



## Sakarya ili Sapanca ilçesinin Adapazarı ve Kırkpınar trafo merkezlerinden beslenmesi durumundaki kısa devre güçlerinin karşılaştırılması ve uygun koruma elemanlarının belirlenmesi

**Nihat PAMUK**

TEİAŞ 5. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü Maltepe mah. Orhangazi cad. No:74 SAKARYA

### ÖZET

Gerilim altındaki iletken kısımların, birbirine veya nötrü topraklanmış olan hatların toprağa değmesi ile sistemlerde kısa devre arızaları oluşur. Kısa devre genellikle bir fazda başlar ve kısa zamanda diğer fazlara da atlayarak üç faz kısa devre arızasına dönüşür. Atlamalar genellikle ark aracılığı ile gerçekleşir. Üç faz kısa devre arızası ender rastlanan bir arıza türüdür. Bu çalışmada, Sakarya ili Sapanca ilçesine ait orta gerilim hatlarının kısa devre gücü hesabı yapılmıştır. Kısa devrenin tanımı yapılarak kısa devre hakkında bilgiler verilmiştir. Kısa devre hesabında kullanılmak üzere, Adapazarı ve Kırkpınar trafo merkezlerinden beslenme durumlarına göre orta gerilim hatlarının empedansları hesaplanmıştır. Kısa devre analizi yapılarak koruma teçhizatının seçimi yapılmış ve hesaplamalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### Anahtar Kelimeler

Kısa devre analizi,  
Arıza,  
Trafo merkezi,  
Koruma.

## Comparison of short circuit power according to energizing status of Adapazarı and Kırkpınar substations and determination of appropriate protection equipments for Sapanca district of Sakarya province

### ABSTRACT

Short circuit faults occur in systems that voltage conductive parts contact each other or grounded neutral lines contact ground. Usually short circuit fault begins a phase and as a result of it jumps other phases, it converts three phase short circuit fault in a short time. Generally jumps occur through arc. Three phase short circuit fault is a rare type of fault. In this study, Short circuit power of medium voltage lines calculation is made in sapanca district of sakarya province. Short circuit is defined and gives information about the short circuit. Short circuit to be used in the calculation of the medium voltage lines impedances calculated according to energizing status Adapazarı and Kırkpınar substations. Selection of protective equipment made by doing short circuit analysis and evaluated the results of calculations.

### Keywords

Short circuit analysis,  
Fault,  
Substation,  
Protection

\* Sorumlu yazar (Corresponding author) e-posta: [nihatpamuk@gmail.com](mailto:nihatpamuk@gmail.com)

## 1. Giriş

Enerji sisteminde yıldırım düşmesi ve açma kapama olayları sebebi ile meydana gelen aşırı gerilimler, üzerinde gerilim bulunan sistem parçalarını elektriksel olarak zorlar. Eğer zorlama gerilim seviyesini aşarsa kısa devre meydana gelir. Nem, kir ve benzeri etkilerde sistemde izolasyon seviyesini azaltan ve sonuçta kısa devre olaylarına sebep olan faktörler arasındadır. Kısa devre akımının değeri, hata noktasından sistemi besleyen kaynağa doğru bakıldığında görülen Thevenin eşdeğer devresi tarafından belirlenir[1]. Normal çalışma akımlarından çok daha büyük değerlere ulaşabilen kısa devre akımları, sistem elemanları üzerinde aşırı ısınma ve büyük değerde manyetik kuvvetler meydana getirirler. Eğer kısa devre noktası enerji sisteminden hızlı bir şekilde uzaklaştırılmaz ise aşırı ısınma ve manyetik kuvvetler sistem üzerinde kalıcı ve ciddi zararlar oluştururlar[2].

Hata noktasını sistemden uzaklaştırmak için seçilen yüksek gerilimli standart kesicilerin açması için üç periyotluk bir süre gerekir. Gerilim seviyesi düştükçe kesicinin açma süresi de artmaya başlar.

Kısa devreye yol açan iki etken vardır. Bunlardan ilki, iletken kısmı saran yalıtkan tabakasının delinmesine neden olan iç etkenler, ikincisi ise dış etkenlerdir[3]. İç etkenlerin başlıcaları;

- İletken kısmın aşırı yüklenmesi veya ark atlaması sonucunda aşırı ısınması,
- Yıldırım düşmesi ve açma-kapama sırasında oluşan aşırı gerilimler,
- Yalıtkan malzemenin eskimesi veya kusurlu olmasıdır.

Dış etkenlerin başlıcaları ise;

- Yeraltı kablolarında kazma darbesi ile yalıtkan kılıfın zedelenmesi,
- Havai hatlarda izolatorlerin kırılması veya delinmesi ile oluşan atlamalar,
- Ağaç dallarının havai iletkenlere yaklaşması veya değmesi,
- İletim hattı direklerinin yıkılması veya aşırı gerilme sonucunda iletkenin kopması,
- Fırtına, sis, kar veya buz yükü nedeniyle hava hattı iletkenlerinin birbirine veya topraklanmış kısımlara değmesidir.

Kısa devre olayları dengeli ve dengesiz kısa devre olarak iki ayrı bölümde incelenir. Hata öncesi hat akımları birbirine eşit olan bir sistemde, hatadan sonrada hat akımları genlik olarak birbirlerine eşit

değer alıyorsa, oluşan hata türü dengeli kısa devre olarak adlandırılır. Eğer hata sonrası hat akımları ve genlik değerleri kendi aralarında birbirlerinden farklı değerler alıyorsa, hata türü dengesiz kısa devre olarak adlandırılır. Dengesiz kısa devreye ilişkin akım ve gerilim hesaplamaları dengeli sisteme göre daha uzun ve zordur. Dengesiz kısa devre hesaplamalarında genellikle Fortescue'nun simetrik bileşenleri kullanılır[4].

Üç fazlı kısa devre simetrik bir hatadır. Simetrik olmayan hatalar ise; bir faz-toprak kısa devresi, iki fazlı toprak temassız kısa devre ve iki fazlı toprak temaslı kısa devre hata türleridir. Hata türünün simetrik olarak adlandırılmasının nedeni, hata esnasında sistemde dolaşan akımların fazlara göre genliklerinin değişmemesidir. Simetrik olmayan hatalarda ise, hata akımlarının genlikleri fazlara göre değişir. Simetrik hatanın incelenmesi kolaydır. Üç fazlı kısa devrede sistemin yalnızca doğru bileşen devresine ilişkin bara empedans ve admitans matrisleri kullanılır[5]. Üç fazlı kısa devre hesaplamalarında hesap kolaylaştırıcı bazı kabuller yapılır. Bu kabuller;

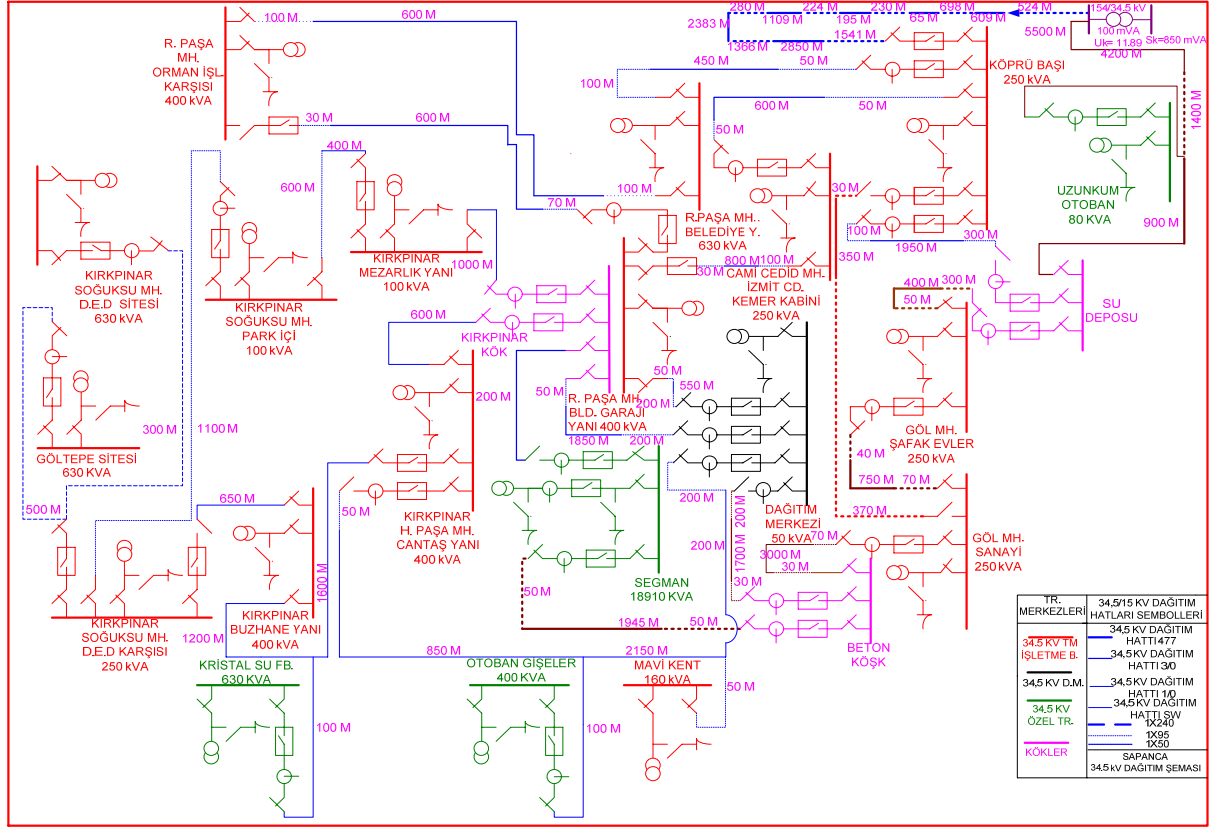
- Transformatörlerin yalnızca reaktans değerleri göz önüne alınarak sarım dirençleri, şönt admitans değerleri ve faz kayması değerleri ihmal edilir.
- İletim hatlarının yalnızca doğru bileşen devre reaktansları hesaba katılır, seri dirençleri ve şönt admitansları hesaba katılmaz. 50 beygir gücünden az olan asenkron motorlar ihmal edilir veya senkron makine gibi temsil edilirler.
- Senkron makine, geçici darbe reaktansının gerisindeki sabit gerilim kaynağı ile temsil edilir. Armatür direnci, çıkık kutup etkisi ve doyma ihmal edilir. Tüm dönmeyen yüklerin empedansları ihmal edilirler.

