

REKABETÇİ GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ İLETİM TIKANIKLIĞINA HAT SUSEPTANSLARININ ETKİSİ

Canan ZOBİ¹

Canbolat UÇAK²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Müh. Bölümü, 80626, Maslak, İstanbul

²Yeditepe Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Bölümü, 34755, Kayışdağı, İstanbul

¹e-posta: zobi@elk.itu.edu.tr

²e-posta: canbolat@yeditepe.edu.tr

Anahtar sözcükler: Rekabetçi Güç Sistemleri, İletim Tıkanıklığı, Duyarlılık Analizi

ÖZET

Bu bildiri rekabetçi güç sistemlerindeki iletim tıkanıklığına (enerji darboğazına) hat suseptanslarının etkisi incelenmiştir. Öncelikle toplam sistem maliyetinin hat suseptanslarına duyarlılığı ve hat suseptanslarının değişimiyle toplam maliyetlerin değişimi incelenmiştir. Daha sonra da hatların tıkanıklık durumları ve ortaya çıkan tıkanıklık bölgeleri sequential quadratic programlama (SQP) ile belirlenmiştir. Bu çalışma da tıkanıklıktan uzaklaşmak için her hat suseptansının optimum bir aralığı olduğu ortaya çıkmıştır. FACTS aygıtları, hattın suseptansını bu aralıkta tutacak şekilde ayarlamalıdır.

1. GİRİŞ

Elektrik enerji sistemlerinin yeniden yapılandırılıp rekabetçi bir özellik kazanmasıyla birlikte bir çok yeni ve birbirinden bağımsız üretim birimleri oluşmuş ve bu birimlerle tüketiciler bir havuz aracılığıyla veya karşılıklı anlaşmalarla enerji alışverişi yapmaya başlamışlardır. Böylece yeni yapılanmayla birlikte güç alışverişlerinin sayısında ve büyüklüğünde oldukça önemli miktarlarda artışlar olmuştur [1]. Merkezîyetçi güç sistemi için tasarlanmış olan enerji iletim sistemi, bu yeni rekabetçi yapıda artan enerji alışverişleri nedeniyle daha fazla tıkanıklık (enerji darboğazı) problemiyle karşı karşıya kalmıştır.

İletim hatlarında tıkanıklık, hattın iletebileceği maksimum güce ulaşıldığı zaman ortaya çıkar. Bu kapasiteye ulaşıldığında o hattan daha fazla güç iletmek mümkün değildir. Hatlarda oluşan tıkanıklık, kısa süreli bir çözüm olarak üretimin yeniden dağılımıyla, fiyatlandırılmayla ve kurullarla düzenlenebilir [2-6]. Hatların kapasitelerinden dolayı sürekli olarak sistemde tıkanıklık oluşuyorsa ya tüketim birimleri yakınında yeni üreticiler sağlanır ya da iletim hatlarının iletebileceği güç artırılır böylece uzun süreli çözüm gerçekleştirilir. Bu bildiri sadece iletim hat parametrelerinin tıkanıklığa etkisi incelenmiş, farklı bir yaklaşım olan üretim sistemlerinin artırılması göz önüne alınmamıştır. Sürekli tıkanıklık oluşan ve dolayısıyla bara fiyatları yüksek olan yerlerde yeni yapılanmayla birlikte

amaçlanan rekabetçi güç sistemi gerçekleşemez. Buradaki hatların yeniden planlanması gerekir ki rekabetçi ortam sağlanabilsin. Baralar arasında uzun süreli tıkanıklık düzenleme iletim hatlarını güçlendirerek gerçekleştirilir [7]. İletim hatlarının güçlendirilmesi ya tıkanan bölgeler arasına yeni bir hat inşa ederek ya da mevcut hattın kapasitesini esnek alternatif akım iletim sistemleri (FACTS) ile artırarak sağlanır. Her ikisi de baralar arasında suseptans değişimine ve hat kapasitesi artışına sebep olur. Bu bildiri de, hat suseptansının fonksiyonu olarak tıkanıklıktan uzaklaşma minimum üretim maliyetine dayandırılarak incelenmiştir. Öncelikle üretim maliyetlerinin hat suseptanslarına duyarlılığı hesaplanmıştır sonra hat parametrelerinin değişimiyle üretim maliyetlerinin değişimi ve ortaya çıkan tıkanıklık bölgeleri sequential quadratic programlama (SQP) ile belirlenmiştir.

