ilerledikçe boru hattı galeri arınına uzatılır. Boru hattının direncinin ve kaçakların artmasından dolayı arına ulaşan hava giderek azalır. Arına ulaşan hava minimum kabul edilebilir bir değere kadar azaldığında hatta başka bir vantilatör ilave edilir. Bu aşamada üzerinde düşünülmesi gereken konu: ikinci vantilatörün birincinin yanına mı yerleştirilmesi yoksa hat üzerinde birinci vantilatörden belli bir uzağa mı eklenmesi hususudur.

Çok uzun hatlarda birkaç vantilatör kullanmak zorunda kalınabilir. Uzun hatlarda aralıklarla seri halde bağlanmış çoklu vantilatörler kullanılması durumunda vantilatörlerin her biri kendisi ve kendisinden bir sonraki vantilatör arasında kalan boru hattı bölümünün direncini yenebilmeli ve hava hareketini sağlayabilmelidir.

Sabit uzunluktaki bir hat için, bu probleme iki yolla yaklaşılabilir.

1. Karakteristikleri bilinen vantilatörler için en uygun yerleri saptamak.
2. Vantilatör için yerleri önceden belirleyip, uygun karakteristiklere sahip vantilatörler seçmek.

Bir tali havalandırma sisteminin tasarımında aşağıdaki veriler biliniyor olmalıdır;

1. Hattın maksimum uzunluğu
2. Arında gerekli hava miktarı
3. Hat Karakteristikleri (vantüp çapı, sürtünme faktörü ve kaçak yollarının direnç katsayısı)

Daha sonra aşağıdaki hesaplamalar yapılabilir.

1. Hesaplamalar, herhangi bir uzunluğun katlı değerleri için, deneme-yanılma metodu kullanılarak, arında gerekli debiden daha az bir debi elde edilen hat uzunluğuna (L_1) ulaşana kadar sürdürölür. Böylece L_1 uzunluğundaki bir hat için eşdeğer direnç, vantilatörün kullandığı debi ve arına ulaşan debi hesaplanır.

2. Birinci aşamada bulunan değerlerden, L_1 uzunluğundaki bir hattın sonuna arında gerekli debiyi ulaştırabilmek için vantilatörün kullanması gereken debi belirlenir. Fakat bulunan debi, verilen koşullar altında vantilatörün kapasitesinden daha yüksek bir değere sahip olur. Bu durumda hattın direncinin düşürölmesi, yani hattın uzunluğunun azaltılması gerekir. Hattın uzunluğundan çıkarılacak uzunluk aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Vantilatör karakteristik eğrisi genellikle $P_f = aQ_f^2 + bQ_f + c$ olacak şekilde ikinci dereceden bir eğri ile temsil edilirken, hattın karakteristik eğrisi de $p=R_c \times Q_f^2$ ile ifade edilir.

Hat direncine, bir tasarım parametresi olarak kabul edilen R_a direnci eklenerek sonuçlar değerlendirilir. Vantilatörün yeterli olabileceğı maksimum uzunluk, R_a direncinin sıfıra eşit olduğu noktadan bulunur (Calizaya and Jones, 1993). Bu noktada,

$$(R_c + R_a) \times Q_f^2 = aQ_f^2 + bQ_f + c \dots\dots\dots (2.14)$$

eşitliği geçerli olacaktır. Burada ;

R_c : L_1 uzunluğundaki hattın eşdeğer direnci

R_a : Sabit bir hava miktarını korumak için hattın direncine eklenen sahte bir direnç

Q_f : Vantilatörün kullandığı debi

Bu eşitlikten bulunan R_a değerinin negatif olması, boru hattının direncinin yüksek olduğunu, arına ulaşan debinin gerekli debiden az olduğunu ve hattın uzunluğunun azaltılması gerektiğini gösterir (Calizaya and Jones, 1993).

R_a değeri Atkinson eşitliğine uygulanarak hattın uzunluğundan çıkarılması gereken uzunluk hesaplanır.

$$R_a = \frac{k \times L \times C}{A^3} \Rightarrow L = \frac{R_a \times A^3}{k \times C} \dots\dots\dots (2.15)$$

Birinci aşamada bulunan L_1 uzunluğu uygulandığında, arına gerekenden daha az debi ulaştırılmaktadır. Bu yüzden hesaplamalarda R_a negatif bir değer almakta böylece Atkinson eşitliğinden elde edilecek L uzunluğu da negatif olmaktadır. Yani L_1 uzunluğundan L çıkarılarak arında gerekli debiye göre birinci vantilatörün havalandırabileceği maksimum uzunluk hesaplanmaktadır. Vantilatörün kullanılabilmesi için en uygun mesafe belirlendikten sonra, vantilatörün çalışma koşulları belirlenir. Daha sonra debi artış oranı (VIR) ve basınç artış oranı (PIR) olarak adlandırılan ve aşağıda verilen tasarım parametreleri belirlenir (Vutukuri, 1983).

$$VIR = \text{Vantilatörün kullandığı debi} / \text{Arına ulaşan debi} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$PIR = \text{Kaçaklı koşullarda vantilatör çalışma basıncı} / \text{Kaçaksız koşullarda vantilatör çalışma basıncı} \dots\dots\dots (2.17)$$

VIR ve PIR değerleri belirlendikten sonra vantüp etkinliği hesaplanır (Vutukuri, 1983).

$$\text{Vantüp etkinliği} = 1 / (VIR * PIR) \dots\dots\dots (2.18)$$

3. TALİ HAVALANDIRMA TASARIM ÇALIŞMASI

Tali havalandırma tasarım çalışması için TKİ'ye bağlı GLİ İşletmesi seçilmiştir. Burada, özellikle Ömerler Yeraltı ocağında uzun hazırlık galerileri sürülmekte ve etkin tali havalandırma çalışmaları yapılmaktadır.

Ülkemizin en önemli enerji kaynaklarından biri olan linyit kömürünün işletilebilir rezervlerinin çoğu TKİ'ye ait sahalardadır. GLİ Tunçbilek sahasında, açık ocak ve yeraltı işletmeciliği ile kömür üretimi yapılmaktadır.

Açık işletme madenciliğinde;

- a. Dekapajda; ekskavatör – kamyon , dragline sistemi ve
- b. Kömür üretiminde; ekskavatör – kamyon sistemi uygulanmaktadır.

Yeraltı işletmeciliğine;

- a. Arkadan blok göçertmeli dönümlü uzunayak sistemi (çelik sarma + hidrolik direk tahkimatı),
- b. Tam mekanize blok göçertmeli uzunayak sistemi, uygulanmaktadır.

GLİ Tunçbilek kömür havzasında, yeraltında kömür üretimi mevcut bulunan iki adet yeraltı ocağından sağlanmaktadır. Bunlar Tunçbilek Yeraltı Ocağı ve Ömerler Yeraltı Ocağıdır.

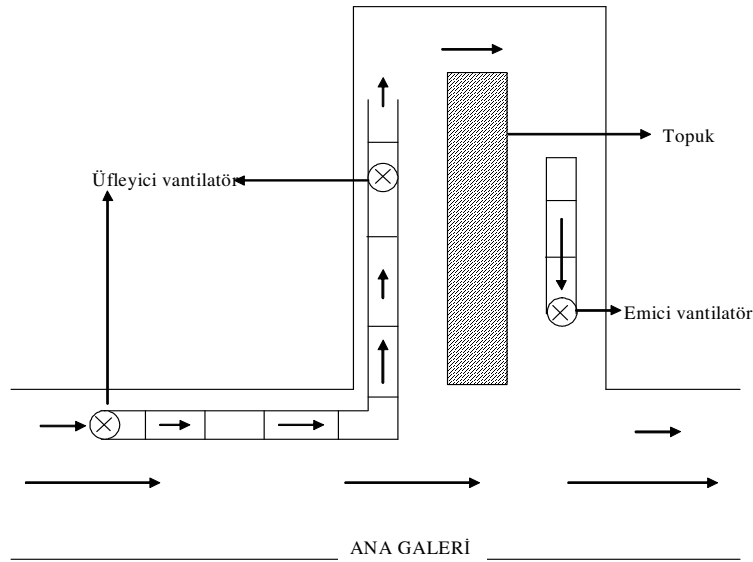
1940'lı yıllardan itibaren üretimde bulunan Tunçbilek Yeraltı İşletmesinde üretim, arkadan göçertmeli dönümlü uzun ayak kazı metodu ile yapılmakta, ayak içi tahkimatı olarak, klasik tahkimat sistemi diye adlandırılan çelik sarma + hidrolik direk' ten oluşan ve aynaya dik olarak kurulan sistem kullanılmaktadır. Yaklaşık 4 – 12 m kalınlığındaki kömür damarının taban taşından itibaren 2 m'lik kısmı patlatma ile gevşetilmekte ve martopikörle kazılarak alınmaktadır. Üste kalan kısmı ise ayağın arkasından konveyör üzerine göçertilerek üretilmektedir.

Ömerler Yeraltı Ocağı 1985 yılında üretime geçmiştir. Arkadan göçertmeli dönümlü uzun ayak kazı metodu ve klasik tahkimat sistemi kullanılırken 1997 yılından

itibaren tam mekanize uzun ayak sistemine geçilmiş ve klasik tipte üretim yapılan panolarda işçi yetersizliği nedeniyle üretime son verilmiştir. Halen tam mekanize panoda üretime devam edilmektedir. Mekanize panoların hazırlık çalışmalarında uzun tali galeriler sürülmekte ve bu galerilerin havalandırılmasında tali vantilatör ve vantüpler kullanılmaktadır. İşletmede halen M5 panosu olarak adlandırılan kısmın hazırlık çalışmaları sürmektedir.