Yukarıda belirtilen kabuller hesap kolaylaştırmak için kullanılmakla birlikte hesaplama sonuçlarında büyük hatalara sebep olmazlar. Fakat bu kabuller her şartta da kullanılamazlar. Örnek olarak dağıtım sistemlerinde direnç etkisi hata akımını azaltır ve bu yüzden ihmal edilemez.

## 2. Sakarya ili Sapanca ilçesi elektrik dağıtım şebekesinin Adapazarı trafo merkezinden beslenmesi durumunda hat ve trafo empedans değerlerinin bulunması

Sapanca ilçesine ait orta gerilim hattının kısa devre gücünü bulmak için, ilk önce adapazarı trafo merkezi ve elektrik dağıtım hattının empedans değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Şekil 1'de sapanca

ilçesine ait 34.5 kV dağıtım sisteminin tek hat şeması verilmektedir.



Şekil 1. Sapanca ilçesinin adapazarı trafo merkezinden beslenmesi durumdaki orta gerilim dağıtım şeması

Sapanca ilçesi 100 MVA gücündeki adapazarı trafo merkezinden beslenmektedir. Kısa devre gücü  $S_k = 850$  MVA, baz gerilimi  $V_{BAZ} = 34.5$  kV ve  $S_{BAZ} = 500$  MVA'dır. İndirici merkezin empedansı hesaplanacak olursa;

$$V_{pu} = \frac{V_g}{V_{BAZ}} = \frac{34.5}{34.5} = 1 \text{ Pu} \quad (1)$$

$$S_{pu} = \frac{S_k}{S_{BAZ}} = \frac{850}{500} = 1.7 \text{ Pu} \quad (2)$$

$$Z_{BAZ} = \frac{U_{BAZ}^2}{S_{BAZ}} = \frac{34.5^2}{500} = 2.38 \text{ ohm} \quad (3)$$

$$Z_s = \frac{CxU_{BAZ}^2}{S_k} = \frac{1.1 \times 34.5^2}{850} = 1.54 \text{ ohm} \quad (4)$$

$$Z_{pu} = \frac{Z_s}{Z_{BAZ}} = \frac{1.54}{2.38} = j0.64 \text{ pu} \quad (5)$$

$$I_{BAZ} = \frac{S_{BAZ} \times 10^6}{\sqrt{3 \times 34.5 \times 10^3}} = \frac{500 \times 10^6}{\sqrt{3 \times 34.5 \times 10^3}} = 8367.39 \text{ A} \quad (6)$$

$$X_{TRg} = \frac{U_k \times U_{BAZ}^2}{100 \times S_n} = \frac{11.89 \times 34.5^2}{100 \times 100} = 1.415 \text{ ohm} \quad (7)$$

$$X_{TR pu} = \frac{X_{TRg}}{Z_{BAZ}} = \frac{1.415}{2.38} = 0.594 \text{ Pu} \quad (8)$$

$$X_1 = j0.64 + j0.594 = j1.234 \text{ pu} \text{ olarak bulunur.} \quad (9)$$

Adapazarı trafo merkezi ile uzunyum otopan parkı trafo merkezi branşmanı arasındaki orta gerilim hattı 9700 m ( $3 \times 3/0$ ) iletken ve 1400 m 3 adet ( $1 \times 240$ )  $\text{mm}^2$  XLPE kablodan oluşmaktadır. Orta gerilim hattının empedansı hesaplanacak olursa ;

3 x 3/0 hattı ( 9700 m )

$$X_h^1 = 0.4433 \Omega / \text{km} \quad R_h^1 = 0.43291 \Omega / \text{km} \quad (10)$$

$$X_h = X_h^1 \times 9.7 / Z_{BAZ} = 0.4433 \times 9.7 / 2.38 = J 1.806 \quad (11)$$

$$R_h = R_h^1 \times 9.7 / Z_{BAZ} = 0.43291 \times 9.7 / 2.38 = 1.764 \text{ pu} \quad (12)$$

3(1x240) mm<sup>2</sup> XLPE kablo için ( 1,4 km )

$$L = 0.6 \text{ mH/km} \quad R_k^1 = 0,0754 \Omega / \text{km}$$

$$X_k^1 = 2 \pi f L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.0006 = 0.1884 \Omega / \text{km} (f = 50 \text{ Hz}) \quad (13)$$

$$X_k = X_k^1 \times 1.4 / Z_{BAZ} = 0,1884 \times 1.4 / 2.38 = J 0.11 \text{ pu} \quad (14)$$

$$R_k = R_k^1 \times 1.4 / Z_{BAZ} = 0.0754 \times 1.4 / 2.38 = 0.04 \text{ pu} \quad (15)$$

$$X_T = X_h + X_k = J 1.806 + J 0.11 = J 1.916 \text{ pu} \quad (16)$$

$$R_T = R_h + R_k = 1.764 + 0.04 = 1.804 \text{ pu} \quad (17)$$

$$X_2 = 1.804 + J 1.916 \text{ pu olarak bulunur.} \quad (18)$$

Tüm dağıtım hatları içinde benzer hesaplamalar yapılmıştır. Diğer dağıtım hatları ve trafoların karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Uzunkum otoban parkı trafo merkezi branşmanı ile uzunkum otoban parkı trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 50 m (3xSW) iletkenlen oluşmaktadır. Uzunkum otoban parkı trafosu 800 kVA gücündedir. Uzunkum otoban parkı branşmanı ile yüzeyler su deposu yanındaki k.ö.k arasında orta gerilim hattı 900 m (3x477) ve 1200 m (3x3/0) iletkenlerden oluşmaktadır. Yüzeyler su deposu yanındaki k.ö.k ile şafak evler trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 400 m (3x477) iletken ve 350 m 3 adet (1x240) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Şafak evler trafosu 250 kVA gücündedir. Şafak evler trafo merkezi ile sanayi trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 750m (3x477) iletken ve 110m 3 adet (1x240) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Sanayi trafosu 250 kVA gücündedir. Sanayi trafo merkezi ile beton köşk arasındaki orta gerilim hattı 3000 m (3x477) iletken ve 110 m 3 adet (1x240) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Beton köşk ile segman fabrikası trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 1945 m (3x477) ve 100 m 3 adet (1x240) mm<sup>2</sup> XLPE kablosundan oluşmaktadır. Segman fabrikasında birer adet 2750 kVA, 2100 kVA, 1850 kVA, 1700 kVA, 1360 kVA, üçer adet 1250 kVA, 1000 kVA, ikişer adet 800 kVA ve 400 kVA güçlerinde trafolar bulunmaktadır.