2. HAT SUSEPTANSLARININ DUYARLILIĞI

Üretim maliyetlerinin hat suseptanslarına duyarlılığı [8] ve [9] numaralı kaynaklar tarafından önerilen yol izlenerek bulunmuştur. Tıkanıklığın düzenlenmesi ve iletimin fiyatlandırılması çalışmalarında literatürde de genellikle tercih edilen DC güç akışı, bu çalışmada kullanılmıştır. Burada değişkenler, generatör aktif güçleri ve bara gerilimlerinin açılarıdır. ij hattı üzerindeki aktif güç akışı,

$$P_{ij} = b_{ij}(\theta_i - \theta_j) \quad (1)$$

suseptansa ve bara gerilim açısına bağlıdır. i barasına toplam enjekte edilen güç,

$$P_i = \sum_j P_{ij} + P_{yük_i} \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Üretim – yük dengesi,

$$\sum P_i = \sum P_{yük} \quad (3)$$

dir.

Kullanılan semboller,

$P_i = (i)$. baradaki generatörün üretimi

$P_{yük}$ = Aktif yük değeri

$\theta_i = (i)$. bara geriliminin açısı
 $b_{ij} = (i)$ ve (j) baraları arasındaki hattın suseptansı
 $P_{ij}^{mak} = (ij)$ hattından akabilecek maksimum güç
 $n_g =$ Generatör sayısı
 $n_{bara} =$ Bara sayısı
 $n_{dal} =$ Hat sayısı
 $\lambda =$ Eşitlik denklemlerine ait Lagrange çarpanı
 $\mu =$ Eşitsizlik denklemlerine ait Lagrange çarpanı
 $C_i = (i)$ barasındaki maliyet fonksiyonu

$$W = \frac{\partial^2 L}{\partial z^2} \text{ ve } g_0 = \frac{\partial L}{\partial z} \Big|_{z=0} \quad (10)$$

Optimal olma koşulu,

$$g(z^*(b_{ij})) = \frac{\partial L}{\partial z} = 0 \quad (11)$$

Üretim maliyetinin minimum olması için amaç fonksiyonu,

$$\text{Min } C(P_1, P_2, \dots, P_{n_{bara}}) = \sum_{i=1}^{n_{bara}} C_i(P_i) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir.

Eşitlik kısıtlaması olarak bir baraya giren ve çıkan güçlerin toplamı sıfır olacak şekilde düğüm denklemleri ve toplam üretilen güç toplam tüketilen güce eşit olacak şekilde üretim – yük dengesi alınır. Eşitsizlik kısıtlaması ise hatlar üzerinden akacak güçler belirli bir sınır değerinin altında olacak şekilde hat akış sınırlamaları alınır. Kısıtlamalar, genel halde (5) ve (6) da görüldüğü gibi ifade edilir.

$$h(P_i, \theta_{ij}, b_{ij}, P_{yük_i}) = 0 \quad (5)$$

$$|P_{ij}| \leq P_{ij}^{mak} \quad (6)$$

OPF problemi için Lagrange ifadesi,

$$L = \sum_{i=1}^{n_{bara}} C_i(P_i) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{n_{bara}} \lambda_i h_i(P_i, \theta_{ij}, b_{ij}, P_{yük_i}) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{n_{dal}} \mu_{ij} (P_{ij} - P_{ij}^{mak}) \quad (7)$$

şeklinde. Duyarlılık analizinden önce sistemin DC güç akışında analizi yapılarak hatların yüklenme durumları belirlenmiştir. Duyarlılık analizi için gerekli matematiksel modeli oluşturmak için denklemler düzenlenmiştir.

Değişkenler ve Lagrange çarpanları aşağıdaki gibi vektörel olarak gösterilir.

$$z = [P_1 \dots P_{n_{bara}} \quad \theta_2 \dots \theta_{n_{bara}} \quad \lambda_1 \dots \lambda_{n_{bara}} \quad \mu_1 \dots \mu_{n_{dal}}]^T \quad (8)$$

Lagrange ifadesinin kuadratik yapısı,

$$L(z) = \frac{1}{2} z^T W z + g_0^T z \quad (9)$$

şeklinde. Burada,

şeklinde. Zincir kuralını uygulayarak (11) ifadesi b_{ij} 'ye göre türetilir.

