DEÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
FEN ve MÜHENDİSLİK DERGİSİ
Cilt: 2 Sayı: 2 sh. 49-54 Mayıs 2000

# OCAK HAVALANDIRMA ŞEBEKE ANALİZİ İÇİN KOMBİNE BİR YÖNTEM

## *(A COMBINED METHOD FOR THE ANALYSIS OF MINE VENTILATION NETWORKS)*

**Saim SARAÇ*, Cem ŞENSÖĞÜT****

**ÖZET/*ABSTRACT***

Havanın serbest olarak dağıldığı havalandırma şebekelerinin çözümü, ocak havalandırmasında temel bir problemdir. Bu problemi çözmek için bir çok sayısal teknik kullanılmaktadır. Bu makalede, hem klasik Hardy Cross Metodu hem de kısıtsız optimizasyon tekniklerinin avantajlarını birleştiren yeni bir metod önerilmektedir. Örnek havalandırma şebekeleri üzerindeki denemeler, bu metodun havalandırma şebeke analizinde bir takım kolaylıklar sağladığını göstermektedir.

*Solving ventilation networks of natural splitting is a basic problem in mine ventilation. Several mathematical techniques are used to solve this problem. This paper proposes a new method which combines the advantages of both classical Hardy Cross method and unconstrained optimisation techniques. The trials carried out on model networks have shown that the method offers some facilities in the analysis of mine ventilation networks.*

**ANAHTAR KELİMELER/*KEYWORDS***

Havalandırma şebeke analizi, Hardy cross metodu, En hızlı iniş metodu
*Ventilation network analysis, Hardy cross method, Steepest descent method*

*Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mezitli/MERSİN
**Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Müh. Böl., Kampüs/KONYA

## 1. GİRİŞ

Ocak havalandırma şebekeleri, temel olarak serbest ve kontrollü hava dağılımına sahip şebekeler olarak iki grup altında sınıflandırılabilir. Havanın serbest olarak dağıldığı durum için, tüm hava yollarının dirençleri, vantilatör lokasyonları ve vantilatör karakteristik eğrilerine ait katsayılar bilinmelidir. Bu tip şebekeler için problem, tüm kollardaki hava miktarının tespit edilmesi şeklindedir.

Geleneksel olarak, bir ocak havalandırma şebekesi Kirşof'un akım ve voltaj kanunlarını kapsayan iteratif teknikler ile çözümlenmektedir. Bu tekniklerin en popüler olanı ise Hardy Cross Algoritması'dır. Bu algoritmayı temel alan çok sayıda bilgisayar programı geliştirilmiştir (Yalçın, 1999).

Tüm avantajlarına rağmen, Hardy Cross Metodu ve bu metodun modifiyeleri bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar belirsiz yaklaşım karakteristiklerine sahip olup, optimum çözüme yaklaşım ve çözüm süresi çok yüksek oranlarda, tüm havayolları için keyfi olarak atanan ilk hava miktarları değerlerine bağlıdır. Bu güçlükleri aşmak için ise, pek çok araştırıcı tarafından teklif edilen lineer ve lineer olmayan programlama teknikleri ile şebeke analiz metodları gibi farklı sayısal yöntemleri temel alan değişik çözüm teknikleri kullanılmaktadır (Ueng ve Wang, 1984; Wang, 1984; Bhamidipati ve Procariona, 1986).

Bu makalenin amacı, serbest hava dağılımına sahip havalandırma şebekesinin analizi için teklif edilen kombine bir metodu ve bu metodun uygulanabilirliğini irdelemektir.

## 2. SAYISAL MODEL

Havalandırma şebekelerinde, havayolları boyunca oluşan basınç düşüşlerinin toplamı, şebekedeki toplam basınç düşüşünü vermemektedir. Bununla birlikte, bir şebekedeki toplam hava gücü tüketimi, hava yollarında oluşan güç tüketimlerinin tek tek toplamına eşittir. Böylece, şebekedeki toplam hava gücü tüketimini tanımlayan matematiksel bir fonksiyon objektif fonksiyon olarak adlandırılabilir (Wang, 1984).

(B) havayolu, (N) düğüm noktası ve (F) vantilatör sayısına sahip bir şebeke için, objektif fonksiyon aşağıdaki gibidir.

$$U = \frac{1}{3}\left[\sum_{i=1}^{M} R_i \left|Q_i^3\right| + \sum_{i=M+1}^{B} R_i \left|\left(\sum_{k=1}^{M} b_{ki} Q_k\right)^3\right|\right] - \sum_{i=1}^{F}\left(A_i Q_i + \frac{1}{2} B_i Q_i^2 + \frac{1}{3} C_i Q_i^3\right) \qquad (1)$$

Burada

$R_i$ : havayolu (i)'nin direnç faktörü, $Nsn^2/m^8$

$Q_i$ : havayolu (i)'nin hava miktarı, $m^3/sn$

M : göz sayısı (M = B – N + 1)

$b_{ki}$ : temel göz matrisinin bir elemanı

$A_i$, $B_i$, $C_i$ : vantilatör (i)'ye ait katsayılar.