Adapazarı trafo merkezi ile köprübaşı trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 7211 m (3x477) iletken ve 4863 m 3 adet (1x240) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Köprübaşı trafosu 250 kVA gücündedir. Köprübaşı trafo merkezi ile belediye

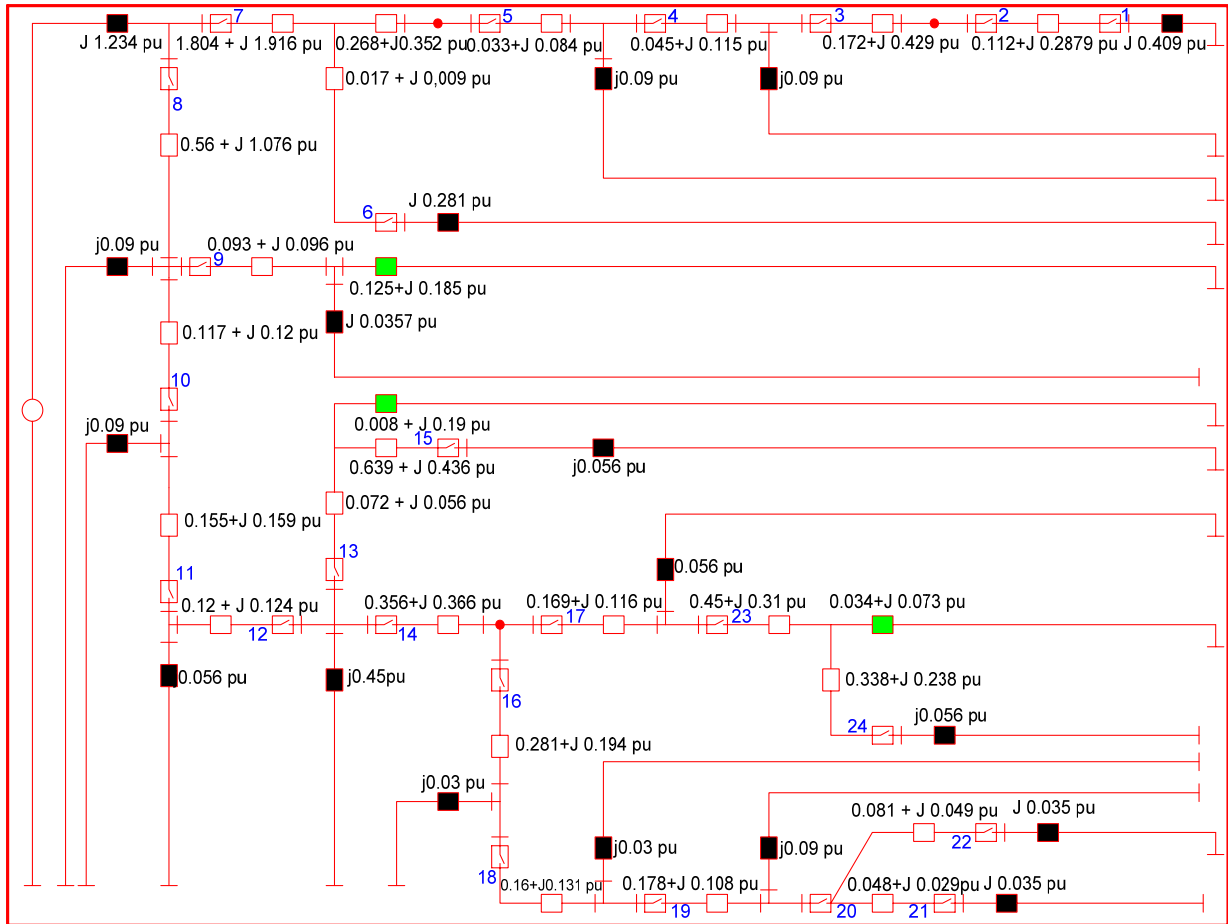
yanı trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 450 m (3x3/0) iletken ve 150 m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Belediye yanı trafosu 630 kVA gücündedir. Belediye yanı trafo merkezi ile orman işletmesi trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 600 m (3x3/0) iletken ve 200 m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Orman işletmesi trafosu 400 kVA gücündedir. Köprübaşı trafo merkezi ile kemer trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 6040 m (3x3/0) iletken ve 100 m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Kemer trafosu 250 kVA gücündedir. Kemer trafo merkezi ile belediye garajı yanı trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 800 m (3x3/0) iletken ve 130m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır.

Belediye garajı yanındaki trafo 400 kVA gücündedir. Belediye garajı yanı trafo merkezi ile dağıtım merkezi arasındaki orta gerilim hattı 550 m (3x3/0) ve 250 m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Dağıtım merkezi trafosu 50 kVA gücündedir. Dağıtım merkezi ile mavikent trafo merkezi branşmanı arasındaki orta gerilim hattı 200 m (3x1/0) iletken ve 200 m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Mavikent trafo merkezi branşmanı ile mavikent trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 50 m 3 adet (1x50) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Mavikent trafosu 160 kVA gücündedir. Mavikent trafo merkezi branşmanı ile otoban gişeler trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 2150 m (3x1/0) ve 100 m (3xSW) iletkenlerden oluşmaktadır. Otoban gişeler trafosu 400 kVA gücündedir. Dağıtım merkezi ile kırkpınar k.ö.k arasındaki orta gerilim hattı 1850 m (3x3/0) iletken ve 250 m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Kırkpınar k.ö.k

ile cantaş yanındaki trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 600 m (3x1/0) iletkenden oluşmaktadır. Cantaş yanındaki trafo 400 kVA gücündedir. Cantaş yanındaki trafo merkezi ile kristal su fabrikasının trafo merkezi branşmanı arasındaki orta gerilim hattı 1600 m (3x1/0) iletkenden oluşmaktadır. Kristal su fabrikasının trafo merkezi branşmanı ile kristal su fabrikası trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 100 m (3xSW) iletkenden oluşmaktadır. Kristal su fabrikası trafosu 400 kVA gücündedir. Kristal su fabrikasının trafo merkezi branşmanı ile buzhane yanındaki trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 1200 m (3x1/0) iletkenden oluşmaktadır. Buzhane yanındaki trafo 400 kVA gücündedir. Kırkpınar k.ö.k ile mezarlık yanındaki trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 1000m (3x1/0) iletkenden oluşmaktadır. Mezarlık yanındaki trafo 1000 kVA gücündedir.

Mezarlık yanındaki trafo merkezi ile park içi trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 400 m (3x1/0)

iletken ve 600 m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Park içi trafosu 1000 kVA gücündedir. Park içi trafo merkezi ile D.E.D sitesi karşısındaki trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 1100 m 3 adet (1x50) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. D.E.D sitesi karşısındaki trafo 250 kVA gücündedir. D.E.D sitesi karşısındaki trafo merkezi ile göltepe sitesi trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 500 m 3 adet(1x50) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Göltepe sitesi trafosu 630 kVA gücündedir. D.E.D sitesi karşısındaki trafo merkezi ile D.E.D sitesi trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 300 m 3 adet (1x50) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. D.E.D sitesi trafosu 630 kVA gücündedir. Bu bilgiler sonucunda şekil 2.'de gösterildiği gibi sakarya ili sapanca ilçesine ait hesaplanan dağıtım hatlarının ve trafoların empedans değerleri hesaplanmıştır.

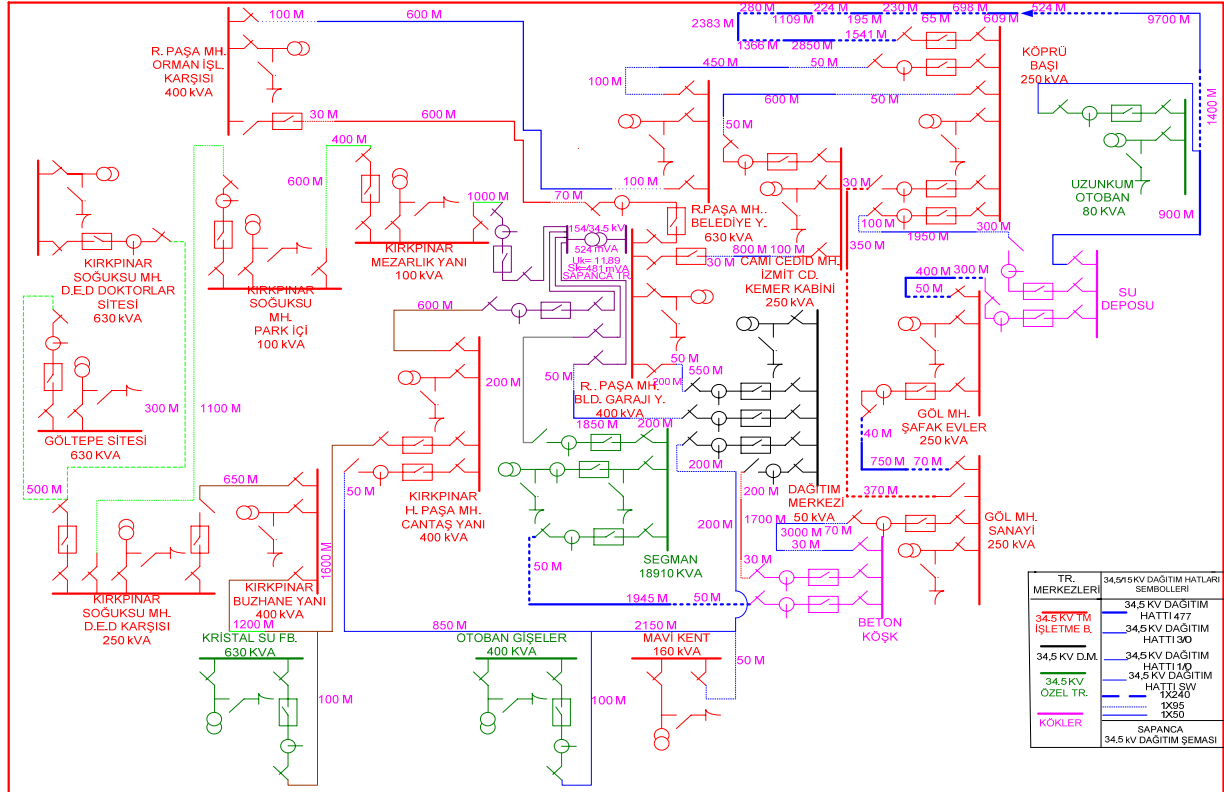


Şekil 2. Sapanca ilçesinin adapazarı trafo merkezinden beslenmesi halindeki hatların ve trafoların empedansları

