

## Elektrik Şebekelerinde Bara Düzeni Optimizasyonu *Optimal Bus Layout in Electrical Networks*

Erdi DOĞAN, Nuran YÖRÜKEREN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TEİAŞ, KBA Yük Tevzi İşletme Müdürlüğü  
erdi.dogan.teias@gmail.com

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
nurcan@kocaeli.edu.tr

### Özet

N-1 güvenliğini sağlamak, kısa devre akımlarını sınırlandırmak, sistem kayıplarını azaltmak ve üretim maliyetlerini düşürmek amaçları doğrultusunda çift baralı trafo merkezlerinde bara bölerek konfigürasyon değiştirilebilmektedir. Karmaşık elektrik şebekelerinde bölünebilecek bara sayısı arttıkça çözüm uzayı oldukça yükselmekte ve dolayısıyla kısa sürede manuel düzenlemeler mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada, sistemin güvenliğini dikkate alarak optimum bara düzeninin oluşturulması amacıyla tam sayılı lineer programlama modeli sunulmuştur. AC güç akışlarının lineer olmayan yapısı sebebiyle optimizasyon modelini lineerleştirmek için DC güç akışı yöntemi kullanılmıştır. Sunulan model açık kaynak kodlu GEKKO optimizasyon yazılımı kullanılarak uygulanmıştır. GEKKO yazılımı Jupyter Notebook ortamında çalıştırılmıştır. N-1 analizi gereğince bir iletim hattı servis harici edildikten sonra sunulan matematiksel model çalıştırılarak optimum bara düzeni elde edilmiştir. Daha sonra farklı bir iletim hattı servis harici edilerek yine matematiksel modelimiz çalıştırılmakta ve yeni bir topoloji düzeni elde edilmektedir. Tüm N-1 durumları için en uygun bara düzeni bu yöntemle yapılarak şebekedeki optimum bara düzeni oluşturulmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** N-1 güvenliği, Şebeke Bara Düzeni

### Abstract

Configuration can be changed by dividing the bus into double-bus transformer substations for the purpose of ensuring N-1 safety, limiting short-circuit currents, reducing system losses and reducing production costs. As the number of bars that can be divided in complex electricity networks increases, the solution space increases considerably and therefore manual adjustments are not possible in a short time. In this study, an integer linear programming model is presented in order to create the optimum busbar system by considering system security. DC power flow method is

used to linearize optimization model due to non-linear structure of AC power flows. Presented model is implemented by using open source GEKKO optimization software. GEKKO software was run in Jupyter Notebook environment. After line outage for contingency analysis, we obtain optimal bus reconfiguration through presented model. Then a different transmission line is removed and the mathematical model is run again and a new topology scheme is obtained. The optimum busbar layout for all contingency situations is made by this method and the optimal bus reconfiguration in the network is created.

**Keywords:** Optimal Bus Reconfiguration, Contingency Analysis.

### 1. Giriş

Elektrik şebekelerinde topoloji değişimi farklı amaçlar için kullanılabilir. N-1 durumunda aşırı yüklenen hatların yüklerini azaltmak ve kısa devre akımlarını sınırlandırmak amacıyla bara bölme işlemi sıklıkla kullanılmaktadır. Bunların haricinde sistem kayıplarını azaltmak ve optimum yük akışıyla birlikte üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla da bara bölme işlemi uygulanabilmektedir. Türkiye Elektrik Şebekesinde özellikle İstanbul ve Bursa Bölgelerinde N-1 güvenliğini sağlamak ve kısa devre akımlarını sınırlandırmak amacıyla bara bölme işlemi uygulanmaktadır. Şebekenin büyümesiyle birlikte manuel olarak yeniden yapılandırma işlemi giderek zorlaşmaktadır. Dolayısıyla amaca uygun düzenlenmiş algoritmalar marifetiyle topoloji düzenleme işleminin yapılması giderek büyüyen çözüm uzayındaki en uygun noktayı bulmak açısından önemlidir.