Bu şekliyle problem M sayıda bilinmeyen değişkene sahip kısıtsız bir minimizasyon problemi haline gelmiştir. Objektif fonksiyon için şunlar söylenebilir.

a-kısıtsız, çok değişkenli, artan ve lineer olmayan bir fonksiyondur,

b-konveks, sürekli ve ayrılabilir bir fonksiyondur,

c-sadece bir minimuma sahip bir fonksiyondur,

d-sistemde tüketilen gücün 1/3'üne eşittir, e-her bir nokta için bağımsız değişken ve gradyan vektörüne bağlı olarak ilk kısmi türevi hesaplanabilir,

f-iki kez sürekli olarak diferansiyeli alınabilen bir fonksiyondur ve buradan Hessien matrisi elde edilir.

Objektif fonksiyonda, M sayıda bağımsız değişken mevcuttur. Bu fonksiyonun minimum değerinde U'nun her bir bağımsız değişkene göre kısmi türevi sıfır olmalıdır. Eğer bu hesaplama yapılırsa, M sayıda bilinmeyenli M simültane lineer olmayan eşitlik elde edilir. Optimum noktasında bu eşitlikler sıfıra eşit olduğu için, Kirşof'un akım kanunu tatmin edilmiş olur. Diğer bir deyişle, kısmi türevlerin yeteri kadar sıfıra yakınsadığı optimum noktasındaki hava miktarlarının tespiti, objektif fonksiyonun çözümünü vermektedir.

## 3. LİNEER OLMAYAN PROGRAMLAMA TEKNİKLERİ

Yukarıda verilen objektif fonksiyonu çözmek için pek çok lineer olmayan programlama tekniği uygulanabilir. Bunların arasında, Gradyan Tekniği, kısıtsız modellerin optimizasyonu için en hızlısı olarak kabul görmektedir. Bu metodlarda, problem mevcut noktadaki objektif fonksiyonun gradyanının kullanılmasıyla çözümlenmektedir (Himmelblau, 1972).

Eğer bir f(x) fonksiyonunun sürekli olarak diferansiyeli alınabiliyorsa, bu fonksiyon herhangi bir x noktasında $\nabla f(x)$ gradyanına sahiptir. Herhangi bir x noktasındaki gradyan, elemanları o noktadaki fonksiyonun ilk kısmi türevleri olan bir vektördür ve mevcut noktadaki fonksiyonun eğimini vermektedir.

Herhangi bir noktada, fonksiyondaki en büyük lokal artış, gradyanın doğrultusunda hareket edildiğinde oluşmaktadır. Bu durumun tersi olarak, gradyan vektörünün aksi yönünde de, fonksiyon en fazla azalışı göstermektedir. Diğer bir deyişle, gradyan vektörünün negatifi, f(x)'deki en fazla düşüşün yönünü tanımlamaktadır ve bu yol minimizasyon için kullanılmaktadır (Fiacco ve McCormick, 1968).

Objektif fonksiyonun gradyanını kullanan lineer olmayan programlama teknikleri arasında en temel ve basit olanı "En Hızlı İniş Metodu"dur. Bu metodun temeli, ilk noktadan başlamak üzere en hızlı iniş yönündeki ardışık noktaları bulmaktır (Myskis, 1975). Bu metot, bir iteratif yaklaşım tekniğidir.

İşlem, önceden belirlenmiş olan bir $X^o$ başlama noktasında başlar ve bu noktadaki gradyan faktörü hesaplanır. Bir sonraki nokta ise şöyle hesaplanır;

$$X^{k+1} = X^k - r^k \nabla f(x^k) \tag{2}$$

Burada, $r^k$ optimum adım boyutu olarak adlandırılan bir parametredir. Bu parametre, fonksiyon değerini arttırmaksızın en hızlı iniş yönündeki hareketin boyutunu tanımlamaktadır. Diğer bir deyişle, eğer bir fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanacak olursa

$$h(r) = f(X^k - r^k \nabla f(x^k)) \tag{3}$$

$r^k$, h(r)'i minimize eden bir değerdir. h(r), tek değişkenli bir fonksiyon olduğundan, $r^k$'nın değerini bulmak için herhangi tek boyutlu bir çözüm metodu uygulanabilir (Kowalik ve Osborne, 1968).