### 3. Sakarya ili Sapanca ilçesi elektrik dağıtım şebekesinin kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumunda hat ve trafo empedans değerlerinin bulunması

Sapanca ilçesi 100 MVA gücündeki adapazarı trafo merkezi yerine, yine 100 MVA gücündeki kırkpınar

trafo merkezinden beslendiğinde sapanca ilçesinin orta gerilim hattının kısa devre gücünü bulmak için, kırkpınar trafo merkezindeki 154/34.5 kV trafonun ve hatların empedanslarının hesaplanması gerekir. Şekil 3'de sapanca ilçesinin kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumuna ait tek hat şeması verilmiştir.



Şekil 3. Sapanca ilçesinin kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumundaki orta gerilim dağıtım şeması

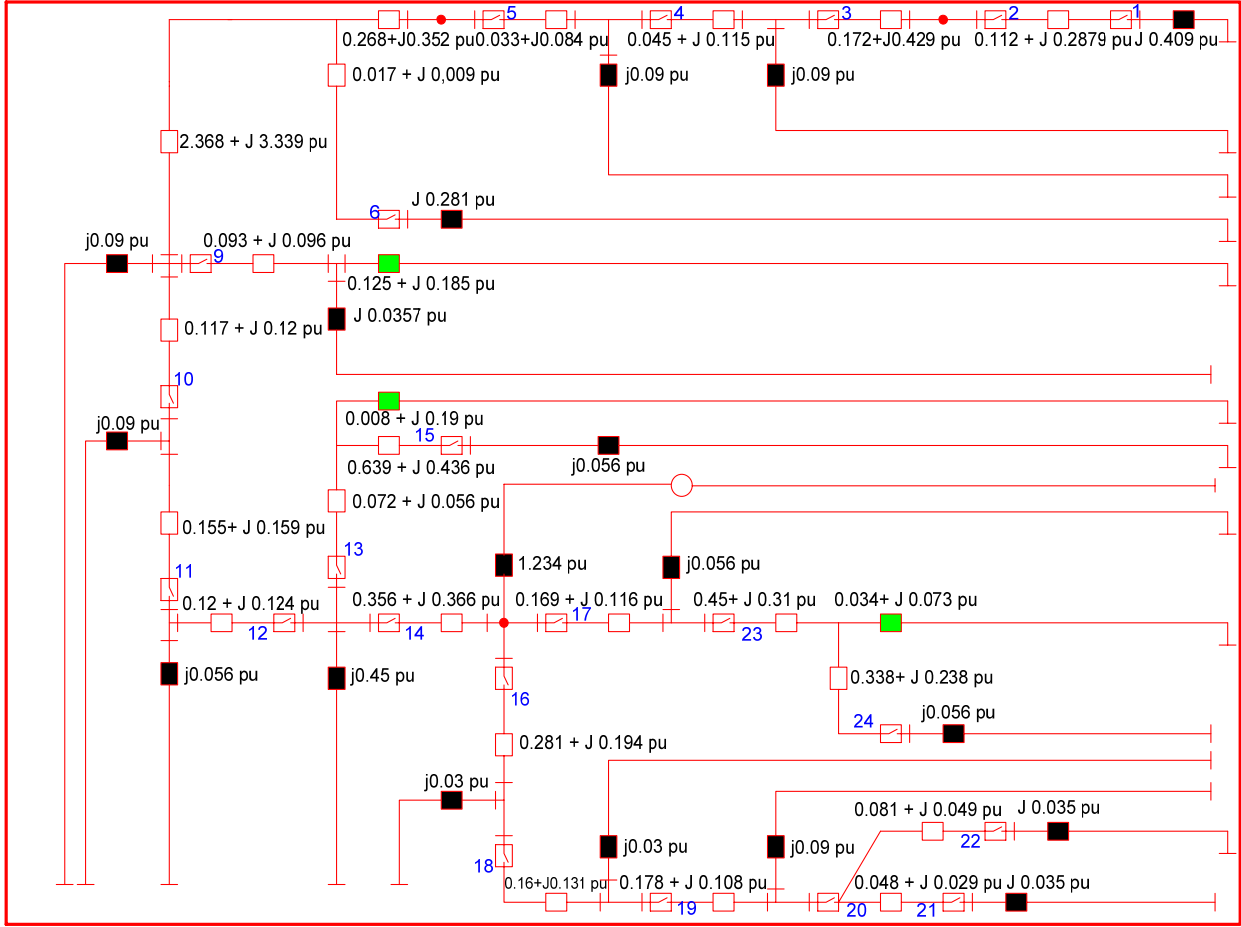
Burada sapanca ilçesinin adapazarı trafo merkezinden beslenmesi hali ile aynı olan trafo güçleri ve dağıtım hatlarının empedansları hesaplanmamıştır. Sapanca ilçesi 100 MVA gücündeki kırkpınar trafo merkezinden beslenmektedir. Kısa devre gücü  $S_k = 850$  MVA, baz gerilimi  $V_{BAZ} = 34.5$  kV ve  $S_{BAZ} = 500$  MVA'dır.

Kırkpınar trafo merkezi ile mezarlık yanındaki trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 1000 m (3x1/0) iletken oluşmaktadır. Kırkpınar trafo merkezi ile cantaş yanındaki trafo merkezi arasındaki orta gerilim hattı 600 m (3x1/0) iletken oluşmaktadır.

Kırkpınar trafo merkezi ile dağıtım merkezi arasındaki orta gerilim hattı 1850 m (3x3/0) iletken ve 250 m 3 adet (1x95) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır.

Köprübaşı trafo merkezi ile otoban parkı trafo merkezi branşmanı arasındaki orta gerilim hattı 7221 m (3x477), 9700 m (3x3/0) iletken ve 6263 m 3 adet (1x240) mm<sup>2</sup> XLPE kablodan oluşmaktadır. Bu bilgiler sonucunda şekil 4.'de kırkpınar trafo merkezinden beslendiği kabul edilen sakarya ili sapanca ilçesine ait hesaplanan dağıtım hatlarının ve trafoların empedans değerleri hesaplanmıştır.





Şekil 4. Sapanca ilçesinin kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi halindeki hatların ve trafoların empedansları

#### 4. Sapanca ilçesinin 154/34.5 kv Adapazarı trafo merkezinden beslenmesi durumunda hatların kısa devre hesabı

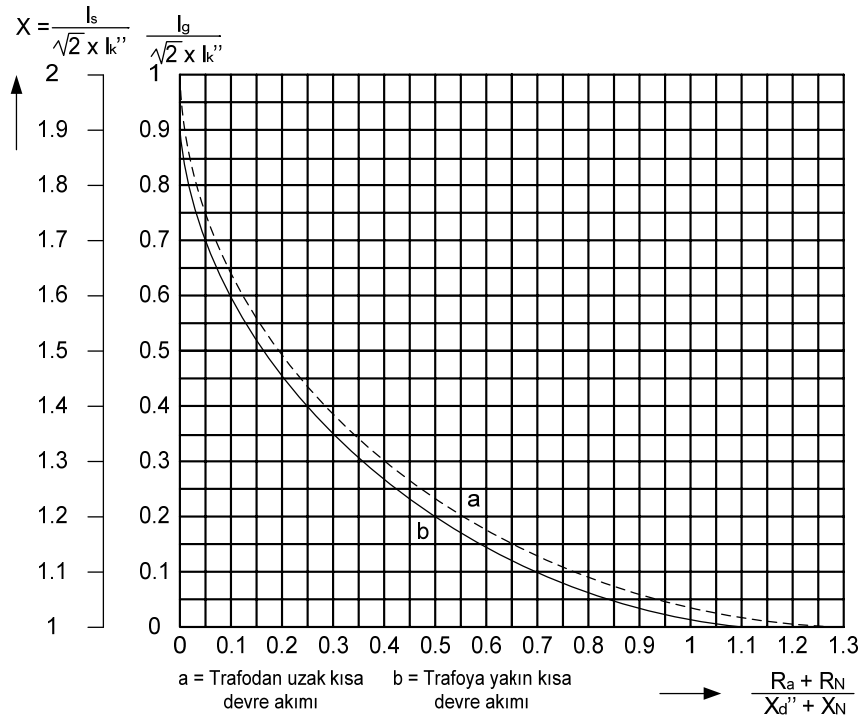
Zamana göre kısa devre akımı 4 kısımdan oluşur[6].  
Bunlar ;