$$\frac{\partial g(z^*(b_{ij}))}{\partial z} \frac{dz^*(b_{ij})}{db_{ij}} + \frac{\partial g(z^*(b_{ij}))}{\partial b_{ij}} = 0 \quad (12)$$

Lagrange ifadesinin birinci türevi $g(z)$ ve ikinci türevi de W olarak tanımlanmıştır dolayısıyla W ile g arasındaki ilişki,

$$\frac{\partial g}{\partial z} = W(b_{ij}) \quad (13)$$

şeklinde. (13) ifadesinin integrali alınırsa

$$g(z, b_{ij}) = W(b_{ij}) \cdot z + g_0(b_{ij}) \quad (14)$$

bulunur. (13) ve (14) ifadeleri (12)'de yerlerine konularsa,

$$W(b_{ij}) \frac{dz^*}{db_{ij}} = - \frac{\partial g(z^*, b_{ij})}{\partial b_{ij}} = - \frac{\partial W(b_{ij})}{\partial b_{ij}} z^*(b_{ij}) - \frac{\partial g_0(b_{ij})}{\partial b_{ij}} \quad (15)$$

$\frac{dz^*(b_{ij})}{db_{ij}}$ duyarlılığı (15) ifadesinden elde edilir.

Burada $g_0 = \frac{\partial L}{\partial z} \Big|_{z=0}$ sabit değerlerden oluşur ve

$$\frac{\partial g_0(b_{ij})}{\partial b_{ij}} = 0 \text{ dir ve (15) ifadesinde yerine konursa,}$$

$$\frac{dz^*(b_{ij})}{db_{ij}} = W^{-1}(b_{ij}) \left(- \frac{\partial W(b_{ij})}{\partial b_{ij}} \right) z^*(b_{ij}) \quad (16)$$

(16) eşitliğinden tüm değişkenlerin suseptanslara göre duyarlılığı bulunmuş olur. b_{ij} deki değişimden dolayı toplam sistem maliyetindeki değişimi

hesaplayabilmek için $\frac{dz^*(b_{ij})}{db_{ij}}$ de güç enjeksiyonuna

karşı düşen $\frac{dP^*(b_{ij})}{db_{ij}}$ ile marjinal maliyetlere karşılık

W matrisinin tersi alınıp (20) eşitliğinde yerine konulursa, tüm değişkenlerin b_{46} suseptanslarına göre duyarlılığı bulunur.

$$\frac{dz^*}{db_{46}} = W^{-1}(b_{46}) \left(-\frac{\partial W}{\partial b_{46}}(b_{46}) \right) z^*(b_{46}) \quad (20)$$

Tıkanıklık olan 4-6 hattı suseptansının toplam maliyete duyarlılığı (21) ifadesiyle bulunur.

$$\frac{dTM}{db_{46}} = (\lambda^*)^T \frac{dP^*}{db_{46}} = [\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3 \quad \lambda_4] \begin{bmatrix} \frac{dP_1}{db_{46}} \\ \frac{dP_2}{db_{46}} \\ \frac{dP_3}{db_{46}} \\ \frac{dP_4}{db_{46}} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$= 14.75(\$/h) / pu$$

Diğer hatlar için benzer hesaplamalar yapılırsa toplam maliyetin tüm hatların suseptans değişimlerine duyarlılığı bulunmuş olur.

$$\left[\frac{dTM}{db_{12}} \quad \frac{dTM}{db_{15}} \quad \frac{dTM}{db_{24}} \quad \frac{dTM}{db_{35}} \quad \frac{dTM}{db_{36}} \quad \frac{dTM}{db_{45}} \right]$$

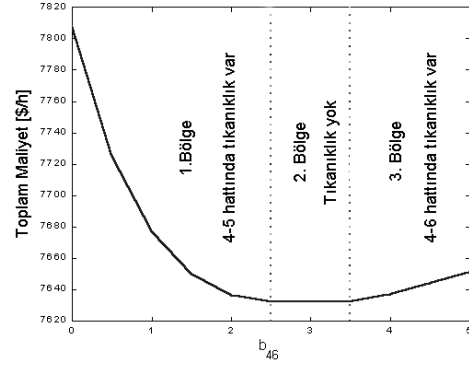
$$= [-2.57 \quad -1.95 \quad 1.81 \quad -3.9 \quad 0 \quad -8.13] (\$/h) / pu$$

Duyarlılık analizi sonucunda toplam sistem maliyetinin suseptansa duyarlılığı 14.75 (\$/h)/pu olarak en fazla 4-6 hattında çıkmıştır. Bu hat, tıkanıklık olan hattır ve onun suseptansı sistemin toplam maliyeti üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Mutlak değer olarak en büyük duyarlılığa sahip ikinci hat, 4-5 hattıdır. Bu hat da sistemde belirli koşullar altında tıkanıklık oluşabilen ikinci hattır. Böylece duyarlılık analizi, sistemde tıkanıklık oluşabilecek hatlar konusunda bilgi verir.