Literatürde konuyla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. [1-2]'de üretim maliyetini minimize etmek amacıyla bara bölerek ve iletim hatlarından uygun olanları servis harici ederek şebeke topoloji optimizasyonu yapan karışık tam sayılı lineer programlama önerilmiştir. Bara bölerek kısa devre akımlarını sınırlandıran bir yöntem [3]'te önerilmiştir. Bölünecek bara sayısının belirlenmesi ve

optimal noktanın bulunması amacıyla sezgisel yöntemler olan genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılmıştır. Hassasiyet analizine dayalı olarak ekonomik üretim dağılımı için izlenebilir topoloji kontrol algoritması [4]'te tanımlanmıştır. Önerilen algoritma sistemdeki değişiklikleri algılayarak topoloji değiştirmeyi hedeflemektedir. Rüzgar, güneş santrallerinin üretim miktarları ile tüketim miktarının stokastik belirsizliğini dikkate alarak güç kayıplarını azaltacak dağıtım şebeke yeniden yapılandırılmasını çözmek amacıyla yeni bir yöntem [5]'te önerilmiştir. Problemi çözmek amacıyla sezgisel yöntemler kullanılmıştır. [6]'da aşırı yüklenmeleri azaltmak için gerekli olan optimum anahtarlama stratejisini belirleyen karışık tamsayıli lineer programlama önerilmiştir. [7-8]'de iletim anahtarlama problemindeki çözüm uzayını azaltarak performansı artıracak bir yaklaşım sunulmuştur. [7]'de aynı zamanda iletim hattının servis harici edilmesi sebebiyle oluşabilecek adaları engellemek için kesme düzlemi algoritması kullanarak probleme ek kısıtlar eklenmiştir. İşletme maliyetlerini azaltmak ve N-1 güvenliğini sağlamak amacıyla iletim hattı anahtarlama stratejisi [9]'da tanımlanmıştır. Bu çalışmada Benders ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Ana problem ile üretim santrallerinin saatlik optimum üretim dağılımı elde edilmektedir. Alt problem ise şebeke kısıtlarını dikkate alarak optimum üretim dağılımını sağlamak için servis harici edilecek iletim hatlarını tespit etmektedir. Oluşturulan kısıtlamalarda gerekli olan faz açısı farkı limitleri de dikkate alınmaktadır. N-1 güvenlik analizi ile birlikte gerilim güvenliğini de dikkate alarak servis harici edilecek hatları elde eden bir yöntem [10]'da önerilmiştir. Çalışmada AC güç akışı kullanılması ve karışık tamsayıli lineer programlama önerilmiştir. Problemin çözümünde Benders ayrıştırması kullanılmıştır.

Bu çalışmada N-1 güvenliğinin sağlanamadığı bölgelerde bara bölerek güvenliği tesis edebilecek bir tam sayılı lineer programlama yaklaşımı sunulmuştur. Problem Jupyter Notebook ortamında GEKKO optimizasyon programıyla çözülmüştür.

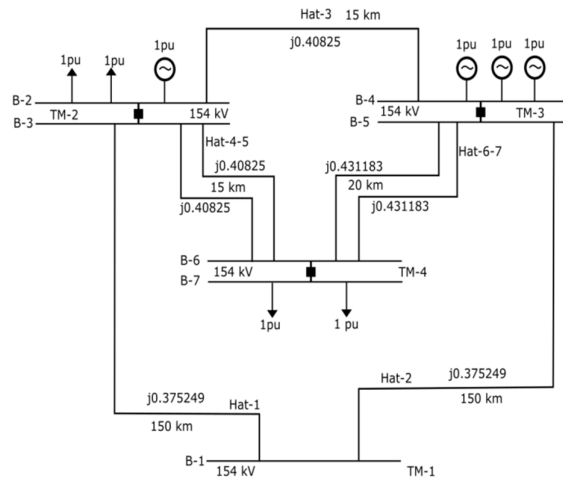
## 2. Matematiksel Model

Optimizasyon problemini lineerleştirmek amacıyla modellemede DC güç akışı yöntemi kullanılmıştır[11]. Problemin amaç fonksiyonu bölünecek bara sayısını minimize etmektir. Çünkü bara bölme işlemi mümkün olan en az sayıda yapılmalıdır. N-1 güvenliğini sağlamak amacıyla bara bölme işlemi yapıyorsa iteratif bir süreç işletilerek en uygun sonuç bulunmalıdır. Sunulan tam sayılı lineer programlama N-1 analizini dikkate alan iteratif bir süreç neticesinde en uygun topolojiyi elde etmektedir.