- 1 – Başlangıç kısa devre akımı ( $I_k''$ )
- 2 - Darbe kısa devre akımı ( $I_S$ )
- 3 – Kısa devre açma akımı ( $I_a$ )
- 4 - Sürekli kısa devre akımı ( $I_k$ )

Kısa devre akımının zamana göre değerlerinden başlangıç kısa devre akımı yanında bilhassa iki değer önemlidir. Bunlar, kısa devre anından sonraki ilk tepe değer ve kısa devre sürekli değerleridir. İlk tepe değer, yani ( $I_S$ ) ile gösterilen darbe kısa devre akımı daima tepe değer olarak alınacaktır. Bu darbe kısa

devre akımı, tesisatın çeşitli kısımlarının dinamik zorlanması ve kesicilerin devre açma zorlanmasında önemli rol oynar. Kısa devrenin kesilmesi anında kısa devre akımının efektif değeri ( $I_a$ ) ile gösterilmektedir. Bu akım, kesicilerin devre açma zorlanmasını tayin eden esas büyüklüktür. ( $I_k$ ) Sürekli kısa devre akımı ise sönümlü hareketin son değerini ve darbe kısa devre akımının değişimini tayin eder.

Şekil 5. de kısa devre yolunun ( $R / X$ ) oranına bağlı olarak ( $I_g / \sqrt{2} . I_k''$ ) ve ( $I_S / \sqrt{2} . I_k''$ ) doğru akım ve darbe kısa devre akım bileşenlerinin değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5. deki (b) eğrisi, trafoya yakın devreler için ( $R / X$ ) oranına bağlı olarak ( $x = I_S / \sqrt{2} I_k''$ ) değişimini göstermektedir. Burada ( $x$ ) darbe kısa devre akımı katsayısıdır.

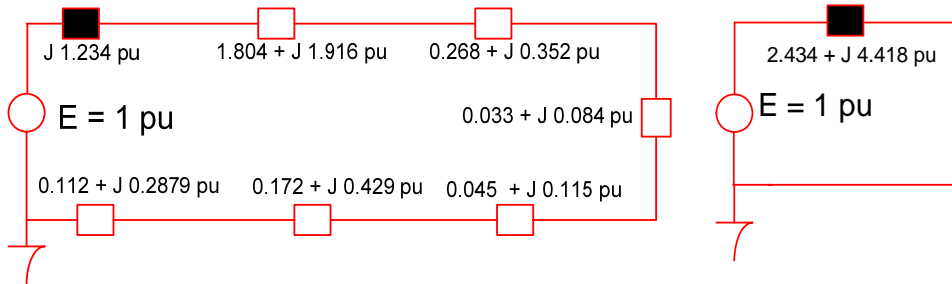


Şekil 5. Kısa devre yolunun (R/X) oranına bağlı olarak  $(I_g / \sqrt{2} \cdot I_k'')$  ve  $(I_s / \sqrt{2} \cdot I_k'')$  doğru akım ve darbe kısa devre akım bileşenlerinin değişimleri

Kısa devre akımının açma anını, kesicilerin minimum açma gecikmesi tayin etmektedir[7].

Buda kesicilerin kendi zamanına ve açma için çalışan röle ve diğer cihazların minimum gecikmesine bağlıdır. Koruma cihazlarının ve kesicilerin cinsine göre bu zaman ( 0.1 ile 0.25 saniye ) arasında bulunmaktadır. Transformatöre yakın kısa devrelerde transformatörlerin topraklanması durumunda ( $I_a$ ) açma kısa devre akımı, başlangıç kısa devre akımı olan ( $I_k''$ ) ne eşit alınabilmektedir. Bir başka deyişle ( $\mu = I_a / I_k'' = 1$ ) olacaktır[8].

Başlangıç kısa devre gücü başlangıç kısa devre akımıyla işletme gerilimi ve  $\sqrt{3}$  katsayısının çarpımı ile elde edilmektedir. Yani  $S_k = \sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_k''$  bulunmaktadır. Kısa devre açma gücü kısa devre açma akımıyla işletme gerilimi ve  $\sqrt{3}$  katsayısının çarpımı ile elde edilmektedir. Yani  $S_a = \sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_a''$  bulunmaktadır. Sapanca ilçesinin 154/34.5 kV Adapazarı trafo merkezinden beslenmesi durumunda ; Segman fabrikası trafo merkezinde kısa devre oluştuğu takdirde şekil 6.daki besleme şeması oluşur.



Şekil 6. Segman fabrikası trafo merkezinde kısa devre olduğu takdirde hattın besleme şeması



Bu şemaya göre şebekenin eşdeğer empedansı ;

$$Z = 2.434 + j 4.418 \text{ pu} \Rightarrow |Z| = 5.044 \angle 61.14^\circ \text{ pu} , (19)$$

başlangıç kısa devre akımı ;

$$|I_k''|_{\text{pu}} = \frac{CXE}{\sqrt{3X|Z|}} = \frac{1.1X1}{\sqrt{3X4.737}} = 0.134 \text{ pu} \quad (20)$$

$$|I_k''| = I_a = I_B \times |I_k''|_{\text{pu}} = 8.367 \times 0.125 = 1.045 \text{ kA} \quad (21)$$

Darbe kısa devre akımı ;

$$I_s = x \cdot \sqrt{2} \cdot |I_k''| , \quad \frac{R}{X} = \frac{2.434}{4.418} = 0.55 \quad (22)$$

Şekil 5. den  $x=1.2$  olarak bulunur.

$$I_s = x \cdot \sqrt{2} \cdot |I_k''| = 1.2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1.045 = 1.773 \text{ kA} \quad (23)$$

Başlangıç kısa devre gücü ve kısa devre açma gücü ;

$$S_k'' = S_a = |I_k''| \times E \times \sqrt{3} = 1.045 \times 34.5 \times \sqrt{3} = 62.44 \text{ MVA} \quad (24)$$

olarak bulunur.

Beton köşkte oluşacak olan kısa devrede şebekenin eşdeğer empedansı  $|Z| = 4.737 \angle 60.65^\circ \text{ pu}$ , başlangıç kısa devre akımı ve kısa devre açma akımı  $|I_k''| = 1.121 \text{ kA}$ , darbe kısa devre akımı  $I_s = 2.036 \text{ kA}$ , başlangıç kısa devre gücü ve kısa devre açma gücü  $S_k'' = 67.76 \text{ MVA}$  olarak bulunur. Tüm dağıtım merkezleri için benzer hesaplamalar yapılmıştır.

Buna göre sapanca ilçesinin adapazarı trafo merkezinden beslenmesi durumundaki oluşacak olan kısa devrede şebekenin eşdeğer empedansı  $|Z|$ , kısa devre açma akımı  $|I_k''|$ , darbe kısa devre akımı  $I_s$  ve kısa devre açma gücü  $S_k''$  ile alakalı yapılan hesaplama sonuçları Tablo 1.'de verilmiştir

### 5. Sapanca ilçesinin 154/34.5 kv adapazarı trafo merkezinden beslenmesi durumunda meydana gelecek kısa devreye karşı koruma teçhizatının seçimi

Kısa devre hesaplarına göre kesici, ayırıcı ve akım trafosu seçimi yapılarak koruma sağlanır [9].