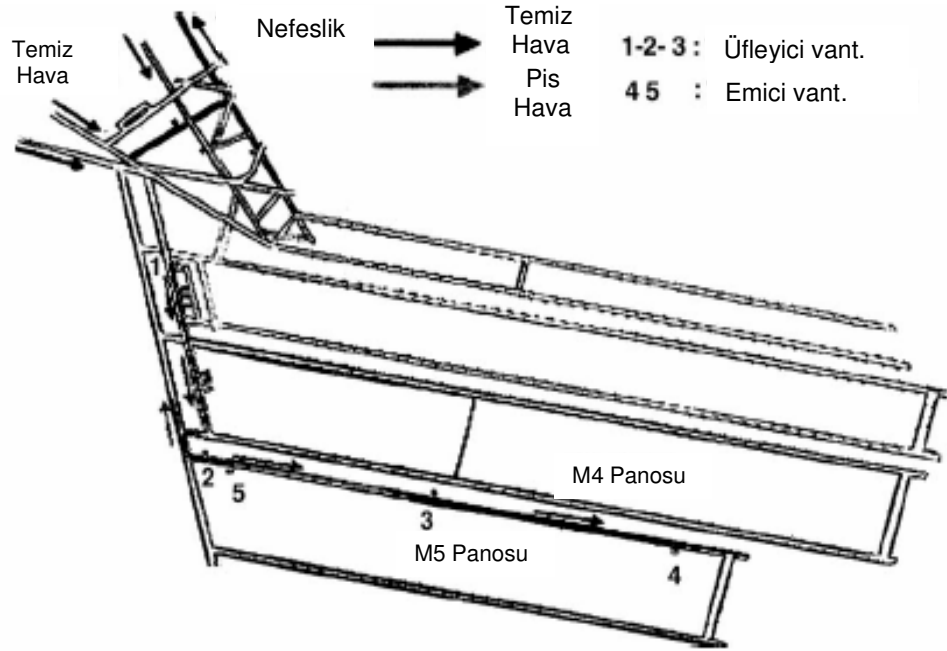
3.1. Ömerler M5 Panosu Tali Havalandırma Sisteminin Tanıtımı

Galerilerin havalandırılması ilk başlangıçta 150 m³/dak kapasiteli basınçlı hava ile çalışan tali vantilatörlerle yapılmaktadır. Basınçlı hava ile çalışan vantilatörün galeri aynasına üflediği hava 90 m³/dak altına düştüğünde, ana yol üzerinde daha yüksek kapasiteli elektrikli vantilatörle gönderilmektedir. Planlanan galeri uzunluğuna bağlı olarak kullanılan elektrikli vantilatörlerin kapasitesi 150 – 250 m³/dak arasında olabilmektedir. Bir vantilatörle havalandırmanın yeterli gelmediği mesafelerde ise iki vantilatör paralel olarak galeriye temiz hava göndermektedir. Vantüp uzunluğu arttıkça basınç kaybı arttığından dolayı belirli yerlere birbirleriyle seri olarak bağlı elektrikli ya da basınçlı hava ile çalışan vantilatörler kurulmaktadır. Ocaktaki uygulamada 1 boy vantüpte %3 basınç kaybı belirlenmiştir. Ocakta uygulanan tali havalandırma sistemlerinin genel bir görünüşü Şekil 3.1’de verilmiştir.



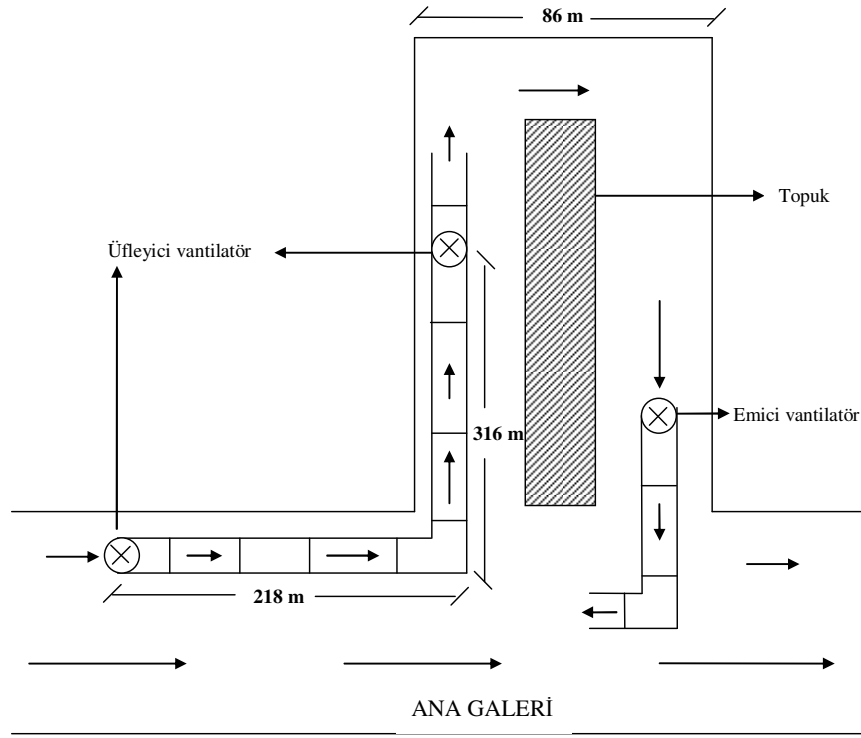
Şekil 3.1. Tali havalandırma sisteminin plan görünüşü

Uygulama çalışması için gerekli veriler M5 Panosu'nda yapılan yerinde ölçümlerle elde edilmiştir. Panoda uygulanan tali havalandırmada ana vantilatörün gönderdiği hava tali vantilatörler ve vantüplerle aktarılmaktadır. Ocakta kullanılan vantüpler bez olup her bir vantüpün uzunluğu 15 metredir. Çapları ise 600 mm ve 400 mm'dir. Ömerler yer altı ocağı havalandırma sisteminin genel görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Ömerler yeraltı ocağı havalandırma sisteminin genel görünümü

M5 panosunda üç adet elektrikle çalışan tali vantilatör kullanılmaktadır. Bunlardan ikisi üfleyici, diğeri emici vantilatördür. Üfleyici vantilatörden bir tanesi ana galeri üzerinde M5 panosuna 218 m uzaklıkta yerleştirilmiştir. İkinci üfleyici vantilatör M5 panosu içinde ve ilk vantilatöre uzaklığı 534 m'dir. İlk vantilatörün arına olan uzaklığı ise 632 m olarak ölçülmüş ve M5 panosunun plan görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir.



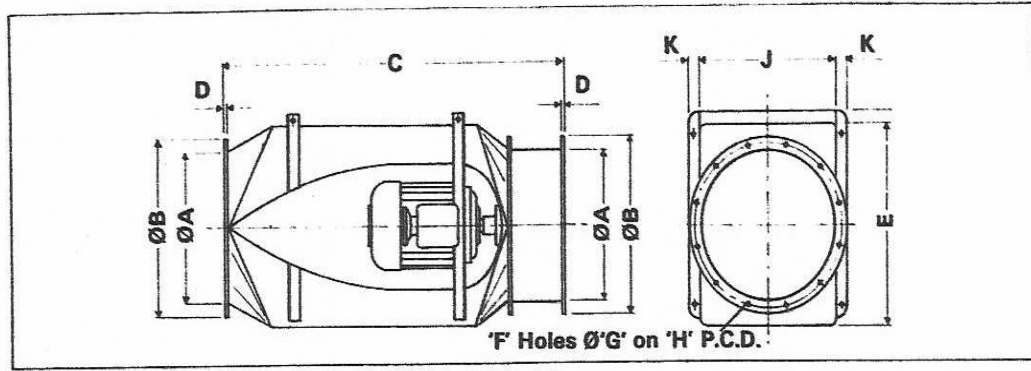
Şekil 3.3. M5 Panosu tali havalandırma sisteminin genel görünümü

M5 nolu panosunda B40 kodlu Engart tipi vantilatörler kullanılmaktadır. Bu vantilatör ve çalışmada değerlendirilen diğer Engart vantilatörlerin özellikleri (Engart Fans Limited) Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Engart tipi vantilatörlerin özellikleri

TİPİ	ÇAP (mm)	Kw	F.A.C. No	N.C.B. Kodu
In-line aksiyal	510	4	264	A.20
In-line aksiyal	610	18.5	265	A.40
In-line aksiyal	760	30	266	A.70
Bifurcated Axial	510	7.5	270	B.20
Bifurcated Axial	610	18.5	271	B.40
Bifurcated Axial	760	37	272	B.70
Bifurcated Axial	760	56	284	B.100

Çizelge 3.1'deki değerler Engart firmasının katalogundan alınan değerlerdir. G.L.İ. Tunçbilek Ömerler Yeraltı ocağında M5 nolu panosunda kullanılan ulusal kömür konseyindeki (NCB) kodu B.40 olan Engart tipi vantilatörün çapı 0.61 ve gücü 18.5 kW'dır. Engart tipi vantilatörlerin genel görünümü Şekil 3.4'te, boyutları ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