4. SQP İLE HATLARIN TIKANIKLILIK DURUMLARININ BELİRLENMESİ

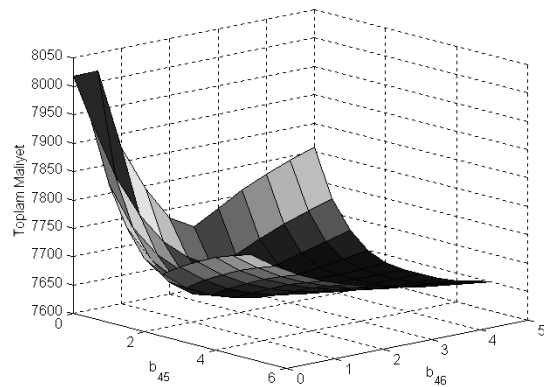
Bu bölümde suseptansın belirli aralıktaki değişiminin hatların tıkanıklık durumlarına etkisi sequential quadratic programlama (SQP) kullanılarak belirlenmiştir. Öncelikle tıkanıklık olan 4-6 hattının suseptansı 0 ile 5 pu. arasında değiştirilerek toplam maliyetin değişimi Şekil 2’de görülmektedir. 4-6 hattı suseptansı 0 ile 2.5 p.u. arasında değişirken 4-5 hattında tıkanıklık oluştuğu görülür yine 4-6 hattı suseptansı 3.5 ile 5 p.u. arasında değişirken de 4-6 hattında tıkanıklık oluştuğu, ara bir değer olan 2.5 ile 3.5 p.u. arasında ise sistemde tıkanıklık oluşmadığı görülür. Şekil 2’den sistemde hiçbir hatta tıkanıklığın

olmadığı, üretim maliyetinin minimum olduğu ve tüm baralarda fiyatların aynı olduğu optimum suseptans aralığı bulunabileceği görülür. Bu aralığın altındaki ve üstündeki suseptans değerlerinde, incelenen hatta veya diğer hatlarda tıkanıklık olacağı görülür. Bu durumda, beklenilenin tersine hatta belirli bir değer dışında güçlendirmenin bazen olumsuz etkisi olduğu ve sistem maliyetini artırdığı görülür.

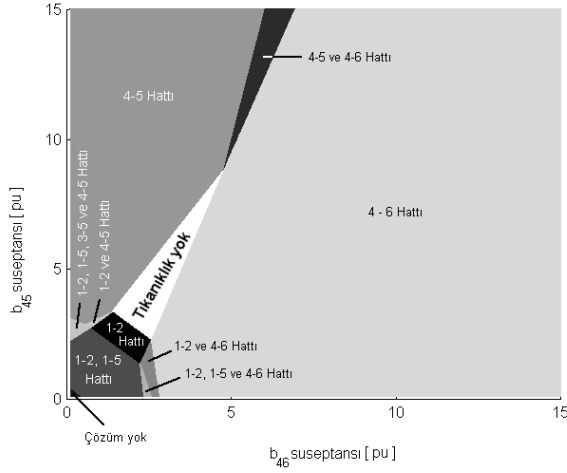


Şekil- 2. (4-6) hattının suseptans değişimine göre toplam maliyet değişimi

Şekil-2’de, aynı zamanda tıkanıklık olan 4-6 hattının suseptansı değiştirilirken bir başka hat olan 4-5 hattında tıkanıklık olabileceği görülür. Şekil 3’te, tıkanıklık oluşan bu iki hat suseptanslarının değişimine göre toplam maliyet değişimi görülmektedir. Şekil 3’ten her iki hat içinde suseptansların en büyük değerlerinde maliyetin minimum olmadığı, ara değerlerde minimum olduğu görülür. Şekil 3, suseptansların bu değişimi esnasında hatların tıkanıklık durumları hakkında bilgi vermez. Bu bilgi Şekil 4’te açıkça görülmektedir.