### 2.1. Problemin Tanımı

Şekil 1'de 7 baralı basit bir test sistemi verilmiştir. Sistemde dirençler ihmal edilmiştir. Kayıpsız sistemin üretim ve tüketim bilgileri per-unit olarak, hat bilgileri ohm cinsinden verilmiştir. Başlangıçta tüm trafo merkezlerindeki kuplaj kesicileri kapalı konumdadır ve tüm fiderler Bara-1'e bağlıdır. Üretim ve tüketim

miktarları dengelidir. Sistemde 7 adet iletim hattı, 4 adet üretim ve 4 adet tüketim birimi bulunmaktadır. Tüm kuplaj kesicileri kapalıyken temel durum ve N-1 durumundaki güç akışları Tablo 1'de verilmiştir. N-1 durumu sütununda N-1 analizi neticesindeki en yüksek %'lik yüklenme durumları verilmiştir. Bir iletim hattının %100'den fazla yüklenmesi durumunda N-1 güvenliğinin olmadığı varsayılmaktadır. Tablodan görüldüğü üzere temel durumda yüklenen herhangi bir hat bulunmamaktadır. Ancak N-1 durumunda %100'ü aşan yüklenme meydana gelmektedir. 154 kV hat-3 iletim hattının servis harici olması durumunda hat-6 ve hat-7 % 108.5 seviyesinde yüklenmektedir. Görüldüğü üzere verilen test sisteminde mevcut durumda N-1 güvenliği bulunmamaktadır. Dolayısıyla yeni yatırımlar tesis edilene kadar sistem güvenliğini sağlayacak hamleler yapılmalıdır. Hali hazırda Türkiye şebekesinde kullanılan bara bölme metodu bazen kısa devre akımlarını sınırlandırmak amacıyla bazen de N-1 güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca olası arıza durumunda meydana gelecek inkita miktarını azaltmak amacıyla da bara bölme yöntemi uygulanabilmektedir. Bu yöntemin büyük hacimli sistemlerde elle uygulanması çözüm uzayının çok geniş olması sebebiyle oldukça zordur. Ayrıca sistemin hacmi büyüdükçe sistem durumu sıklıkla değişebilmektedir. Bakım onarım çalışmaları kapsamında servis harici edilmesi gereken iletim hatları, devreye girip çıkan üretim santralleri, değişken yük profiline sahip rüzgar santralleri gibi sistem enstrümanları şebekenin durumunu sürekli olarak değiştirmekte ve her seferinde uygun bara bölme konfigürasyonunun elle yapılmasını zorlaştırmaktadır. Belirtilen sebepler doğrultusunda bara bölme ve bara dağılımı işleminin matematiksel yöntemlerle otomatik olarak yapılması sistem operatörünün işini oldukça kolaylaştıracaktır.



Şekil 1. Test sistemi

Tablo 1. Temel durum ve N-1 durumunda iletim hatlarının % cinsinden yüklenme durumu

Teçhizat	Temel Durum	N-1 Durumu
Hat-1	% 2.5	% 5.4
Hat-2	% 2.5	% 5.4
Hat-3	% 58.5	% 78.4
Hat-4-5	% 5.9	% 23.8
Hat-6-7	% 67.6	% 108.5

## 2.2. Problem Formülasyonu

Tam sayılı lineer programlama problemimizde amacımız bölünecek bara sayımızı minimize etmektir. Eğer ihtiyaç yoksa bara bölme işlemi sistem güvenliğini azaltan gereksiz bir işlem olacaktır.