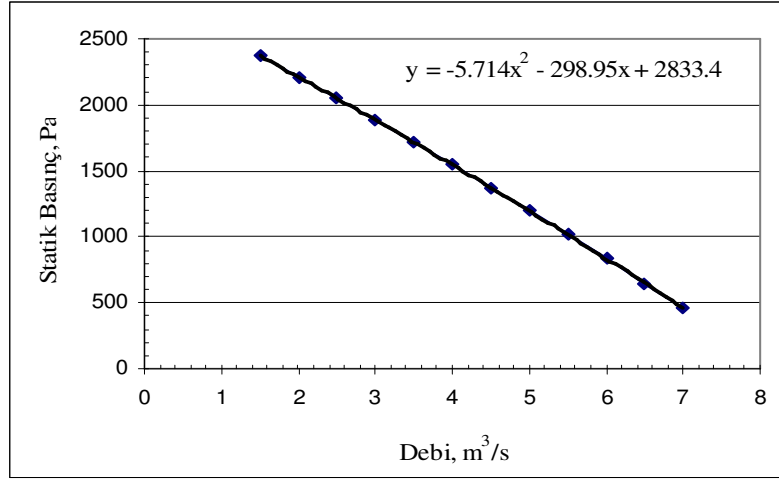


Şekil 3.4. Engart tipi tali vantilatör genel görünümü

Çizelge 3.2 : Engart tipi tali vantilatörün boyutları

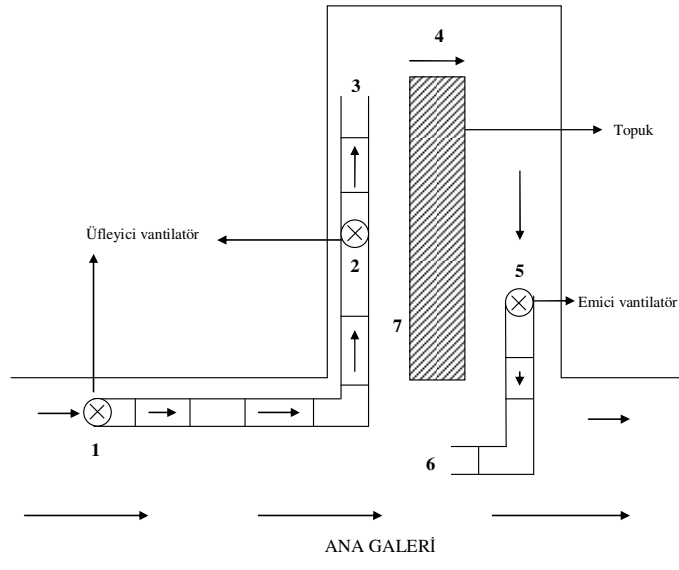
Vant. Türü	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	Vant. Ağ.	Motor Çeşidi
B20	508	618	1372	6	620	12	12	556	518	50	375 kg	E132S 7.5kW 2850 devirde
B40	610	720	1524	6	817	12	12	657	620	50	491 kg	E160L 18.5kW 2850 devirde
B70	762	872	1715	10	969	16	12	810	772	60	633 kg	E200L 37kW 2850 devirde
B100	762	872	1715	10	969	16	12	810	772	60	848 kg	E200L 58kW 2850 devirde

İşletmede kullanılan B40 vantilatörüne ait debi-basınç eğrisi ve bu vantilatöre ait ikinci derece denklem Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. B40 tipi vantilatörün karakteristik eğrisi

M5 panosunun farklı noktalarında hava hızı (m/s), kesit alanı (m²), hava miktarı (m³/dk) ölçümleri yapılmış, ölçüm yapılan noktalar Şekil 3.6'da, bu noktalardeki değerler Çizelge 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.6. M5 Panosunda ölçüm yapılan noktalar

Çizelge 3.3. M5 Panosundaki ölçüm değerleri

NO	Hava Hızı (m / s)	Kesit Alanı (m ²)	Hava Miktarı (m ³ /s)
1	9.90	0.38465	3.8
2	7.54	0.38465	2.9
3	13.76	0.2826	3.88
4	0.20	12	2.4
5	5.70	0.38465	2.19
6	2.94	0.2826	0.83
7	0.26	12	3.12

Çizelge 3.3'deki hava miktarları, hava hızı değerleri ve hava yolu (vantüp) değerleri çarpılarak elde edilmiştir. Hava hızı değerleri anemometre ile sürekli dolaşımli okuma yöntemi kullanılarak ölçülmüştür.

3.2. M5 Panosu Tali Havalandırma Sisteminin Tasarımı

Tali havalandırma hesaplamalarında kullanılan yöntem oldukça uzun ve karmaşık hesaplamaları gerektirdiğinden bu tür tasarımların konu üzerine yazılmış paket programlar ile yapılması oldukça büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu amaçla kaçak yolları ve boru hattını seri-paralel bağlı devreler olarak kabul eden yaklaşım üzerine dayanan ve daha önceden geliştirilmiş olan bir paket program (Önder, 1996) Ömerler M5 panosunun tali havalandırma sisteminin tasarımına yardımcı olmak amacıyla kullanılmıştır. Tasarıma toplam 534 m uzunluğa sahip olan ve Şekil 3.6'da 1-2 numaralı vantilatörler olarak gösterilen kısım kullanılarak başlanmış ve programda kullanılan veriler aşağıda verilmiştir.

Vantüp çapı : 0.6 m

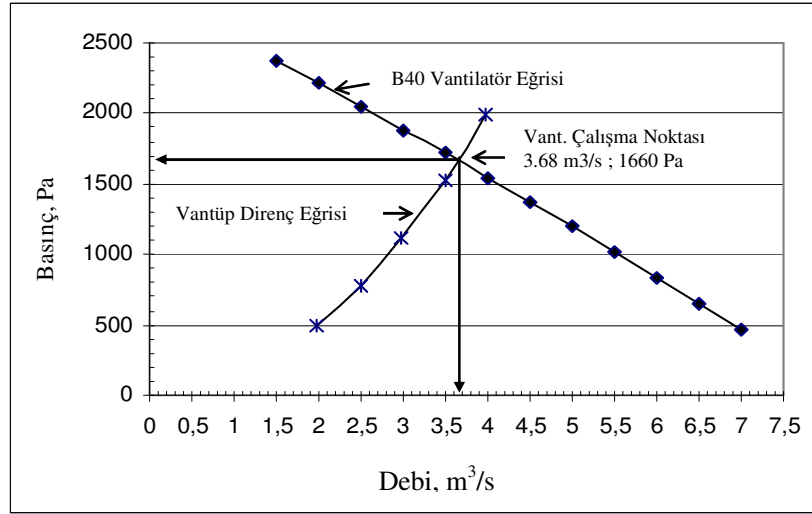
Vantüp bölüm uzunluğu : 15 m

Boru hattının uzunluğu : 534 m

Boru hattının sürtünme katsayısı : 0.0037 Ns²/m⁴ (Mc Pherson, 1993)

Kaçak yolları direnç katsayısı : 26900 Ns²/m⁸

Kaçak yollarının direnç katsayısı Çizelge 2.2'den orta kalitede kabul edilerek seçilmiş olup, tasarım esnasında değiştirilerek daha kesin değer elde edilmesi de mümkün olmaktadır. 534 m uzunluğundaki hattın eşdeğer direnci boru hattı ve kaçak yollarını seri-paralel bağlı devreler olarak kabul ederek değerlendirildiğinde $124.28 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.5'te verilen B40 vantilatör karakteristik eğrisi ile vantüp direnç eğrisinin kesişim noktası vantilatörün çalışma noktasını verir. Bu amaçla Şekil 3.7'de verilen grafik oluşturulmuş ve B40 vantilatörünün çalışma noktası bulunmuştur. Bu hesaplama benzer şekilde vantilatör denkleminin $y = -5.714x^2 - 298.95x + 2833.4$ ile vantüp direnci olan $124.28 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$ 'in matematiksel olarak eşitlenmesi ile de bulunabilir.



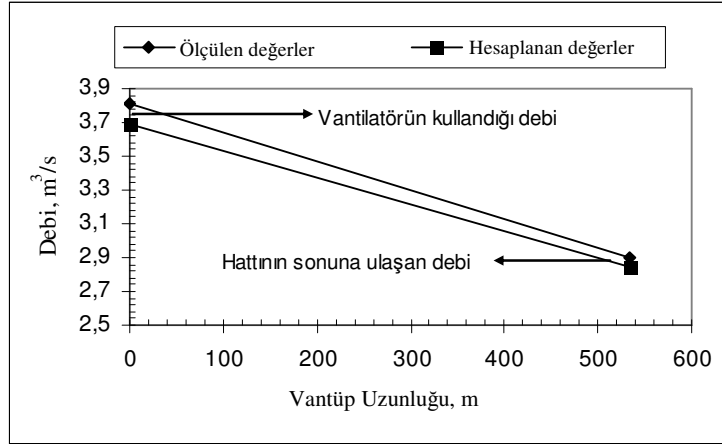
Şekil 3.7. Vantilatör çalışma noktası

Şekil 3.7 incelendiğinde vantilatörün $3.68 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bir debiyi 1660 Pa 'lık basınçla iletmeye çalıştığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu şartlar altında 534 m 'lik mesafe boyunca yani 2. noktadaki vantilatöre kadar olan vantüp hattı boyunca oluşabilecek koşulların tasarlanması ve hat sonuna ulaşacak debinin belirlenmesi gerekmektedir. 534 m 'lik hattın sonuna ulaşan debi paket program yardımı ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Tali havalandırma sistemi için program tarafından üretilen tasarım sonuçları

Tasarım parametresi	Sonuç
Vantüp uzunluğu(m)	534
Vantilatör tarafından kullanılan debi(m^3/s)	3.658
Vantilatörün çalışma basıncı (Pa)	1663.311
Vantüp hattı sonuna ulaşan debi(m^3/s)	2.84
Debi artış oranı	1.288
Kaçaksız vantüp için basınç düşüşü(Pa)	1328.512
Basınç artış oranı	1.252
Eşdeğer direnç (Ns^2/m^8)	124.284
Vantüp etkinliği(%)	61.996

Yerinde yapılan ölçümlere göre vantilatör $3.8 m^3/s$ debi kullanıp $2.9 m^3/s$ ulaştırmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre de vantilatör $3.658 m^3/s$ 'lik debiyi $2.84 m^3/s$ olarak ulaştırabilmektedir. Ölçülen ve hesaplanan debi değerleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Vantüp hattı boyunca ölçülen ve hesaplanan değerler

Şekil 3.8'den ölçülen ve hesaplanan değerlerin oldukça yakın olduğu görülmektedir. Böylece tasarım parametrelerinin bundan sonraki tasarımlarda da

kullanılabileceği yani kaçak yollarının direnç katsayısı gibi kesinliği az olan bir değerin 26900 Ns^2/m^8 olarak kabul edilebileceği söylenebilir.