Şekil- 3. (4-5) ve(4-6) hatları suseptanslarının değişiminin toplam maliyete etkisi



Şekil- 4. Tıkanıklık sınırları ve tıkanıklık oluşan hatlar

Şekil- 4’te (4-5) ve (4-6) hatlarının suseptansları 0 ile 15 p.u. arasında değiştirilirken hatların tıkanıklık durumları görülmektedir. Bununla birlikte tıkanıklığın oluşmadığı ve toplam maliyetin minimum olduğu suseptans değerleri de şekilden görülmektedir. Tıkanıklık ve maliyet açısından en uygun suseptans aralığı, şekilden görülür. FACTS (esnek alternatif akım sistemi) aygıtlarından suseptans üzerinde doğrudan etkisi olan TCSC (tristör kontrollü seri kapasitör), Şekil 4’de görülen suseptans değerlerine hattın suseptansını ayarlarsa hem sistem maliyeti minimum olur hemde sistemde tıkanıklık oluşmaz.

5. SONUÇ

Bu bildiride, rekabetçi güç sistemlerinde iletim hat suseptanslarının tıkanıklık üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hat suseptanslarındaki değişimin etkilerini görmek için duyarlılık analizi ve sayısal uygulamalar yapılmıştır. İncelemelerde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Sistem maliyetinin en duyarlı olduğu hat suseptansı, tıkanıklık olan hattın suseptansıdır.

Tıkanıklık oluşan bir hattın suseptansı belirli bir aralıkta değiştirilirken tıkanıklığın oluşmadığı optimum bir suseptans aralığının mevcut olduğu görülmüştür. Suseptansın belirli bu değer aralığında tıkanıklık oluşmazken bu aralığın altındaki ve üstündeki değerlerde tıkanıklık oluşabilir. Bu sonuç, özellikle hattın akan güç kontrolünde gelecekte FACTS (esnek alternatif akım iletim sistemleri) kullanılmasının yaygınlaşması ile birlikte önemli olacaktır. Optimum çözüm için hat parametrelerinin hangi aralıkta değişmesi gerektiğinin bilinmesi ve bu

aralıklara göre FACTS cihazlarının kontrolünün sağlanması gerekir.

Tıkanıklığın uzun süreli düzenlenmesi, hat parametrelerine maliyet duyarlılığının dikkatli bir analizini gerektirir. Bu analizler tıkanıklığı uzun süreli olarak verimli bir şekilde ortadan kaldırmak için hangi hatların öncelikli olarak güçlendirilmesi gerektiği konusunda planlayıcılara rehberlik eder.

KAYNAKLAR

- [1] Yu J., Ercot Zonal Congestion Management, IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY SUMMER MEETING 2002, Vol.3, pp 1339-1344, 2002.
- [2] Gedra T.W., On Transmission Congestion and Pricing, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol.14, No.1, pp.241-248, 1999.
- [3] Singh H., Hao S., Papalexopoulos A., Transmission Congestion Management in Competitive Electricity Markets, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol.13, No.2, pp. 672-680, May 1998.
- [4] Glavitsch H., Alvarado F., Management of Multiple Congested Conditions in Unbundled Operation of a Power System, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol.13, No.3, pp. 1013-1019, August 1998.
- [5] Fang R.S., David A.K., Transmission Congestion Management in an Electricity Market, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol.14, No.3, pp.877-883, 1999.
- [6] Gribik P.R., Angelidis G.A., Kovacs R. R., Transmission Access and Pricing with Multiple Separate Energy Forward Markets, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol.14, No.3, pp 865-876, 1999
- [7] Zobi C.K., Uçak C., Investigation of transmission line parameter sensitivities in congested power systems, WSEAS TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS, Issue 6, Vol.3, pp.1463-1468, August 2004.
- [8] Gedra T.W., On Transmission Congestion and Pricing, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol.14, No.1, pp.241-248, 1999.
- [9] Gribik P.R., Shirmohammadi D., Hao S., Thomas C.L., Little A.D., Optimal power flow sensitivity analysis, IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY WINTER MEETING, pp. 969-976, 1990.
- [10] Weber J.D., Overbye T.J., DeMarco C.L., Modeling the Consumer Benefit in the Optimal Power Flow, DECISION SUPPORT SYSTEMS, 24 ,pp. 279-296, 1999.