$$\text{Min} \quad \sum b_i, \quad i = 1, 2, \dots, KS \quad (1)$$

$b_i$ , bara bölme durumunu gösteren ikili değişkendir. Bara bölme işlemi gerçekleşecek ise  $b_i = 1$ , aksi halde  $b_i = 0$ 'dir. KS, kuplaj kesici sayısını temsil etmektedir. Bir optimizasyon probleminde amacı gerçekleştirirken gerekli olan şartların sağlanması gerekir. Gereken bu şartlar kısıt olarak isimlendirilmektedir. Ana problemimizin kısıtları aşağıda verilmektedir.

$$P_{sg,1} = (1 - bg_e)x(Pg_e) \quad (2)$$

$$P_{sg,2} = (bg_e)x(Pg_e) \quad (3)$$

$$P_{sd,1} = (1 - bd_e)x(Pd_e) \quad (4)$$

$$P_{sd,2} = (bd_e)x(Pd_e) \quad (5)$$

$$P_{sl,1} = (1 - bkl_e)x(P_{sr}) \quad (6)$$

$$P_{sl,2} = (bkl_e)x(P_{sr}) \quad (7)$$

$$bg_e - b_i \leq 0 \quad (8)$$

$$bd_e - b_i \leq 0 \quad (9)$$

$$bkl_e - b_i \leq 0 \quad (10)$$

(2-7) kısıtlarıyla teçhizatların hangi baraya bağlı olacağı belirlenmektedir.  $bg_e$ ,  $bd_e$  ve  $bkl_e$  sırasıyla jeneratörün, yükün ve hattın hangi baraya bağlı olduğunu belirten ikili değişkenlerdir.  $k$ , indisi bara numarasını temsil etmektedir. Herhangi bir trafo merkezinde(TM) e. jeneratör bara-1'e bağlıysa  $bg_e = 0$ , aksi halde  $bg_e = 1$ 'dir. TM e'de s barasından r barasına  $P_{sr}$  gücünün aktığı düşünelim. Bu durumda  $bkl_e = 0$  ise ilgili TM'deki s barası bara-1'i temsil etmektedir. Problemi kolaylaştırmak için (8-10) kısıtları eklenmiştir. Bu kısıtlarla birlikte bara bölme işlemi gerçekleşmemişse ilgili TM'deki tüm fiderlerin bara-1'e bağlı olması sağlanmıştır. Dolayısıyla  $b_i = 0$  ise  $bg_e$ ,  $bd_e$  ve  $bkl_e$  sıfıra eşit olacaktır. Eğer bara bölme işlemi gerçekleşecekse N-1 güvenliğinin devam etmesi amacıyla TM'de en az 4 adet hat fideri olmalıdır. Bara bölündüğü zaman iki hat fideri bir baradayken diğer iki hat fideri de diğer baraya bağlı olmalıdır. Bu durumu temin edebilmek için (11-12)

kısıtları verilmektedir.

$$\sum bkl_e \geq 2xb_i \quad (11)$$

$$\sum (1 - bkl_e) \geq 2xb_i \quad (12)$$

### 2.2.1. DC güç akışı

AC güç akışında Newtho-Raphson ve Gause Seidel gibi iteratif yöntemler kullanılarak lineer olmayan denklemler çözülebilmektedir. Ancak optimizasyon probleminde lineer olmayan denklemler çözüme ulaşmak için gerekli olan zamanı önemli derecede yükseltebilmektedir. Bu nedenle optimizasyon problemlerinde DC güç akışı yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. DC güç akışı yöntemi 3 varsayıma dayanmaktadır: 1) İletim hattının direnci, reaktansına göre oldukça küçüktür ve dolayısıyla ihmal edilebilir. 2) Gerilim profili sabittir ve bu sebeple tüm baraların gerilim genlikleri eşittir. 3) Komşu baralar arasındaki gerilimin açısı farkı küçüktür. Bu varsayımla birlikte AC güç akışı eşitliğinde bulunan sinüs ve cosinüs içeren terimler lineerleştirilmiş olur.