$X^{k+1}$ takımının değerinin saptanmasından sonra, bu noktadaki gradyan vektörü hesaplanır ve işlem tekrarlanır. Gradyan vektörünün elemanlarının sıfıra yeteri kadar yakınsamasından sonra, iterasyon işlemi sonlandırılır. Böylece aranan optimumluk şartı tatmin edildiği gibi ve optimum çözüm takımı elde edilir.

Ocak havalandırma şebekelerinin En Hızlı İniş Metodu'nu kullanmak suretiyle çözümünde aşağıdaki algoritma kullanılabilir.

Adım 1: Gözleri seç (M = B – N + 1)

Adım 2: $Q^o$'ın başlangıç değerini, hassasiyet derecesi ( $\varepsilon$ )'ni ve k = 0'ı ata

Adım 3: $\nabla U(Q_i^k)$ 'yı hesapla (i = 1,2,......,M)

$$P_i^k = -\nabla U(Q_i^k) \quad \text{değerini ata}$$

Adım 4: Tüm havayolları için $P_j^k$ 'ı hesapla (J = 1,2,.....,N)

Adım 5: $U(Q_j^k + r^k P_j^k)$ 'yı minimize edecek optimum adım boyutu $r^k$ 'yı hesapla.

Bunun için herhangi tek boyutlu optimizasyon tekniklerinden birisini kullan.

Adım 6: Ardaşık noktayı $Q_j^{k+1} = Q_j^k + r^k P_j^k$ 'yı kullanarak bul.

Adım 7: k = k+1 alarak $P_i^k < \varepsilon$ olunca işlemi sonlandır, aksi takdirde Adım 3'e dön.

İşlem sonlandığında, $Q^k$ seti şebekedeki en düşük güç tüketimini sağlayan hava miktarı dağılımını verecektir.

En Hızlı İniş Metodu'na ek olarak, Fletcher-Reeves, Newton ve Davidon-Fletcher-Powell metodlarıda objektif fonksiyona uygulanmıştır. Bu algoritmaları temel alan bir bilgisayar programı yazılarak, değişik şebeke modellerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Havalandırma şebeke problemleri Hardy Cross Metodu yanısıra lineer olmayan programlama teknikleri ile çözümlenebilir. Her iki metodun çözümü ile elde edilen hava miktarları birbirine çok yakın değerler vermektedir.

"En Hızlı İniş Metodu" hariç diğer optimizasyon teknikleri, Hardy Cross Metodu'ndan daha az iterasyon sayısına gereksinim duymaktadır. Ancak bu üstünlük çok geniş şebekelerde ortadan kalkmaktadır.

Her iterasyon zaman alıcı prosedür gerektirdiği için, toplam çözüm süresi dikkate alındığında, lineer olmayan programlama tekniklerinin hiçbiri Hardy Cross Metodu'ndan üstün değildir.

Hardy Cross Metodunda, başlangıç hava miktarı değerlerinin sıfır olarak atanması iterasyon sayısı ile birlikte çözüm süresini arttırmaktadır. Kirşofun akım kanunu tatmin edilecek şekilde, şebekedeki tüm hava yolları için başlangıç hava miktarı değerleri sıfır olmayacak şekilde atanmalıdır. Bu işlem ise sıkıcı, zaman alıcı ve komplikedir. Bununla birlikte, lineer olmayan programlama tekniklerinde başlangıç hava miktarı değerlerinin sıfır olarak alınması, toplam çözüm süresi ve iterasyon sayısını büyük ölçüde etkilememektedir. Bu özellik optimizasyon teknikleri için önemli bir avantaj olarak ifade edilebilir.

İlk iterasyonda elde edilen nokta, Hardy Cross Metodu ile elde edilen optimum noktadan çok uzakta olmasına rağmen, daha sonraki iterasyonlarda hızlı bir yakınsama gözlemlenmektedir. Optimum nokta yakınında aşırı dalgalanmalar meydana gelmemektedir. Bununla birlikte, optimizasyon tekniklerinin uygulanışında aksi oluşumlar görülmektedir. İlk birkaç iterasyonda optimum noktaya yaklaşılabilmektedir. Ayrıca, optimum nokta yakınında oluşan sonraki yaklaşım oranları toplam çözüm süresini arttıracak kadar yavaştır.

## 4. ÖNERİLEN KOMBİNE METOD

Hardy Cross ve kısıtsız optimizasyon tekniklerinin avantajlarından ayrı ayrı faydalanmak üzere kombine bir metot geliştirilmiştir. Kombine metot ilk iterasyonlar için "En Hızlı İniş" algoritmasını kullanırken, bu işlemin sonucunda hemen hemen tüm hava miktarı değerleri optimum noktaya yaklaşmaktadır. Optimum nokta etrafındaki yakınlaşmanın hızlandırılması için, kombine metot sonraki iterasyonlar için Hardy Cross Algoritmasını uygulamaktadır. Önerilen algoritma aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Gözleri seç (M = B – N + 1).