Tablo 1. Sapanca ilçesinin adapazarı T.M'den beslenmesi durumundaki yapılan hesaplama sonuçları

Kısa devre yeri	$ Z $ (pu)	$ I_k'' $ (kA)	$I_s$ (kA)	$S_k''$ (MVA)
Göl mahallesi sanayi trafo merkezi	4.280 <sup>59.84</sup>	1.238	2.065	73.970
Şafakevler trafo merkezi	4.158 <sup>59.58</sup>	1.271	2.121	75.940
Yüzevler su deposu trafo merkezi	4.069 <sup>59.38</sup>	1.305	2.159	77.980
Uzunkum otoban parkı trafo merkezi	3.646 <sup>60.03</sup>	1.455	2.448	86.944
Adapazarı trafo merkezi	1.234 <sup>90.00</sup>	4.300	12.162	256.949
Köprübaşı trafo merkezi	2.370 <sup>76.34</sup>	2.233	4.736	133.434
Kemer trafo merkezi	3.589 <sup>74.43</sup>	1.472	2.976	87.960
Belediye garajı trafo merkezi	2.719 <sup>72.18</sup>	1.950	3.833	116.523
Dağıtım trafo merkezi	2.875 <sup>70.66</sup>	1.840	3.512	109.950
Otoban gişeler trafo merkezi	3.610 <sup>62.57</sup>	1.464	2.525	87.480
Kırkpınar K.Ö.K trafo merkezi	3.345 <sup>66.98</sup>	1.581	2.884	94.470
Mezarlık yanı trafo merkezi	3.638 <sup>64.10</sup>	1.455	2.572	86.944
Park içi trafo merkezi	3.820 <sup>62.80</sup>	1.388	2.394	82.940
D.E.D sistesi karşısı trafo merkezi	4.005 <sup>61.24</sup>	1.321	2.241	78.937
D.E.D sistesi trafo merkezi	4.054 <sup>60.84</sup>	1.305	2.214	77.981
Göltepe sitesi trafo merkezi	4.088 <sup>60.58</sup>	1.296	2.181	100.435
Cantaş yanı trafo merkezi	3.519 <sup>65.18</sup>	1.506	2.662	89.992
Kristal su fabrikası trafo merkezi	4.369 <sup>58.77</sup>	1.213	2.000	72.480

#### 5.1. Kesici seçimi

Trafo merkezlerinde gazlı kesici kullanılmıştır. Kesici seçiminde dikkat edilecek en önemli faktör,  $S_a$

kısa devre açma gücüdür. 154 / 34.5 kV adapazarı trafo merkezinde kısa devre açma gücü  $S_a=256.949 \text{ MVA}$  dır. Anma gerilimi  $U_n = 36 \text{ kV}$  anma akımı 630

A dir. Kesicilerin anma kesme ve anma sürekli akım değerleri Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kesicilerin anma kesme ve anma sürekli akım değerleri

Anma Gerilimi (kV)	Kısa Devre Anma Kesme Akımı (kA)	Anma Sürekli Çalışma Akımı (A)				
36	8	630	-	-	-	-
	12.5	630	1250	-	-	-
	16	630	1250	1600	-	-
	25	-	1250	1600	2500	-
	40	-	-	1600	2500	4000

Buna göre tablo2. den  $I_a = 4.3$  kA' e yakın üst değeri  $I_a = 16$  kA olarak bulunur. Kesicilerin tepe açma gücü  $N_a = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_a$   $N_a = \sqrt{3} \cdot 36 \cdot 16 = 997.661$  MVA ve  $N_a > S_a$  olduğundan kesici seçimi uygundur. Kesici hesaplarında adapazarı trafo merkezi hattın başında olduğu için kesicisi 36 kV 630 A ve kısa devre açma akımı 16 kA olan kesici seçilmiştir. Kısa devre açma gücü ve kısa devre açma akımı en fazla olan köprübaşı trafo merkezinin kesici hesabı yapılırsa;

Köprübaşı trafo merkezinde kısa devre açma gücü  $S_a = 133.434$  MVA dır. Anma gerilimi  $U_n = 36$  kV anma akımı 630 A dir. Buna göre tablo 2. den  $I_a = 2.233$  kA' e yakın üst değeri  $I_a = 12.5$  kA olarak bulunur. Kesicinin tepe açma gücü  $N_a = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_a$   $N_a = \sqrt{3} \cdot 36 \cdot 12.5 = 779.422$  MVA olarak bulunur.  $N_a > S_a$  olduğundan kesici uygundur. Köprübaşı trafo merkezine 36 kV 630A ve kısa devre açma akımı 12.5 kA olan kesici seçilmiştir. Tedaş'ın malzeme daire başkanlığının talimatlarına göre hatlarda 12.5 kA den küçük kesici kullanılmamaktadır[10]. Diğer trafo merkezlerinin kısa devre açma gücü ve kısa devre açma akımı adapazarı trafo merkezi ve köprübaşı trafo merkezlerinkinden küçük olduğu için bütün trafo merkezlerinde 36 kV 630 A ve kısa devre açma akımı 12.5 kA olan kesiciler seçilmiştir.

## 5.2. Ayırıcı seçimi

Ayırıcı seçiminde dikkat edilecek en önemli faktör, darbe kısa devre akımıdır. Ayırıcı seçimi bu akımın değerine göre yapılır. Ayırıcıların nominal akım değerleri Tablo 3' de gösterilmiştir.

### 5.2.1. Adapazarı trafo merkezinde ayırıcı seçimi

Adapazarı trafo merkezinde darbe kısa devre akımı  $I_s = 12.162$  kA dir. Tablo 3. den  $I_s = 12.162$  kA ' e karşılık gelen nominal darbe akım değeri 35 kA olarak bulunur. Bu değere anma gerilimi 36 kV da karşılık gelen nominal akım 400 A olarak bulunur.

Tablo 3. Ayırıcıların nominal akım değerleri

Gerilimi (kV)	Darbe Kısa Devre Akımı (kA)	Nominal Akım (A)
36	35	400
	50	630
	100	1000
	150	2000-3000

### 5.2.2. Köprübaşı trafo merkezinde ayırıcı seçimi

Köprübaşı trafo merkezinde darbe kısa devre akımı  $I_s = 4.736$  kA' dir. Tablo 3. den  $I_s = 4.736$  kA' e karşılık gelen nominal darbe akımı 35 kA olarak bulunur. Bu değere anma gerilimi 36 kV da karşılık gelen nominal akım 400 A' dir. Diğer trafo merkezlerinin darbe kısa devre akımları, bu trafo merkezlerinkinden küçük olduğu için ve tablo 3. deki en küçük ayırıcı tipi olan 36 kV' a karşılık gelen tepe değeri 35 kA ve nominal akım değeri 400 A olan ayırıcılar seçilmiştir.

## 5.3. Akım trafosu seçimi

Sapanca hattı bir ring şebeke olduğundan hattı koruma maksadıyla yapılan akım trafoları hepsi birbirine eşittir. Yalnız trafo merkezlerindeki transformatörlerin akım trafoları transformatörün gücüne göre hesaplanır.

### 5.3.1. Hattın akım trafosu seçimi

Burada akım trafoları koruma maksadıyla yapıldığı için  $n > 10$  olarak alınır. Akım trafolarının sekonderine bağlı yükler ve bu yüklerle ait güç değerleri Tablo 4' de gösterilmiştir.

Tablo 4. Akım trafosu sekonderine bağlı yükler

Kullanılan aletin adı	Gücü (VA)
Aşırı akım toprak rölesi	8
Diferansiyel röle	1
İletkenler	3
Harcanan toplam güç değeri	12

Buna göre trafo gücü :  $S_n = 15$  VA seçilir. Buna göre aşırı akım katsayısı  $n' = \frac{S_n \cdot n}{S} = \frac{15 \cdot 10}{12} = 12.5$   $n' > n$

12.5 > 10 olduğu için uygundur.

### 5.3.1.1. Primer anma akımı

$$S_1 = 25170 \text{ kVA ve } I = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{25170}{\sqrt{3} \cdot 34.5} = 421.21 \text{ A} \quad (25)$$

Seçilen akım trafosunun etiket değerleri 400/5,  $S_n = 15$  VA , sınıfı : 1s'dir.

### 5.3.1.2. Kısa süreli termik anma akımı

Kısa süreli termik anma akımı üretim yapan fabrikalar tarafından verilmektedir. Bu fabrikalar tarafından verilmediği takdirde primer anma akımının 80 ile 100 katı arasında alınmaktadır. Buna göre primer akımı 400/5 olan bir akım trafosunun kısa süreli termik anma akımı  $I_{th} = 80 \times 400 = 32000$  A olur.

### 5.3.1.3. Dinamik dayanım anma akımı

Dinamik dayanım anma akımı Ith akımının 2.5 katıdır. Buna göre  $I_d = 2.5 \times I_{th} = 2.5 \times 32000 = 80000$  A dir.

### 5.3.2. Transformatörlerin akım trafosunun seçilmesi

#### 5.3.2.1. Uzunkum otoban trafo merkezindeki akım trafolarının seçilmesi

Trafo gücü :  $S_n = 15$  VA 'dır. Buna göre aşırı akım katsayısı  $n' = \frac{S_n \cdot n}{S} = \frac{15 \cdot 10}{12} = 12.5$   $n' > n$

12.5 > 10 olduğu için uygundur. Primer anma akımı

$$S_1 = 80 \text{ kVA ve } I = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 34.5} = 1,33 \text{ A} \quad \text{'dir.}$$

Bu değer primerden geçen akım değeridir. Seçilen akım trafosunun etiket değerleri 10/5A,  $S_n = 15$  VA , sınıfı : 1s'dir. Kısa süreli termik anma akımı  $I_{th} = 100 \times 10 = 1000$  A olarak bulunur. Dinamik dayanım anma akımı ise  $I_d = 2.5 \times I_{th} = 2.5 \times 1000 = 2500$  A 'dir. Uzunkum otoban trafo merkezinde darbe kısa devre akımı  $I_s = 2448$  A <  $I_d = 2500$  A olup uygundur.