Arında gerekli debi 2.4 m^3/s olarak belirlenmiş ve B40 tipli vantilatörün kullanılabileceği maksimum vantüp hattı uzunluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla arında gerekli debi hariç diğer tasarım parametreleri benzer şekilde alınmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Arında gerekli debiye göre program tarafından üretilen tasarım sonuçları

Tasarım parametresi	Sonuç
Vantüp uzunluğu(m)	694.35
Vantilatör tarafından kullanılan debi(m^3/s)	3.465
Vantilatörün çalışma basıncı (Pa)	1728.848
Vantüp hattı sonuna ulaşan debi(m^3/s)	2.403
Debi artış oranı	1.442
Kaçaksız vantüp için basınç düşüşü(Pa)	1237.509
Basınç artış oranı	1.397
Eşdeğer direnç (Ns^2/m^8)	143.967
Vantüp etkinliği(%)	49.644

Elde edilen tasarım sonuçlarına göre B40 tipli vantilatörün arında gerekli debiyi sağlayabileceği maksimum vantüp hattı uzunluğu 694.35 m olarak belirlenmiştir. Vantilatörün galeri arınına uzaklığı 632 m olarak ölçüldüğünden yapılan tasarıma göre M5 panosunun galeri arınının havalandırılmasında 2. tali vantilatöre gerek olmadığı söylenebilir.

3.3. Tali Havalandırma Sisteminde Etkili Faktörlerin Araştırılması

Bir tali havalandırma sistemindeki ilk yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmek için galeri arınına ulaştırılan debi üzerinde etkili olan faktörlerin incelenmesi gerekir.

Bu faktörler;

- Vantüp çapı,
- Sürtünme katsayısı,
- Kaçak yollarının direnç katsayısı,
- Vantüp uzunluğu,
- Vantüp hattına giren debi (vantilatörün kullandığı debi) olarak verilebilir.

Bu koşullar altında hangi faktörün daha önemli olduğunun belirlenmesi istenen debi miktarının kolaylıkla ulaştırılabilmesinde oldukça öneme sahip olacaktır. Tali havalandırma sistemine etki eden parametrelerin önem derecesini belirlemek amacıyla lineer regresyon analizi yapılmıştır. Verilen parametrelerden herhangi birinde oluşan küçük bir değişiklik arına ulaşan debi üzerinde büyük bir değişime neden oluyorsa bu parametrenin oldukça duyarlı olduğu söylenebilir. Yapılan analizde aşağıda verilen adımlar sırasıyla uygulanmıştır.

1. Test edilecek parametrelerin seçimi (yukarıda bahsedilen parametreler).
2. Her bir parametre için test sınırlarının belirlenmesi (-%50 ve %50 arasında %10'luk artışlarla).
3. Seçilen her bir parametre için (Çizelge 3.6-3.7) hesaplamaların tekrarı.
4. En duyarlı parametrenin belirlenmesi.

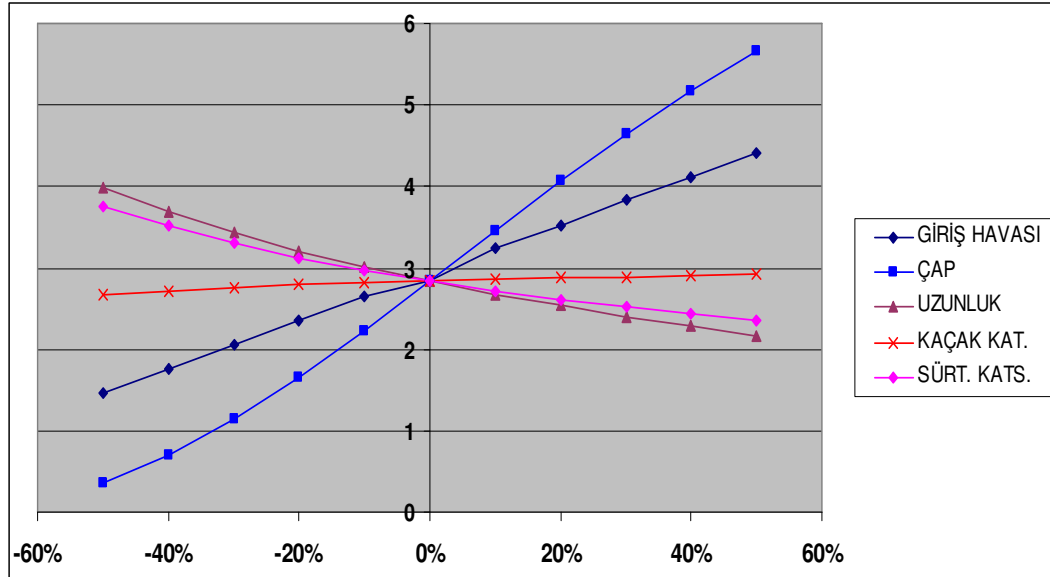
Çizelge 3.6. Lineer regresyon analizinde kullanılan parametrelerin sınırları

Parametreler	Test sınırları
Vantilatörün kullandığı debi (m ³ /s)	1.9-5.7
Vantüp çapı (m)	0.3-0.9
Vantüp uzunluğu (m)	267-801
Kaçak yolları direnç katsayısı (Ns ² /m ⁸)	13450-40350
Sürtünme katsayısı (kg/m ³)	0.00185-0.00555

Çizelge 3.7. Lineer regresyon analizinde kullanılan parametrelerin değişiminin debi üzerinde duyarlılığı

% Değişim	Giriş havası	Çap	Uzunluk	Kaçak kat.	Sürt. kats.
50%	4,41	5,652	2,167	2,917	2,362
40%	4,12	5,181	2,282	2,905	2,439
30%	3,83	4,651	2,404	2,891	2,524
20%	3,53	4,073	2,537	2,876	2,618
10%	3,24	3,462	2,681	2,859	2,723
0	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84
-10%	2,65	2,229	3,015	2,817	2,972
-20%	2,36	1,655	3,21	2,791	3,124
-30%	2,06	1,14	3,433	2,76	3,3
-40%	1,77	0,703	3,688	2,721	3,509
-50%	1,47	0,363	3,988	2,673	3,762

Çizelge 3.7’de verilen değerler kullanılarak Şekil 3.9 çizilmiş ve tasarım üzerinde etkisi en fazla olan parametreler araştırılmıştır. Şekil 3.9’da verilen her bir parametreye ait denklem Çizelge 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.9. Arına ulaşan debi üzerinde parametrelerin değişim etkisi

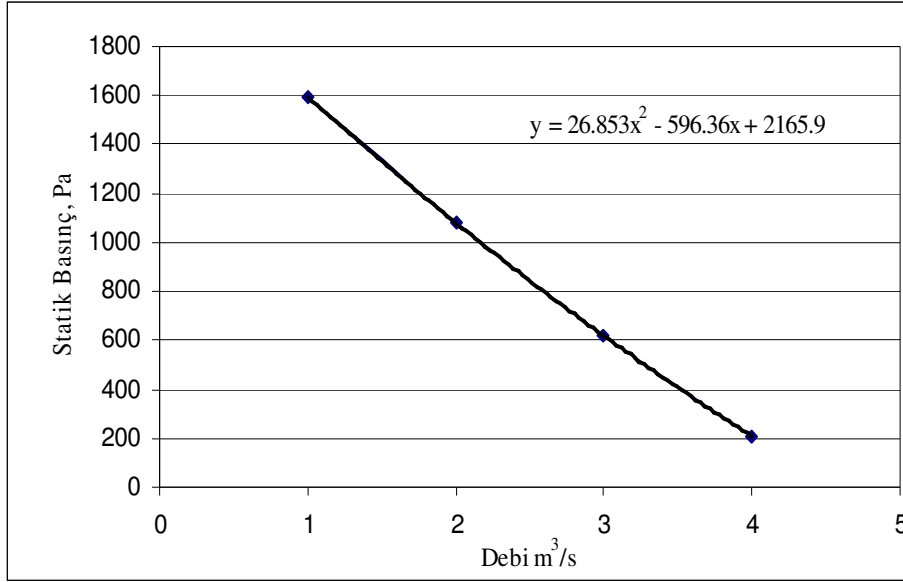
Çizelge 3.8. Arına ulaşan debi üzerinde etkili parametrelerin denklemleri

Parametre	Denklem
Çap	$y = 5.541x + 2.9045$
Giriş Havası	$y = 2.94x + 2.9345$
Uzunluk	$y = -1.7724x + 2.9314$
Sürtünme Katsayısı	$y = -1.3517x + 2.9248$
Kaçak Katsayısı	$y = 0.2328x + 2.8227$