Adım 2: Hassasiyet derecesi ( $\varepsilon$ )’ni ata, k ve $Q^o$’ı sıfır olarak başlat.

Adım 3: $\nabla U(Q_i^k)$ ‘yı hesapla (i = 1,2,......,M).

$P_i^k = -\nabla U(Q_i^k)$ değerini ata.

Adım 4: Tüm havayolları için $P_j^k$ ‘ı hesapla (J = 1,2,.....,N).

Adım 5: $U(\left|Q_j^k + r^k P_j^k\right|)$ ‘yı minimize edecek optimum adım boyutu $r^k$ ‘yı hesapla.

Tek boyutlu bu problem için 4. Dereceden enterpolasyon metodunu kullan.

Adım 6: Ardışık noktayı $Q_j^{k+1} = Q_j^k + r^k P_j^k$ ’yı kullanarak bul.

Adım 7: k’yı k+1 alarak işleme devam et ve eğer k<2 ise Adım 3’e dön.

Adım 8: Her göz için Hardy Cross Metodundaki düzeltme faktörünü ($\Delta Q$) hesapla.

Adım 9: Hava miktarı değerlerini düzeltme faktörlerini kullanarak ayarla.

Adım 10:k’yı k+1 alarak işleme devam et ve eğer $\left|\Delta Q\max\right| < \varepsilon$ ise işlemi sonlandır, aksi takdirde Adım 8’e geri dön.

Basit ve diğer lineer olmayan programlama tekniklerindeki her bir iterasyon için daha az süreye gereksinim duyduğundan, bu algoritmanın ilk iki iterasyonu için En Hızlı İniş Metodu kullanılmıştır. Söz konusu algoritmayı temel alan bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve değişik model şebekelere uygulanarak çalışma performansı Hardy Cross Algoritması ile karşılaştırılmıştır.

Kombine metot, optimum çözüme daha az sayıda iterasyon ve sürede ulaşmaktadır. Ayrıca, başlangıç hava miktarı değerlerine sıfır dışı değerlerin atanmasına gereksinim duymamaktadır. Bütün havayolları için, hava miktarı değerlerinin başlangıçta sıfır olarak alınması çözüm süresini etkilememektedir.

## 5. SONUÇ

Klasik Hardy Cross Metodu ve lineer olmayan programlama teknikleri içinde en basiti olan “En Hızlı İniş Metodu” aynı algoritma içinde birleştirilmiştir. Bu algoritmayı temel alan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bilgisayar uygulaması, kombine metodun Hardy Cross Metodu ile mukayesede çözüme çok çabuk ulaştığını, daha az iterasyon sayısı ve daha kısa çözüm süresine gereksinim duyduğunu açığa çıkarmıştır. Bahsedilen avantajlarına ek olarak, önerilen bu metot ile başlangıç hava miktarı değerlerinin tahmin edilmesi zorunluluğu elimine edilmektedir.

## KAYNAKLAR

Bhamidipati S., Procarione J.A., (1986): “Nonlinear Programming Techniques for Analysis of Mine Ventilation Networks”, Trans. Ins. Min. And Metal. Eng., Vol. 95, A8-A14.

Fiacco A., Mc Cormick G.P., (1968): “Nonlinear Programming–Sequantial Unconstrained Minimisation Techniques. New York”, John Wiley and Sons.

Himmelblau D.M., (1972): “Applied Nonlinear Programming”, McMillan Pub. Co.

Kowalik J., Osborne M.R., (1968): "Methods for Unconstrained Optimisation Problems", New York, Elsevier Pub. Co.

Myskis A.D., (1975): "Advanced Mathematics for Engineers", Moscow, MIR Pub., 157-158.

Ueng T.H., Wang Y.J., (1984): "Analysis of Mine Ventilation Networks Using Nonlinear Programming Techniques", Int. Jour. of Min. Eng., Vol. 2, 245-252.

Wang Y.J., (1984): "A Nonlinear Programming Formulation for Mine Ventilation Networks with Natural Splitting", Int. Jour. Of Rock Mech. Min. Sci. And Geomech. Abs., Vol. 21, No. 1, 43-45.

Yalçın E., (1999): "Havalandırma Şebeke Analiz Programı Yardımı ile Madenlerde Kontrollü Hava Dağılımı", DEÜ Müh. Fak., Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir, Cilt 1, Sayı 2, 71-79.