DC güç akışı yönteminde sadece aktif güç akışları dikkate alınır. Kusursuz reaktif güç desteği olduğu varsayılır ve kayıplar ihmal edilir. Dolayısıyla hazırladığımız optimizasyon prosesi sonrasında elde edilen bara topolojisini gerilim açısından da kontrol etmekte yarar vardır. Bara dağılımı prosesi bittikten sonra AC güç akışı yöntemiyle yapılacak N-1 çalışmasıyla sistem gerilim açısından da muhakkak irdelenmelidir. DC güç akışı için genelleştirilmiş form (13)'te verilmiştir.

$$P = B'x\theta \quad (13)$$

$P$ , baraya bağlı üretim ve tüketimlerin toplamını veren vektör,  $\theta$ , baraların faz açılarını veren vektör ve  $B'$ , admitans matrisinden elde edilen düzeltilmiş süseptans matrisidir. Sistemin admitans matrisi tüm baralar ayrı bir baraymış gibi hazırlanarak kuplajın durumuna göre güç akışlarını matris içerisinde sıfırlayan veya aktifleştiren bir yapı tasarlanmıştır. Örneğin TM-1'de bara-2 güç akışlarının matris içinde sıfırdan farklı bir değer alabilmesi için  $b_{11} = 1$ ,  $b_{12} = 1$  ve  $b_{21} = 1$  olmalıdır. Aksi halde ilgili sütun ve satırlardaki güç akışları sıfır olacaktır. Dolayısıyla bara bölme gerçekleştirilmemişse ilgili TM'deki tüm güç akışlarının bara-1 üzerinden gerçekleştirildiği varsayılmaktadır.

Bara admitans matrisini DC güç akışında kullanacağımız süseptansa çevirebilmek için 4 adet işlem yapılması gerekmektedir: 1) j terimi çıkarılır, 2) Köşegen elemanlar, bulunduğu satırdaki köşegen olmayan elemanların toplamıyla değiştirilir, 3) Tüm köşegen olmayan elemanlar -1 ile çarpılır, 4) 1. satır ve 1. sütun silinir [11]. Elde ettiğimiz süseptans matrisini (13)'te kullanabiliriz. Ancak (13)'te  $P$  ve  $\theta$  vektörlerinin de ilk satırları silinir. Referans olarak  $\theta_1 = 0$  alınır. İletim hatlarının hangi baraya bağlanacağı bara admitans matrisinin elemanları oluşturulurken belirlenmektedir.

$$Y_{11} = y_{12}x(1 - b_{11}) + \dots + y_{1e}x(-b_{1e}),$$

$$Y_{12} = -y_{12}x(1 - b_{11}), Y_{1e} = -y_{1e}x(1 - b_{1e})$$

$$Y_{22} = y_{21}xb_{11} + y_{23}xb_{11} + \dots + y_{2e}xb_{1e},$$

$$Y_{21} = -y_{21}x b1l_1, Y_{2e} = -y_{2e}x b1l_e \quad (14)$$

Denklem (14) ile admitans matrisinin tüm elemanları oluşturulabilir. Oluşan matriste  $bkl_e$  ikili değişkeniyle hattın bara-1 veya bara-2'ye bağlanması sağlanmış olur. Örneğin test sistemimizde TM-1'i iki baralı varsayalım. Eğer  $b1l_1$  1'e eşit olursa TM-1'de bara bölünmüş ve hat-1 bara-2'ye bağlanmış demektir. Ancak TM-1'de iki adet iletim hattı olduğu için (11-12) kısıtları sebebiyle bara bölünmesi matematiksel olarak yasaklanmıştır ve bu yüzden  $b1l_1$  0'a eşit olacak ve hat-1 bara-1'e bağlanmış olacaktır.