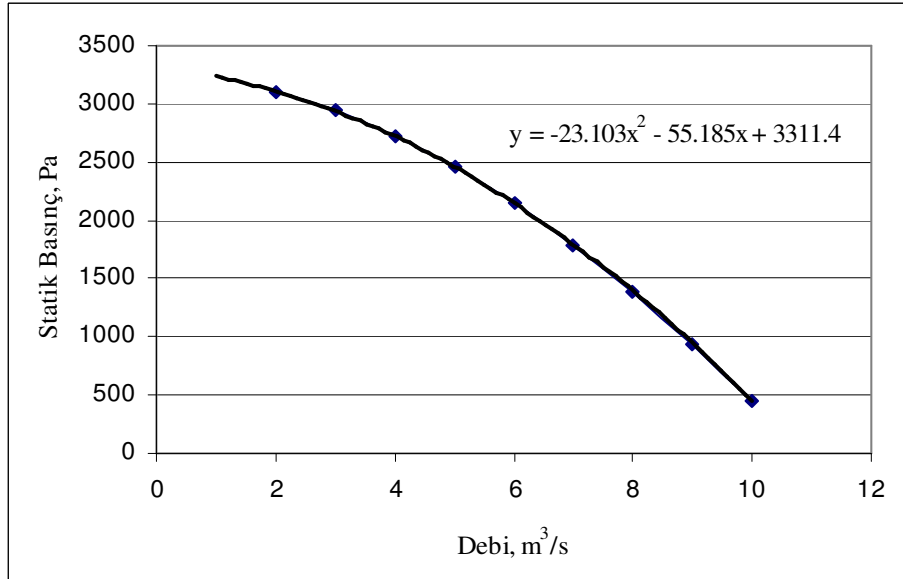
Şekil 3.9'dan ve Çizelge 3.8'den de görüldüğü gibi arına ulaşan debi üzerinde etkisi en fazla olan parametrenin vantüp çapı olduğu söylenebilir. Daha sonra da sırasıyla giriş havası (vantilatörün kullandığı debi), uzunluk, sürtünme katsayısı ve kaçak yollarının direnç katsayısı verilebilir.

Çizelge 3.8.'de verilen denklemlerde x 'in önünde bulunan katsayı değerinin büyük olması, parametrelerin duyarlılığının fazla olması, etkinliğinin fazla olması anlamına gelmektedir. Uzunluk ve sürtünme katsayısının önündeki negatif işaretin anlamı, bu parametrelerin debi üzerinde ters etki yarattığı anlamını taşımaktadır. Yani uzunluk ve sürtünme katsayısının artması arındaki debi miktarının azalmasına neden olmaktadır.

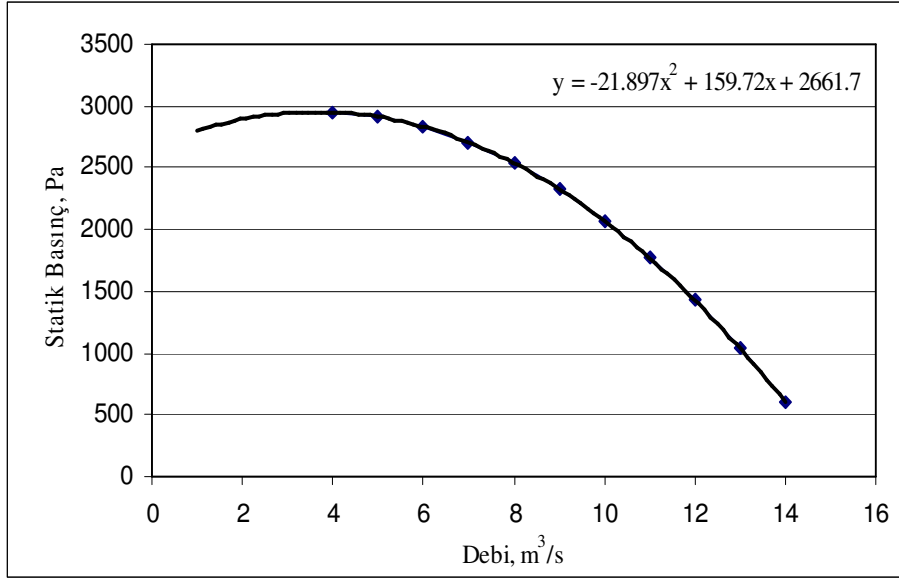
Farklı vantilatör tiplerinin galeri arına ulaşan debi üzerine etkilerini incelemek amacıyla B20, B70 ve B100 kodlu vantilatörler seçilmiş ve karakteristik eğrileri sırasıyla Şekil 3.10,11 ve 12'de verilmiştir.



Şekil 3.10. B20 kodlu vantilatörün karakteristik eğrisi

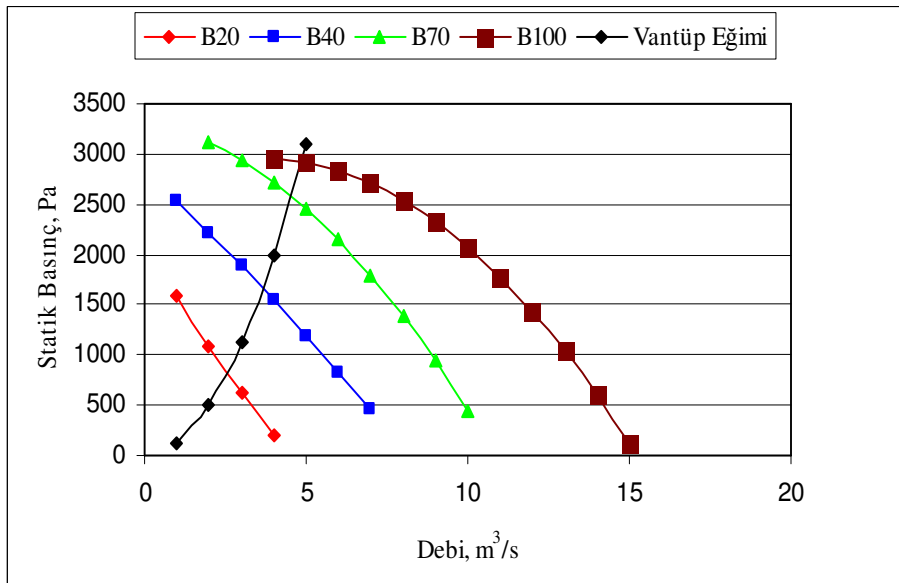


Şekil 3.11. B70 kodlu vantilatörün karakteristik eğrisi

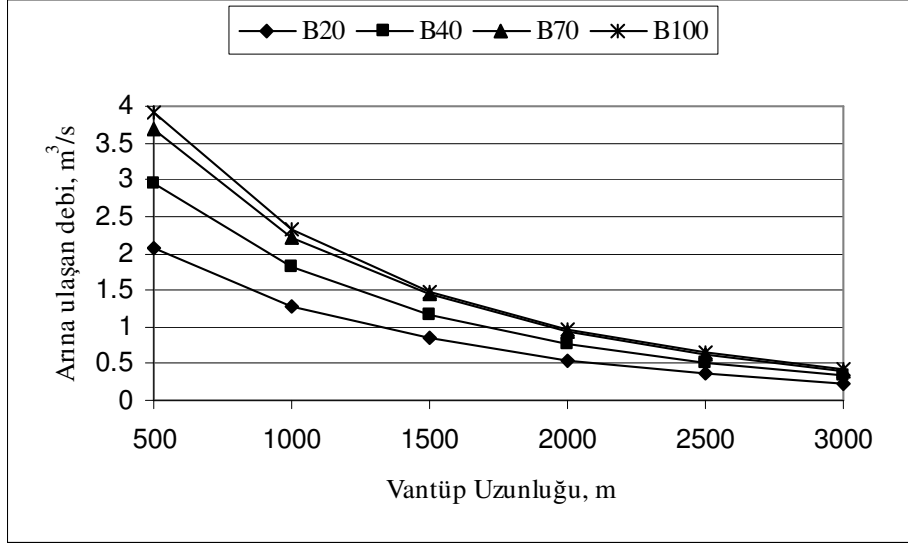


Şekil 3.12. B100 kodlu vantilatörün karakteristik eğrisi

İncelenen vantilatörler vantüp direnç eğrisi ile kesiştirilerek çalışma koşulları incelenmiş ve elde edilen grafikler Şekil 3.13 ve 3.14'te verilmiştir.