Tüm transformatör merkezlerindeki akım trafolarının seçimi için benzer hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre sapanca ilçesine ait transformatör merkezlerindeki seçilen akım trafolarının etiket değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Sapanca ilçesine ait transformatör merkezlerindeki akım trafolarının etiket değerleri

Transformatör merkezinin adı	Sarım oranı	Gücü (VA)	Sınıfı
Otoban gişeler trafo merkezi	10/5	15	1
Kristal su fabrikası trafo merkezi	15/5	15	1
Göltepe trafo merkezi	15/5	15	1
D.E.D. sitesi trafo merkezi	15/5	15	1
Dağıtım trafo merkezi	10/5	15	1
Segman fabrikası trafo merkezi	300/5	15	1

### 5.4. Gerilim trafosu seçimi

Gerilim trafosu su deposu K.Ö.K ve köprübaşı trafo merkezlerinde bulunmaktadır. Gerilim trafolarının sekonderine bağlı yükler ve bu yüklere ait güç değerleri tablo 6. de gösterilmiştir.

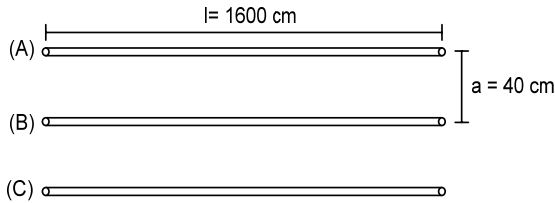
Tablo 6. Gerilim trafosu sekonderine bağlı yükler

Kullanılan aletin adı	Gücü (VA)
Voltmetre	2
Aktif sayaç	2
Reaktif sayaç	4
Cos $\phi$ metre	5
İletkenler	1.785
Harcanan toplam güç değeri	14.785

Çekilen toplam güç : 15 VA 'dır. Buna göre seçilen gerilim trafosunun etiket değeri  $34.5 \text{ kV} / \sqrt{3} / 0.1 \text{ kV} / \sqrt{3}$ ,  $S = 15 \text{ VA}$  ve sınıfı 0.2s olur.

### 5.5. Bara seçimi

Kısa devre akımı en yüksek olan ( $I_s = 4.736 \text{ kA}$ ) köprübaşı trafo merkezinin bara hesabı yapılırsa, mekanik dayanım yönünden orta gerilim tesislerinde kullanılması gereken minimum bara iletkeninin kesiti  $40 \times 5 \text{ mm}^2$  dir. Bu kesitteki bakır baranın taşıyacağı akım değeri 600 amperdir. İki mesnet izolatörü arasındaki bara açıklığı  $l = 200 \text{ cm}$  ve baralar (fazlar) arası açıklık ise  $a = 40 \text{ cm}$ 'dir. Şekil 7.'de  $40 \times 5 \text{ mm}^2$  kesitteki baraların fazlar arası açıklığı gösterilmiştir.



Şekil 7.  $40 \times 5 \text{ mm}^2$  baranın fazlar arası açıklığı

Bara iletkenlerinden, üç fazlı arızada geçecek  $34.5 \text{ kV}$  darbe kısa devre akımı  $I_s$  ise; bara iletkenlerinin dinamik kuvveti

$$F_h = 2.04 \times I_s^2 \times \frac{l(\text{cm})}{d(\text{cm})} \times 10^{-2} \text{ kilogram kuvvet'dir.} \quad (26)$$

$$F_h = 2.04 \times (4.736)^2 \times \frac{200}{40} \times 10^{-2} = 2.287 \text{ kilogram kuvvet bulunur.}$$

$$\text{İletkenlerin gerilmesi ise ; } \sigma_h = V_\sigma \times \frac{F_h x l}{12 W y} \text{ dir.} \quad (27)$$

$$\sigma_h = 1 \times \frac{2.287 \times 200}{12 \times 0.167} = 228.24 \text{ kgk / cm}^2 \text{ çıkar.}$$

$40 \times 5 \text{ mm}^2$  bakır bara iletkeninin anma gerilmesinin en küçük değeri  $\sigma_{0.2} = 2500 \text{ kgk / cm}^2$  olarak

bulunur.  $\sigma_h = 228.24 \text{ kgk / cm}^2 < 2 \times \sigma_{0.2} = 2 \times 2500 \text{ kgk / cm}^2$ 'dir.

Darbe kısa devre akımı en yüksek olan köprübaşı trafo merkezine  $40 \times 5 \text{ mm}^2$  kesitli Cu bara yeterli gelmektedir. Bu nedenle darbe kısa devre akımı daha küçük olan diğer trafo merkezlerinin bara hesaplarının yapılmasına gerek yoktur.

### 6. Sapanca ilçesinin 154/34.5 kv kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumunda hatların kısa devre hesabı

Sapanca ilçesinin 154/34.5 kV adapazarı trafo merkezi yerine kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumunda ;

Kristal su fabrikası trafo merkezinde oluşacak olan kısa devrede şebekenin eşdeğer empedansı  $|Z| = 2.12$

$\angle 63.16^\circ$  pu, başlangıç kısa devre akımı ve kısa devre açma akımı  $|I_k| = 2.275 \text{ kA}$ , darbe kısa devre akımı  $I_s = 3.957 \text{ kA}$ , başlangıç kısa devre gücü ve kısa devre açma gücü  $S_k = 135.944 \text{ MVA}$  olarak bulunur. Tüm dağıtım merkezleri için benzer hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre sapanca ilçesinin kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumundaki oluşacak olan kısa devrede şebekenin eşdeğer empedansı  $|Z|$ , kısa devre açma akımı  $|I_k|$ , darbe kısa devre akımı  $I_s$  ve kısa devre açma gücü  $S_k$  ile alakalı yapılan hesaplama sonuçları tablo 7.'de verilmiştir.

### 7. Sapanca ilçesinin 154/34.5 kv kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumunda meydana gelecek kısa devreye karşı koruma teçhizatının seçimi

#### 7.1. Kesici seçimi

$154 / 34.5 \text{ kV}$  kırkpınar trafo merkezinde kısa devre açma gücü  $S_a = 256.949 \text{ MVA}$  dir. Anma gerilimi  $U_n = 36 \text{ kV}$  anma akımı  $630 \text{ A}$  dir. Buna göre tablo 2. den  $I_a = 4.3 \text{ kA}$ 'e yakın üst değeri  $I_a = 16 \text{ kA}$  olarak bulunur. Kesicilerin tepe açma gücü  $N_a = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_a$   $N_a = \sqrt{3} \cdot 36 \cdot 16 = 997.661 \text{ MVA}$  ve  $N_a > S_a$  olduğundan kesici seçimi uygundur. Kesici hesaplarında kırkpınar trafo merkezi hattın başında olduğu için kesicisi  $36 \text{ kV}$   $630 \text{ A}$  ve kısa devre açma akımı  $16 \text{ kA}$  olan kesici seçilmiştir. Kısa devre açma gücü ve kısa devre açma akımı en fazla olan cantaş yanındaki trafo merkezinin kesici hesabı yapılır;

Cantaş yanındaki trafo merkezinde kısa devre açma gücü  $S_a = 232.987$  MVA dır. Anma gerilimi  $U_n = 36$  kV anma akımı 630 A dir. Buna göre tablo 2. den  $I_a = 3.899$  kA' e yakın üst değeri  $I_a = 12.5$  kA olarak bulunur. Kesicinin tepe açma gücü  $N_a = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_a$   $N_a = \sqrt{3} \cdot 36 \cdot 12.5 = 779.422$  MVA olarak bulunur.  $N_a > S_a$  olduğundan kesici uygundur.

Cantaş yanındaki trafo merkezine 36 kV 630A ve kısa devre açma akımı 12.5 kA olan kesici seçilmiştir. Diğer trafo merkezlerinin kısa devre açma gücü ve kısa devre açma akımı kırkpınar trafo merkezi ve cantaş yanındaki trafo merkezlerinden küçük olduğu için bütün trafo merkezlerinde 36 kV 630 A ve kısa devre açma akımı 12.5 kA olan kesiciler seçilmiştir.