DC güç akışın P vektörü içerisinde üretim ve tüketim teçhizatları bulunmaktadır. Dolayısıyla vektörün doğru oluşturulabilmesi için jeneratör ve yüklerin hangi baraya bağlı olduğu matematiksel olarak ifade edilmelidir. Denklem (15) ile tüm TM'ler için P vektörü oluşturulabilir.

$$Pkg_e - Pkd_e = Pg_e(1 - bg_e) - Pd_e(1 - bd_e) \quad (15)$$

Matris ve vektörler oluşturulduktan sonra  $\theta$  açıları elde edilecektir. İlgili açılar kullanılarak baralar arasındaki güç akışları denklem (16)'da verilen şekilde tüm baralar için elde edilebilir.  $P_{in}$ , i. baradan n. baraya akan aktif gücü ifade etmektedir.

$$P_{in} = Y_{in}x(\theta_i - \theta_n) \quad (16)$$

Her barada giren güç miktarıyla çıkan güç miktarı birbirine eşit olmalıdır. Bu eşitliği sağlamak amacıyla (17) denklemi kullanılmaktadır.  $P_{in}$ , iletim hatlarından geçen güç miktarlarını ifade etmektedir. Örneğin A nolu baradan B nolu baraya güç akışı varsa  $\theta_1 - \theta_2 > 0$  olur, tam tersi durumda ise  $\theta_1 - \theta_2 < 0$  olur. İlk durumda bara güç dengesine göre baradan güç çıkışı olduğu için (17) nolu denklemde  $-$  işaretli olmalıdır. İkinci durumda ise baraya güç akışı olması sebebiyle  $+$  işaretli olmalıdır. Dolayısıyla bara güç dengesi denkleminde güç akışları negatif taraftadır ( $-\sum_s P_{in}$ ).

$$\sum_k P_g - \sum_k P_{in} - \sum_k P_d = 0 \quad (17)$$

Hesaplanan güç akışları neticesinde iletim hatlarının kapasitesi aşılmamış olmalıdır. Bunu sağlayacak kısıt (18)'de verilmektedir.

$$-P_{in}^{max} \leq P_{in} \leq P_{in}^{max} \quad (18)$$

### 2.3. Problemin İkinci Safhası

Problemin ilk bölümünde gerekli matematiksel ifadeler ile DC güç akışı eşitliklerinin içerisine bara bağlantı durumları eklenmiştir. İkinci bölümde ise N-1 analizi yapılarak şebekenin uygunluğu kontrol edilecek ve gerekli ise oluşturulan matematiksel model çalıştırılarak bara konfigürasyon değişim işlemleri yapılacaktır.

Test sistemimizde Tablo-1'de belirtildiği gibi N-1 durumunda aşırı yüklenmelerin olduğu görülmektedir. Bu yüklenmelere bara konfigürasyon optimizasyonu ile çözüm bulmak amacıyla matematiksel modelimiz N-1 durumu göz önüne alınarak çalıştırılacaktır. Test sistemimizde hat-3, hat-6 veya hat-7'nin servis harici olması durumunda aşırı yüklenmeler olması sebebiyle iki

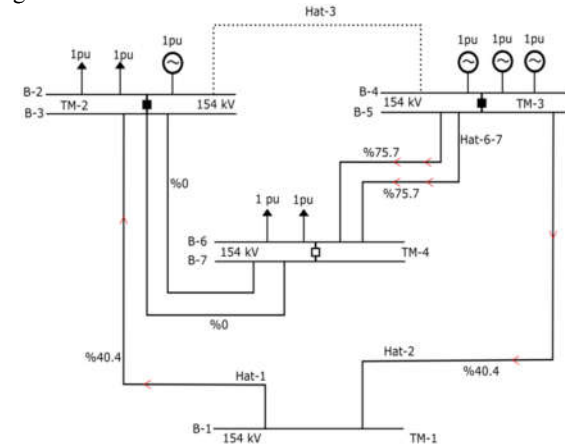
farklı durum için optimizasyon problemimiz GEKKO yazılımıyla çalıştırılmıştır. Hat-3 ve Hat-6'nın açması durumları için oluşturulan bara düzenleri birbirinden farklı çıkmaktadır. Dolayısıyla elde edilen bara düzeni üzerinden N-1 analizi yapılmalı ve gerilim açısından da oluşturulan sistem kontrol edilmelidir.

### 3. Simülasyon Sonuçları

Şekil 1'de verilen 7 baralı basit test sisteminde problem oluşturan N-1 durumu Tablo 1'de verilmektedir. Buna göre kısıtlılık durumlarının incelendiği çalışma koşulları Durum-1 ve Durum-2 olarak verilmiştir.