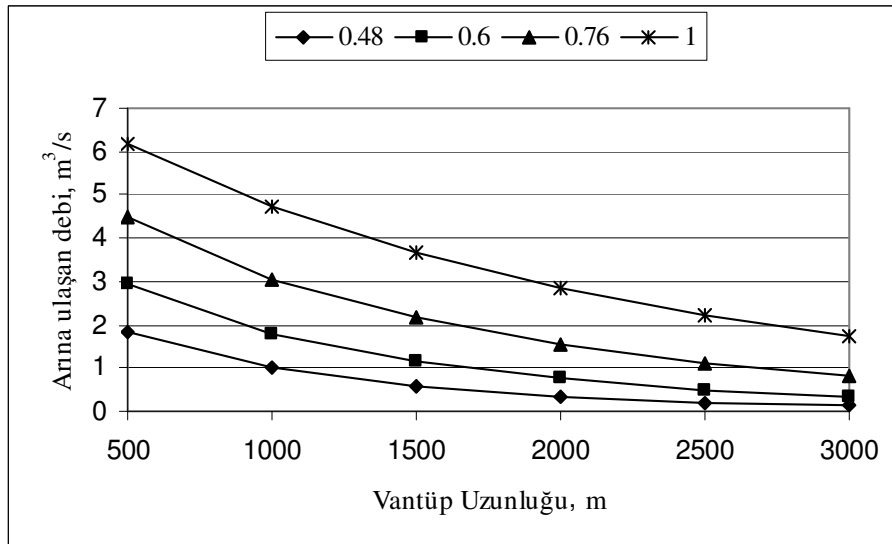


Şekil 3.13. Vantilatörlerin karakteristik eğrileri ve hatta uygulaması



Şekil 3.14. Arına ulaşan debi üzerinde farklı vantilatörlerin etkisi

Şekil 3.14 incelendiğinde vantüp uzunluğu arttıkça hava kaçaklarından dolayı galeri arınma ulaşan debi değerleri hemen hemen aynı olmaktadır. Dolayısıyla göz önüne alınan vantilatörlerle uzun bir tali havalandırma sisteminin tasarımında vantilatör seçiminin önemi çok fazla olmayacaktır. Ancak kısa mesafelerde vantilatör seçiminin önemi oldukça belirgin şekilde gözükmektedir. Benzer şekilde farklı vantüp çapları için galeri arınma ulaşan debi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Arına ulaşan debi üzerinde farklı vantüp çaplarının etkisi

Şekil 3.15 incelendiğinde de artan vantüp çapı ile birlikte galeri arınına ulaşan debi miktarı artmaktadır. Bununla beraber artan uzunlukla birlikte hava kaçaklarından dolayı debinin belirgin ölçüde azaldığı görülmektedir. Vantüp hattının uzunluğu arttıkça hem farklı vantilatör tiplerinde hem de farklı çaplarda debi miktarlarında azalmalar olmuştur. Ancak benzer kalitede oluşturulmuş farklı çaplı vantüplerde, vantüp çapı arttıkça arına ulaşan debinin artacağı beklenebilir.

4. GALERİ ARININA ULAŞAN DEBİYİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Uzun tali havalandırma sistemlerinin galeri arınına ulaşan hava miktarını etkileyen faktörler vantüp çapı, sürtünme katsayısı, kaçak yollarının direnç katsayısı, vantüp uzunluğu ve vantüp hattına giren debi (vantilatörün kullandığı debi) olarak verilebilir. Bu faktörler bağımsız değişkenler (X) olarak tanımlandığında, galeri arınına ulaşan debi bağımlı değişken (Y) olmaktadır.

Bu bölümde arına ulaşan debiye etki eden önemli faktörlerin belirlenmesi ve yeni durumların miktarını belirlemesi amacıyla bir doğrusal regresyon modeli kurulmuştur. Doğrusal regresyon modelleri basit doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon olmak üzere ikiye ayrılır. Değişmelerin bir değişken tarafından açıklanması durumu basit regresyon olarak tanımlanırken, basit doğrusal regresyon modelinin bağımlı değişkenini etkileyecek, bağımlı değişkendeki değişmelerin nedeni olabilecek değişkenlerin eklenmesi ile oluşturulan modellere çoklu regresyon modeli denir. Çoklu regresyon modeli de basit regresyon modeli gibi, doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyonlarla ifade edilebilir. Değişkenler arasında doğrusal ilişki olduğu varsayımı ile doğrusal fonksiyonlarla ifade edilen çoklu regresyon modellerine çoklu doğrusal regresyon modelleri adı verilir (Güriş ve Çağlayan, 2000).

4.1. Doğrusal Regresyon Modeli

Regresyon analizi birden çok değişken ve bunlar arasındaki bağıntıların incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Üzerinde durulan değişkenlerden bağımlı değişken y, bağımsız değişken x ise, $y=f(x)$ şeklindeki fonksiyona regresyon denir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (Erdem,2006).

$$y= \beta_0+ \beta_1x+ \varepsilon \dots\dots\dots(4.1)$$

Burada,

β_0 : Doğrunun y-eksenini kestiği yer,

β_1 : Doğrunun eğimi,

ε : Hata değeridir.

β_0 ve β_1 değerleri tüm popülasyon verileri kullanılarak hesaplanan teorik değerlerdir. Ancak yine de dikkate alınmayan bağımsız değişkenler olabileceğinden, verilerin rassal (şansa bağlı) değişimlerini gösteren hata değeri ε modele eklenmiştir. Gerçek uygulamalarda β_0 ve β_1 değerleri bilinmiyorsa, popülasyondan örnekler alınarak bunların tahmini değerleri olan b_0 ve b_1 kullanılır (Erdem,2006).

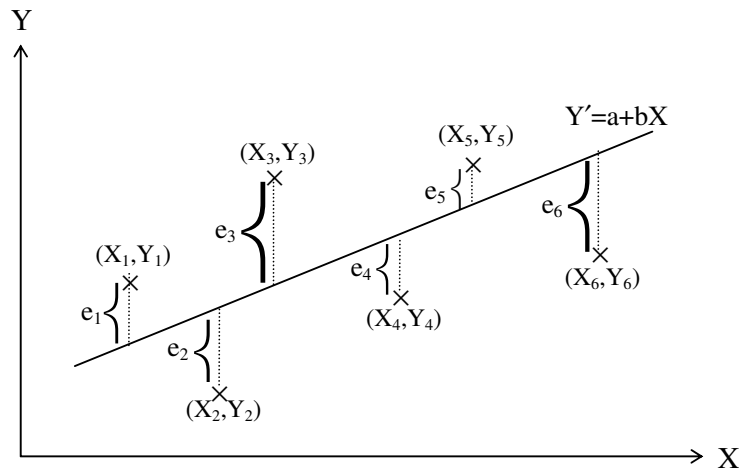
$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \dots\dots\dots (4.2)$$

\hat{y} : y 'nin tahmini değeri.

4.2 Parametre Tahmini

Parametre tahmini yaygın olarak en küçük kareler metodu (Least Squares Method) kullanılarak yapılır. Burada esas, dağılım diyagramında görülen tüm noktalar için doğruya uzaklıklarının bulunması, bunların toplamının minimize edilmesi ve böylece gözlem değerleri arasında en küçük hatayla geçecek regresyon denkleminin bulunmasını sağlamaktadır.

Bağımlı (y) ve bağımsız (x) değişkenlere ait gözlem değerleri arasında regresyon doğrusu geçirildiğinde, regresyon doğrusu ile gözlem noktaları arası farkların toplamı sıfır olur ve Şekil 4.1'de verildiği gibi gösterilebilir.



Şekil 4.1. Regresyon doğrusu ile gözlem değerleri arası farklar (Konuk ve Önder, 1999).

En küçük kareler yöntemi, regresyon doğrusu ile gözlem noktaları arası farklardan oluşan tahmin hataları kareleri toplamını en küçükleyen (minimize eden) bir yöntemdir (Güriş ve Çağlayan, 2000).

4.3 b_0 ve b_1 'in anlamı

b_0 , $x = 0$ olduğu durumda bağımlı değişkenin tahmini değeridir. b_1 değeri regresyon katsayısıdır ve x 'deki artışa karşılık y 'deki değişim miktarını gösterir. b_1 'in pozitif olması, bağımsız değişken x 'in arttığında y 'nin artacağını gösterir (pozitif doğrusal ilişki). Aynı zamanda b_1 'in negatif olması, bağımsız değişken x 'in arttığında y 'nin azalacağını gösterir (negatif doğrusal ilişki). b_1 değerinin sıfıra çok yakın olması, bağımlı değişken y 'nin bağımsız değişken x 'deki değişimlerden etkilenmediğini gösterir (Erdem,2006).

4.4. Belirlilik katsayısı

Bağımsız değişken x 'in regresyon modeli ile bağımlı değişken y 'yi ne kadar açıklayabildiğini görmek için bir ölçüt olan belirlilik katsayısı (R^2) kullanılır. Buradaki yöntem şudur:

- 1) Eğer regresyon modeli olmasaydı, verilen her bağımsız x değeri için tahmini y değeri, $\hat{y} = \bar{y}$ olacaktır. Bu durumda hata karelerinin toplamı, SST (total sum of squares) aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots (4.3)$$

- 2) Regresyon modeli $y' = \beta_0 + \beta_1 x$. Kullanıldığında ise hata kareleri toplamı, SSE (sum of squares due to error) olacaktır.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

3) Aradaki fark $SSR = SST - SSE$,hata kareleri toplamının regresyon modeli kullanılması sonucu açıklanabilen miktarını gösterir. Yani SSR ne kadar büyükse regresyon modeli o kadar açıklayıcı ve anlamlıdır.

Regresyon modelinin performansı R^2 , karar katsayısı ile ölçülür (Erdem,2006);

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}, \quad 0 \leq R^2 \leq 1 \dots\dots\dots (4.5)$$

R^2 'nin 1'e yaklaşması, bağımlı değişkendeki değişmelerin bağımsız değişken tarafından iyi açıklandığını ortaya koyar. Bu nedenle, büyük R^2 değerlerinin elde edilmesi istenir (Gürüş ve Çağlayan, 2000).

Katsayıların anlamlılığının incelenmesi için yaygın olarak t-testi kullanılmaktadır. t-testi için biri temel diğeri alternatif hipotez olmak üzere iki hipotez kurulur ve sonuçta biri kabul diğeri reddedilir. Temel hipotez H_0 ile ifade edilir ve bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken y arasında belirgin nitelikte bir ilişki olduğunu gösterir. Yani bağımsız değişkenler, bağımlı değişkeni etkileyen faktörlerdir. Alternatif hipotez ise H_1 ile gösterilir ve temel hipotezin geçerli olmadığını yani bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklayamadığını ifade eder. Hipotezler aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

Yukarıdaki hipotezi test etmek için t-testi kullanılır. Belirli bir güven seviyesi için t tablosundan elde edilen değer, hesaplanan kritik değer ile karşılaştırılır. Eğer tablo değeri, hesaplanan değerden büyükse H_0 hipotezi kabul edilir aksi halde reddedilir.