Tablo 7. Sapanca ilçesinin kırkpınar T.M' den beslenmesi durumundaki yapılan hesaplama sonuçları

Kısa devre yeri	$ Z $ (pu)	$ I_k'' $ (kA)	$I_s$ (kA)	$S_k''$ (MVA)
Cantaş yanı trafo merkezi	1.360 <sup>82.86</sup>	3.899	9.373	232.987
Kırkpınar trafo merkezi	1.234 <sup>90.00</sup>	4.300	12.162	256.949
Mezarlık yanı trafo merkezi	1.455 <sup>78.86</sup>	3.648	5.932	217.988
Park içi trafo merkezi	1.620 <sup>74.20</sup>	3.279	6.538	195.939
D.E.D sistemi karşısı trafo merkezi	1.778 <sup>69.62</sup>	2.987	5.618	178.490
D.E.D sitesi trafo merkezi	1.796 <sup>60.89</sup>	2.953	5.429	176.458
Göltepe sitesi trafo merkezi	1.827 <sup>67.47</sup>	2.903	5.337	173.470
Dağıtım trafo merkezi	1.639 <sup>80.57</sup>	3.238	6.868	193.489
Otoban gişeler trafo merkezi	2.348 <sup>62.97</sup>	1.899	3.276	113.476
Belediye garajı yanı trafo merkezi	1.788 <sup>74.56</sup>	2.936	5.937	175.442
Kemer trafo merkezi	2.591 <sup>75.91</sup>	2.049	4.201	122.439
Köprübaşı trafo merkezi	2.138 <sup>69.52</sup>	2.484	4.637	148.433
Uzunkum otoban parkı trafo merkezi	5.901 <sup>57.98</sup>	0.895	1.455	53.481
Yüzeyler su deposu trafo merkezi	6.342 <sup>70.71</sup>	0.836	1.359	49.955
Şafakevler trafo merkezi	6.431 <sup>57.76</sup>	0.819	1.331	48.939
Göl mahallesi sanayi trafo merkezi	6.552 <sup>57.97</sup>	0.803	1.305	47.983
Beton köşk trafo merkezi	7.007 <sup>58.63</sup>	0.753	1.256	44.996
Segman fabrikası trafo merkezi	7.567 <sup>59.04</sup>	0.694	1.158	41.470

## 7.2. Ayırıcı seçimi

Hat başı olan kırkpınar trafo merkezinin ve darbe kısa devre akımı en fazla olan cantaş yanındaki trafo merkezinin ayırıcı seçimi yapılmıştır.

### 7.2.1. Kırkpınar trafo merkezinde ayırıcı seçimi

Kırkpınar trafo merkezinde darbe kısa devre akımı  $I_s = 12.162$  kA dir. Tablo 3. den  $I_s = 12.162$  kA 'e karşılık gelen nominal darbe akım değeri 35 kA olarak bulunur. Bu değere anma gerilimi 36 kV da karşılık gelen nominal akım 400 A olarak bulunur.

### 7.2.2. Cantaş yanındaki trafo merkezinin ayırıcı seçimi

Cantaş yanındaki trafo merkezinde darbe kısa devre akımı  $I_s = 9.373$  kA' dir. Tablo 3. den  $I_s = 9.373$  kA 'e karşılık gelen nominal darbe akımı 35 kA olarak bulunur. Bu değere anma gerilimi 36 kV da karşılık gelen nominal akım 400 A' dir. Diğer trafo

merkezlerinin darbe kısa devre akımları, bu trafo merkezlerinkinden küçük olduğu için ve tablo 3. deki en küçük ayırıcı tipi olan 36 kV' a karşılık gelen tepe değeri 35 kA ve nominal akım değeri 400 A olan ayırıcılar seçilmiştir.

## 7.3. Akım trafosu seçimi

Toplam güç değişmediği için, daha önce hesaplanan akım trafosu değerleri ile aynı değerlerdedir.

## 7.4. Gerilim trafosu seçimi

Gerilim trafosu kırkpınar mezarlık yanı ve cantaş yanı trafo merkezleri ile dağıtım merkezinde bulunmaktadır. Çekilen toplam güç : 15 VA 'dır. Seçilen gerilim trafosunun etiket değeri  $34.5 \text{ kV} / \sqrt{3} / 0.1 \text{ kV} / \sqrt{3}$ , S = 15 VA ve sınıfı 0.2s olur.

## 7.5. Bara seçimi

Kısa devre akımı en yüksek olan (  $I_s = 9.373$  kA) cantaş yanı trafo merkezinin bara hesabı yapılırsa ;

$$F_h = 2.04 \times (9.373)^2 \times \frac{200}{40} \times 10^{-2} = 8.961 \text{ kilogram}$$

kuvvet bulunur.

$$\sigma_h = 1 \times \frac{8.961 \times 200}{12 \times 0.167} = 894.311 \text{ kgk / cm}^2 \text{ çıkar.}$$

40 x 5 mm<sup>2</sup> bakır bara iletkeninin anma gerilmesinin en küçük değeri  $\sigma_{0.2} = 2500 \text{ kgk / cm}^2$ 'dir.

$$\sigma_h = 894.311 \text{ kgk / cm}^2 < 2 \times \sigma_{0.2} = 2 \times 2500 \text{ kgk / cm}^2 \text{ 'dir.}$$

Darbe kısa devre akımı en yüksek olan cantaş yanı trafo merkezine 40 x 5 mm<sup>2</sup> kesitli Cu bara yeterli gelmektedir. Bu nedenle darbe kısa devre akımı daha küçük olan diğer trafo merkezlerinin bara hesaplarının yapılmasına gerek yoktur.

## 8. Sonuçlar

Sakarya ili sapanca ilçesinin adapazarı trafo merkezi ve kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumuna göre başlangıç kısa devre akımları ile başlangıç kısa devre güçleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Başlangıç kısa devre akımlarının birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür. İndirici merkezlere uzak olan trafoların yakın olan trafolarla göre başlangıç kısa devre akımlarının ve başlangıç kısa devre güçlerinin daha düşük çıktığı görülmektedir. Yapılan bu kısa devre hesaplarına göre kesici seçimi yapılırken tedarik malzeme daire başkanlığının hatlarda 12.5 kA den küçük kesici kullanılmamasına ilişkin talimatına göre 36 kV 630 A ve kısa devre açma akımı 12.5 kA olan kesiciler seçilmiştir. Trafo merkezlerinde kullanılan ayırıcıların seçimi hesaplanan darbe kısa devre akımları baz alınarak yapılmıştır.

Hattın korunması için koyulan akım trafolarının hesabı ring şebeke olduğu için ilçenin toplam gücü dikkate alınarak yapılmıştır. Akım trafolarının hesabı o merkezde bulunan transformatörün gücüne göre hesaplanmıştır. Gerilim trafoları ise ilçenin ne kadar enerji tükettiğini bulmak için koyulan trafolardır. Bu trafolar sapanca ilçesinin adapazarı trafo merkezinden beslenirken ölçüm yapılması için su deposu trafo merkezine, kırkpınar trafo merkezinden beslenirken ölçüm yapılması için ise kırkpınar mezarlık yanı, cantaş yanı ve dağıtım merkezi yanı trafo merkezlerine koyulmuştur.

Mekanik dayanım yönünden orta gerilim tesislerinde kullanılması gereken minimum iletken kesiti 40 x 5 mm<sup>2</sup> 'dir. Trafo merkezlerinde bulunan baralar ise

kısa devre darbe akımına göre hesaplanmıştır. Sapanca ilçesi adapazarı trafo merkezinden beslenmesi durumunda kısa devre darbe akımı en yüksek köprübaşı trafo merkezinde, kırkpınar trafo merkezinden beslenmesi durumunda ise kısa devre darbe akımı en yüksek cantaş yanı trafo merkezinde oluşmaktadır.

Sonuç olarak, bulunan kısa devre akımları ve bu akım değerleri için hesaplanan koruma teçhizatları kullanıldığı takdirde, sistemde oluşacak olan, olası bir üç faz kısa devre arızasında söz konusu dağıtım hattı en kısa sürede devre dışı olacaktır. Böylece sistem için gerekli olan en uygun koruma şekli sağlanmış olacaktır.

## Kaynaklar

1. Saner, Y. , Güç dağıtımı kısa devre hesapları, 4(1), 45-47, 2000.
2. Tsai-Hsiang C., Yen-Feng H., Systematized short-circuit analysis of a 2x25 kV electric traction network, Electric Power Systems Research, 47(2), 133-142, 1998.
3. Thekla N., Boutsika S., Papathanassiou A., Short-circuit calculations in networks with distributed generation, Electric Power Systems Research, 78(7), 1181-1191, 2008.
4. Ford G. L., Srivastava K. D., The probabilistic approach to substation bus short-circuit design, Electric Power Systems Research, 4(3), 191-200, 1981.
5. Ford G. L., Sengupta S. S., Analytical methods for probabilistic short-circuit studies, Electric Power Systems Research, 5(1), 13-20, 1982.
6. Hewitson L.G., Brown M., Balakrishnan R., Simple calculation of short-circuit currents, Practical Power System Protection, 4, 11-25, 2005.
7. Popeck C.A., Lewis W.A., Allen G.D., The application of current limiting to distribution circuit protection, Electric Power Systems Research, 1(1), 67-86, 1977.
8. El-Alaily A. A., Mandour M. M., A comprehensive form for the protection of very short transmission lines, Electric Power Systems Research, 14(3), 227-232, 1988.
9. Tsao T. F., Chang H. C., Comparative case studies for value-based distribution system reliability planning, Electric Power Systems Research, 68(3), 229-237, 2004.
10. Nasser D., Eng C., International standards for short-circuit analysis in ac power systems, Power Systems Modelling and Fault Analysis, 5, 451-484, 2008.