#### 3.1. Durum-1

Hat-3'ün servis harici olması durumunda verilen matematiksel model kullanılarak optimum topolojinin elde edilmesi sağlanmıştır. Şekil-2'de oluşan bara düzeni görülmektedir.



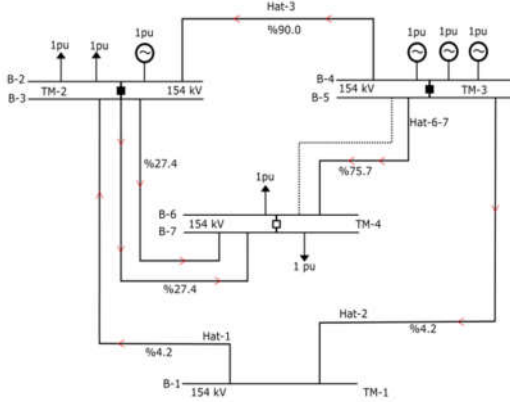
Şekil 2. Hat-3 servis hariciyken elde edilen bara düzeni

TM-4'te kuplaj kesici açılarak bara bölünmüştür. TM-2'den gelen hatların ikisi de bara-7'ye alınmıştır. Herhangi bir jeneratör veya tüketim biriminin yeri değişmemiştir. Buna göre yüklenen hat bulunmamaktadır. Ancak bu topoloji üzerinde N-1 analizi yapıldığı zaman hat-6 veya hat-7'nin açması durumunda diğerinin de aşırı yüklenerek servis harici olduğu ve TM-4'teki tüketim birimlerinin enerjisiz kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla önerilen topoloji hat-3'ün servis harici olması durumundaki kısıtlılığı sonlandırmakta ancak diğer kısıtta problem oluşturmaktadır.

#### 3.2. Durum-2

Hat-6'nın servis harici olması durumu için sunulan tam sayılı matematiksel programlama tekrar çalıştırılmıştır. Elde edilen bara düzeni Şekil-3'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere yine TM-4'te kuplaj kesici açılarak bara bölünmüştür. Durum-1'de olduğu gibi TM-2'den TM-4'e giden hatlar bara-7'ye alınmıştır. Durum-2'de farklı olarak TM-4'te bulunan bir tüketim birimi bara-7'ye alınmıştır. Bu topolojide N-1 analizi yapıldığı zaman herhangi bir güvenlik problemi yaşanmamaktadır. Dolayısıyla ikinci iterasyonda optimum bara düzeni elde edilmiştir. Elde edilen bara düzeni üzerinden AC güç

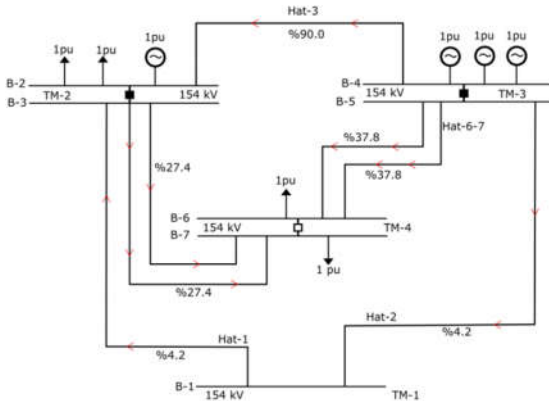
akışı yapılarak gerilim açısından da kontrol edilmiş ve problem yaşanmadığı görülmüştür. N-1 açısından yeni yatırımlar yapılana kadar test sistemimiz bu şekilde işletilmelidir.