4.5. Çoklu Regresyon

Bağımsız değişken sayısının birden fazla olduğu regresyon modellerine çoklu regresyon modelleri denir ve aşağıdaki denklem ile tanımlanır (Montgomery and Runger, 1999).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon, \quad k=1,2,\dots \quad (4.6)$$

Burada,

y : Bağımlı değişken,

x : Bağımsız değişken,

β : Regresyon modeli parametreleri,

ε : Hata terimi olarak ifade edilir.

Basit regresyon modellerinde geçerli olan tüm kavramlar, çoklu regresyon modellerinde de geçerlidir. Yalnız, çoklu regresyon modelinin belirleyiciliğini test etmek için *t-test* yerine *F-testi* kullanılır. Kurulan hipotezler aşağıda verildiği gibidir.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$H_a : \beta_i$ değerlerinden en az biri 0 değil.

4.6. SPSS kullanılarak varyans analizinin yapılması

SPSS kullanıldığında Varyans analizinin tüm bulguları bir ANOVA tablosunda özetlenir. Bu tabloda F-değerine karşılık gelen p-değeri de belirtilir ve bu değer α ile karşılaştırılarak karar verilir. Örnek bir ANOVA tablosu görünümü Şekil 4.2'de verilmiştir.

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Karelerin ortalaması	F	P - Değeri
Regresyon	SSR	k	$\frac{SSR}{k} = MSR$	$\frac{MSR}{MSE}$	
Hata(Residual)	SSE	n-k-1	MSE		
Toplam	SST	n-1			

Şekil 4.2. ANOVA tablosunun genel görünümü

4.7. Verilerin Analizi

TTK Müesseseleri'nde kullanılan bazı tali vantilatör tipleriyle ilgili bilgiler ve bu vantilatörlerin çeşitli vantüp çapları için farklı uzunluklardaki mesafelere gönderdikleri debi miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Vantilatör seçim tablosu

Pervane tipleri	Ağız çapı, mm	Ağırlığı	Max. Mm ss.	Giriş havası max m ³ /dk	Vantüp Çapı mm	200 m sonundaki debi	400 m sonundaki	600 m sonundaki	800 m sonundaki	1000 m sonundaki	1200 m sonundaki	1400 m sonundaki
						,m ³ /dk	debi,m ³ /dk	debi,m ³ /dk	debi,m ³ /dk	debi,m ³ /dk	debi,m ³ /dk	debi,m ³ /dk
6 KW KOREFMAN	600	400 Kg	200	250	600	184	144	116	96	80	66	56
					400	100	74	54	50	42	36	32
10 HP ENGART	600	500 Kg	280	300	600	204	156	126	106	90	80	66
					400	110	84	64	54	44	38	34
10 HP AEREX	600	400 Kg	124	340	600	184	128	102	86	74	66	60
					400	90	60	44	34	26	20	16
10 HP JOY	450	300 Kg	210	170	600	142	120	100	84	70	56	44
					400	89	68	54	46	42	40	36
2X4,5 KW KORFMAN	500	500 Kg	320	320	600	240	190	150	124	106	94	86
					400	130	100	74	56	44	36	28
15 HP ENGART	600	600 Kg	300	330	600	214	170	138	114	96	84	74
					400	122	84	66	56	48	42	38
25 HP ENGART	600	730 Kg	340	360	600	240	186	150	124	106	94	80
					400	126	90	70	62	54	48	44
30 HP ENGART	600	800 Kg	360	400	600	252	192	152	126	108	94	84
					400	146	112	92	74	64	56	50
40 HP JOY	600	800 Kg	530	447	600	310	244	194	160	136	118	104
					400	164	130	108	88	76	68	64
MAZ Ø 400 B. HAVALI PERVANE	600	50 Kg	90	180	600	120	92	74	44	54	48	42
					400	66	48	36	30	24	16	10

TTK yer altı ocaklarında sürülen tali galerilerin havalandırılmasında kullanılan vantilatörlerin 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, 1000 m, 1200 m ve 1400 m'lik mesafelerin sonlarına gönderdikleri debi miktarları işletme personeli tarafından vantilatör seçimine kolaylık sağlaması amacıyla hazırlanmıştır. Bu bilgiler işletmelerde çeşitli koşullar altında denenmiş ve geçerlilikleri kanıtlanmıştır. Çizelge 4.1'de 10 farklı vantilatör tipi, 7 farklı uzunluk ve 2 farklı çap için galeri arınına ulaşan debi miktarları verilmiştir. Bu veriler SPSS paket programı yardımıyla çoklu doğrusal regresyon modeli ile değerlendirilmiştir. Kurulan modelde arına ulaşan debi bağımlı değişken olarak alınmış, bağımsız değişkenler olarak da giriş havası, çap, uzunluk, kaçak yollarının direnç katsayısı ve sürtünme katsayısı seçilmiştir. SPSS paket programından elde edilen sonuçlar sırasıyla aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 4.3 bağımlı değişken olarak "DEBI"nin alındığını, sürtünme katsayısı (SÜRT. KAT.) değerinin de modele dahil edilmediğini göstermektedir.

Warnings

For models with dependent variable DEBI, the following variables are constants or have missing correlations: SÜRT.KAT. They will be deleted from the analysis.

Şekil 4.3. SPSS model uyarı penceresi

Modele katılan değişkenler Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Buradan modele çap, giriş havası ve uzunluğun dahil edildiği anlaşılmaktadır.

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	ÇAP, GİRİŞHAV _a , UZUNLUK	.	Enter

a. Tolerance = .000 limits reached.

b. Dependent Variable: DEBI

Şekil 4.4. Modele katılan bağımlı değişkenler

Şekil 4.5'te modelin özet bilgileri verilmektedir. R^2 ile gösterilen belirlilik katsayısı olup, çoklu regresyon denkleminin gözlenen değerleri ne derece açıklayıp açıklamadığını anlamada kullanılır. Belirlilik katsayısı R^2 'nin 0,5 olması regresyon denkleminin gözlenen değerlerin %50'sine uyduğunu açıklar. R^2 'nin değeri 1,0'a yaklaştıkça belirlilik artar ve değişkenler arası ilişki güçlenir, 0'a yaklaştıkça ise belirsizlik artar ve değişkenler arası ilişki zayıflar (Konuk ve Önder, 1999).

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.914 ^a	.835	.831	22.538

a. Predictors: (Constant), ÇAP, GİRİŞHAV, UZUNLUK

Şekil 4.5. SPSS model özeti

Şekil 4.5'den de görüldüğü gibi bağımlı değişken (debi), bağımsız değişkenler çap, giriş havası ve uzunluk değerleri kullanılarak incelendiğinde R^2 değeri 0.835 (% 83.5) olarak bulunmuştur. Belirlilik katsayısı $R^2 > 0,5$ olduğundan, değişkenler arasında güçlü ve anlamlı bir ilişki var olduğu söylenebilir.

Şekil 4.6'da varyans analizi için kullanılan tablo ve F değeri verilmiştir.

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	349399.7	3	116466.553	229.276	.000 ^a
	Residual	69084.592	136	507.975		
	Total	418484.2	139			

a. Predictors: (Constant), ÇAP, GİRİŞHAV, UZUNLUK

b. Dependent Variable: DEBI

Şekil 4.6. SPSS varyans analizi tablosu

Kurulan modelin test edilmesinde aşağıdaki koşullar aranır.

$$F > F_{\alpha, k, (n-k-1)}$$

⇒ Ho hipotezi reddedilir.

$$F \text{ değerine karşılık gelen } p \text{ değeri} < \alpha$$

⇒ Ho hipotezi reddedilir.

ANOVA tablosunda p değeri $p < 0.05$ olması istenir. p değeri < 0.05 ise H_0 hipotezi reddedilir. Bu da, bağımsız değişkelerle bağımlı değişken arasında belirgin nitelikte bir ilişki olduğunu gösterir. Diğer bir anlatımla hesaplanan F değeri (229.276) tablo değerinden (3.78) büyük olduğundan H_0 hipotezi reddedilir, yani bağımsız değişkenler, bağımlı değişkeni etkileyen faktörlerdir şeklinde açıklanabilir.

Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi veren katsayılar Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-62.443	12.565		-4.969	.000
	UZUNLUK	-8.64E-02	.005	-.632	-18.147	.000
	GİRİŞHAV	.253	.023	.390	11.191	.000
	ÇAP	290.929	19.048	.532	15.273	.000

a. Dependent Variable: DEBI

Şekil 4.7. SPSS katsayılar tablosu

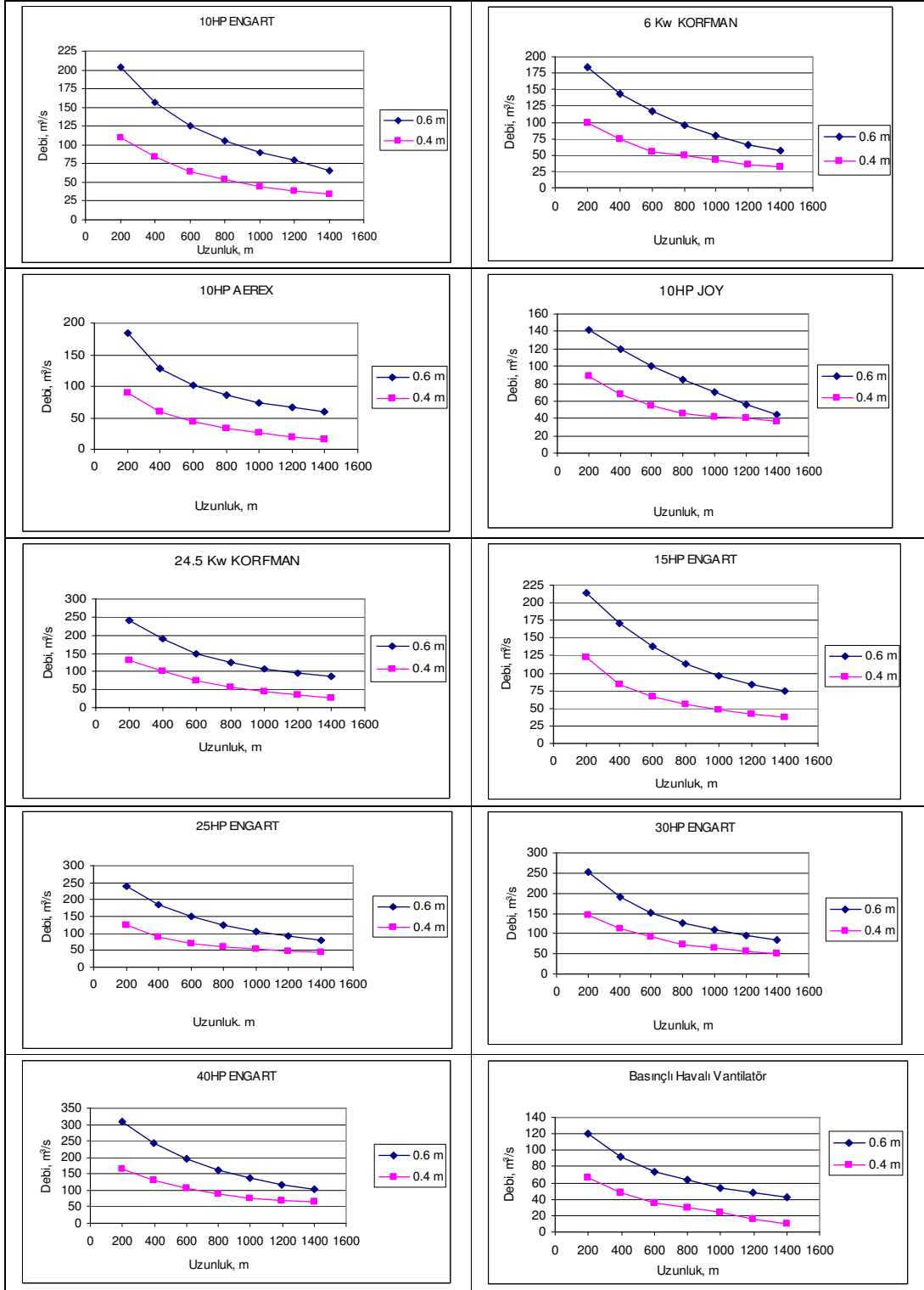
Yapılan çoklu regresyon analizine göre % 95 güven seviyesinde arına ulaşan debi aşağıdaki regresyon denklemi ile belirlenebilir.

$$y = - 62.443 - 0.086 * \text{Uzunluk} + 0.253 * \text{Giriş Havası} + 290.929 * \text{Çap} \dots \dots \dots (4.7)$$

Debi üzerine en fazla etki eden bağımsız değişken 4.7 denkleminde de görüldüğü gibi çap olarak kabul edilebilir. Bu değerlerden Diğer etkili parametreler giriş havası ve uzunluk olarak sıralanabilir.

TTK işletmesinde kullanılan farklı tipteki vantilatörlerin vantüp çapı ve uzunluğa göre arına ulaşan debi üzerindeki etkileri sırasıyla Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Şekil 4.8’den, uzunluk arttıkça arına ulaşan debinin azaldığı, vantüp çapının ise arına ulaşan debi üzerinde artırıcı etki yaptığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Farklı vantilatörlerin çap ve uzunluğa göre debi üzerindeki etkileri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tali havalandırma tasarımında etkili faktörlerin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Çalışma için gerekli veriler G.L.İ. Tunçbilek Ömerler M5 Panosundan toplanmış ve daha önceden geliştirilen bir bilgisayar programında değerlendirilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırılmış, sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Böylece tasarımda kullanılan verilerin oldukça güvenilir olduğu ve bundan sonraki tasarımlarda da kullanılabilceği kanıtlanmıştır. Böylece, işletmede tesis kalitesinin orta, yani kaçak yolları direnç katsayısı gibi tespit edilmesi zor bir değerin de $26900 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$ alınabileceği söylenebilir.
- Programdan elde edilen tali havalandırma tasarım sonuçlarına göre, M5 panosunda tek bir vantilatörle arında gerekli debinin sağlanabileceği bulunmuştur.
- Yapılan lineer regresyon analizine göre, arında gerekli debi üzerinde etkisi en fazla olan faktörler, vantüp çapı ve vantilatör giriş havası olarak bulunmuştur. Diğer parametreler sırasıyla vantüp uzunluğu, sürtünme katsayısı ve kaçaklı kısımların direnç katsayısı olarak belirlenmiştir.
- Vantüp uzunluğunun artması, arına ulaşan debinin azalmasına yol açmaktadır.
- Uzun bir tali havalandırma sisteminin tasarımında vantilatör seçiminin etkisi çok fazla değildir. Ancak kısa mesafelerde vantilatör seçiminin etkisi büyüktür.
- Artan vantüp çapı ile birlikte galeri arınına ulaşan debi miktarı artmaktadır. Bununla beraber artan uzunlukla birlikte hava kaçaklarından dolayı debi belirgin ölçüde azalmaktadır.
- Yapılan çalışmaya göre vantüp hattı boyunca büyük oranlarda güç kaybı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ilk yatırım ve işletme maliyetlerini azaltmak için

arına ulaşan debi üzerinde etkili olan parametrelerin incelenmesi oldukça önem taşımaktadır.

- Galeri arınlarına ulaşan debiyi hesaplamada kullanılan teorinin oldukça uzun ve karmaşık hesaplamalara sahip olmasından dolayı, daha pratik bir yaklaşımla debiyi belirleyebilmek için çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve % 83.5 belirlilik seviyesinde kullanılabilir bir regresyon denklemi geliştirilmiştir. Elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$y = - 62.443 - 0.086 * \text{Uzunluk} + 0.253 * \text{Giriş Havası} + 290.929 * \text{Çap}$$

- Çoklu doğrusal regresyon analizine göre sürtünme katsayısı ve kaçak yollarının direnç katsayısı tasarımda etkili olmayan parametreler olarak değerlendirilmiştir.

Öneriler

- Yapılan bu çalışma sonucunda tali havalandırma sistemlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerin çap, giriş havası ve uzunluk olarak kabul edilebileceği belirlenmiştir. Böylece özellikle uzun tali havalandırma hatları kullanan işletmelerin bu parametreleri dikkate alarak tasarım yapmaları daha etkili bir havalandırma sağlamalarına yardımcı olacaktır. Ayrıca çoklu doğrusal regresyon analizi ile % 83.5 belirlilik seviyesinde geliştirilen regresyon denklemi de pratik tasarımlar için havalandırma mühendislerine yardımcı olabilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Auld, G., 2002, Estimation of leakage in ventilation ducting , CIM Bulletin, Vol 95, p.69 – 74.

Auld, G., 2004, An estimation of fan performance for leakly ventilation ducts. Tunneling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, p.539 – 549.

Browning, J., 1983, An approximate method for auxiliary ventilation calculations, The Mining Engineer.

Calizaya, F. and Mousset-Jones, P., 1993. A method of designing auxiliary ventilation systems for long single underground openings. In: Proceedings of the 6th US Mine Ventilation Symposium, pp. 245–250.

Çetin, O., 1995, OAL işletmesinde mekanize galerilerde toz kontrolü, Yüksek lisans tezi

Engart Fans Limited, Hirwaun Industrial Estate, Aberdare. CF44 9 YA Mid Glomorgan, UK.

Erdem, A., 2006, Regresyon Analizi
www.mis.boun.edu.tr/erdem/ibs515/REGRESSION.doc

Güriş, S. ve Çağlayan, E., 2000, Ekonometri Temel Kavramlar, Der Yayınları

Güyagüler, T., 1991, Ocak havalandırması, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını.

Önce, G. ve Saraç, S., 1986, Madenlerde Havalandırma, Anadolu Üniversitesi Yayını.

Önder, M., 1996, Bilgisayar destekli tali havalandırma tasarımı yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Konuk. A. ve Önder, S., 1999**, Maden İstatistiği, Osmangazi Üniversitesi Yayını.
- Mc Pherson, M. J., 1993**, Supersurface Ventilation And Enviromental Engineering p.905
- Montgomery, D.C. and Runger, G.C., 1999**, Applied Statistics And Probability For Engineer, John Wiley & Sons, Inc.
- Şensögüt, C., 1994**, Klasik ve kontrollü kısa devre havalandırma ile uzun hazırlık galerilerinde toz kontrolü, Madencilik Dergisi, Cilt 33, Sayı 1.
- Vutukuri, V.S., 1983**, Air leakage in ventilation ducting and the design of auxiliary ventilation systems. Mining Engineer 143 (262), 37–43.
- Vutukuri, V.S., 1984**, Study of variable in auxiliary ventilation. Mining Industry Institution of Mining and Metallurgy Transactions Section A, p.10 – 16.
- Vutukuri, V.S., 1986**, Mine ventilation and environment, Department of Mining Engineering University of New South Wales.