Şekil 3. Hat-6 servisi hariç tutularak elde edilen bara düzeni

Tablo 2. Yeni topolojiyle temel durum ve N-1 durumu için iletim hatlarının % cinsinden yüklenme miktarları

Teçhizat	Temel Durum	N-1 Durumu
Hat-1	% 4.2	% 80.9
Hat-2	% 4.2	% 80.9
Hat-3	% 90.0	% 95.2
Hat-4-5	% 27.4	% 54.9
Hat-6-7	% 37.8	% 75.7



Şekil 4. Sürekli durum bara düzeni ve güç akışları

#### 4. Sonuçlar

Büyük çaplı şebekelerde arz güvenliğini tesis edebilmek için topoloji optimizasyonu yapılacaksa çözüm uzayının oldukça büyük olduğu bilinmelidir. Problemin çözüme ulaşması aylar ve hatta yıllar dahi sürebilir. Dolayısıyla bir yandan çözüm uzayını sınırlandıracak kısıtlar eklenirken bir yandan da uygun çözüm metodları uygulanmalıdır. Tam sayılı lineer programlama, problemlerin modellenmesinde ve çözümünde yaygın

şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada da topoloji optimizasyonu için tam sayılı lineer programlama modeli sunulmuştur. Tam sayılı, çünkü enerji iletim hatlarının veya jeneratör ve tüketim birimlerinin bir baraya bağlı olması durumu 1 veya 0 ile ifade edilebilmektedir. Dolayısıyla problemin çözümü tam sayılı programlama ile modellenmelidir. N-1 güvenliğini sağlamak amacıyla kurulan tam sayılı matematiksel model kullanılmış ve bara düzeni optimize edilmiştir.

Gelecek çalışmalarda yöntemin daha büyük sistemlerde uygulanabilmesi için geliştirilmesi planlanmaktadır. Özellikle karışık tamsayılı lineer problemlerin çözümünde yaygın şekilde kullanılan Benders ayrıştırma yöntemi kullanılarak iteratif sürecin program vasıtasıyla sürdürülmesi sağlanacaktır. Ayrıca bir sonraki çalışmada N-1 güvenliğini sağlarken kısa devre akımlarını da sınırlandırarak bir topolojiyi elde etmek amacıyla matematiksel modellemede iyileştirmeler yapılacaktır.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Heidarifar, M. ve Ghasemi, H., "A Network Topology Optimization Model Based on Substation and Node-Breaker Modeling", *IEEE transactions on power systems*, 2015.
- [2] Heidarifar, M., Doostizadeh, M. ve Ghasemi, H., "A Optimal Transmission Reconfiguration through Line Switching and Bus Splitting", *IEEE transactions on power systems*, 2014.
- [3] Namchoat, S., ve Hoonchareon, N., "Optimal Bus Splitting for Short-circuit Current Limitation in Metropolitan Area", *IEEE transactions on power systems*, 2014.
- [4] Ruiz, P., A., ve Foster, J., M., "Tractable Transmission Topology Control Using Sensitivity Analysis", *IEEE transactions on power systems*, 2012.
- [5] Wu, H., ve Dong, P., "PPSO method for distribution network reconfiguration considering the stochastic uncertainty of wind turbine, photovoltaic and load", *The 6th International Conference on Renewable Power Generation (RPG)*, 19–20 October, 2017.
- [6] Lobato, E., Echavarren, F., Rouco, L. vd., "A Mixed-Integer LP Based Network Topology Optimization Algorithm for Overload Alleviation", *IEEE Bologna Power Tech Conference*, 23-26 June, 2003.
- [7] Ostrowski, J., Wang, J. ve Liu, C. "Transmission Switching With Connectivity-Ensuring Constraints", *IEEE transactions on power systems*, 2014.
- [8] Liu, C., Wang, J. ve Ostrowski, J., "Heuristic Prescreening Switchable Branches in Optimal Transmission Switching", *IEEE transactions on power systems*, 2012.
- [9] Khodaei, A., ve Shahidehpour, M., "Transmission Switching in Security-Constrained Unit Commitment", *IEEE transactions on power systems*, 2010.
- [10] Khanabadi, M., Ghasemi, H., ve Doostizadeh, M., "Optimal Transmission Switching Considering

- Voltage Security and N-1 Contingency Analysis",  
*IEEE transactions on power systems*, 2013.
- [11] <http://home.eng.iastate.edu/~jdm/ee553/DCPowerFlowEquations.pdf>, ziyaret tarihi 30.08.2018.