

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRO ŞEBEKELERİN TOPRAK ARIZALARINA KARŞI KORUNMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhsin Alper MUTLU

Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRO ŞEBEKELERİN TOPRAK ARIZALARINA KARŞI KORUNMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhsin Alper MUTLU

(504151028)

Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ömer USTA

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504151028 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Muhsin Alper MUTLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MİKRO ŞEBEKELERİN TOPRAK ARIZALARINA KARŞI KORUNMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ömer USTA

.....

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Belgin TÜRKAY

.....

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Fatih KÜÇÜKTEZCAN

.....

Bahçeşehir Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Kasım 2017

Savunma Tarihi : 13 Aralık 2017



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli zamanını,engin bilgisini ve yol göstericiliğini benimle paylaşan değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Ömer Usta'ya teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini ve sevgilerini her zaman hissettiğim dedem Muhsin Mutlu ve babaannem Ayşe Mutlu'ya, bugünlere gelmemde şüphesiz en büyük pay sahibi olan, babam Prof. Dr. Nazım Mutlu, annem Prof. Dr. Birsen Mutlu ve abim Uzm. Dr. Ahmet Mutlu'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisans hayatında başlayan ve meslek hayatım boyunca destek, fikir ve arkadaşlıklarını paylaşacağım, Elk. Yük. Müh. Alper Tap ve Elk. Yük. Müh. Erdem Öztabakçı'ya teşekkür ederim.

Tez aşamasında yardımını ve uygulamadaki tecrübesini esirgemeyen Elk. Müh. Celal Aktaş'a, yüksek lisans ders hayatım boyunca gösterdiği anlayış ve destek için Elk. Müh. Burçin Tezel Cengizoglu'na ve iş hayatına başladığım ilk günden bu güne, göstermiş olduğu her türlü destek için Elk. Müh. Sabri Burak Tanören'e teşekkürlerimi iletirim.

Yüksek lisans yapmakta olan bir çalışanına verdiği destek için tüm Anel Grup ailesine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2017

Muhsin Alper MUTLU

Elektrik Mühendisi



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. MİKRO ŞEBEKELER	3
2.1 Mikro Şebekelerin Çalışma Prensipleri ve Elektrik Enerji Sistemlerine Entegrasi	3
2.2 Mikro Şebekelerin Kullanım Alanları ve Elemanları	4
2.3 Mikro Şebekelerin Yapısı	4
2.4 Mikro Şebekelerin Çalışma Şekilleri	5
2.5 Mikro Şebekelerin Entegrasi.....	5
2.6 Mikro Şebekelerin Avantajları	6
2.7 Mikro Şebekelerin Entegresindeki Zorluklar	7
2.7.1 Ada modunda (İzole) çalışma	7
2.7.2 Koruma zorlukları	8
2.7.3 Mikro şebeke standartları	8
3. MİKRO ŞEBEKELERİN TOPRAKLANMASI.....	9
3.1 Şebeke için İşletme Topraklamasının Önemi	9
3.2 Üçgen Yıldız Bağlantısı ve Nötr Noktası.....	10
3.3 Mikro Şebekelerin Topraklanması	10
3.4 Sistem ve Ekipman Topraklama Çeşitleri.....	10
3.4.1. TT sistem.....	11
3.4.2. TN sistem	11
3.4.3 IT Sistem	13
3.5 Nötr Noktasını Topraklama Yöntemleri	13
3.5.1 Nötr noktası doğrudan topraklı	14
3.5.2 Nötr Noktası Direnç Üzerinden Topraklı.....	14
4. MİKRO ŞEBEKELERİN ETAP ORTAMINDA MODELLENMESİ.....	15
4.1. Etap Modüllerin Tanıtılması	15
4.1.1 Tek hat şema tanıtımı	16
4.1.2 Yük akışı modülü tanıtımı.....	17
4.1.3 Kısa devre modül tanıtımı	17
4.1.4 Topraklama sistemi tanıtımı.....	18
4.1.5 Yıldız-koruma koordinasyon tanıtımı	19
4.2 Alçak Gerilim Mikro Şebekenin Etap Programına Uygulanması.....	20

5. PARALEL ÇALIŞAN ALÇAK GERİLİM MİKRO ŞEBEKENİN YÜK AKIŞI ANALİZİ.....	25
5.1 Paralel Çalışma Topraklama Sistemlerinin Tek Hat Şemaları.....	27
5.1.1 TN-S sistem tek hat şeması	27
5.1.2 TN-C sistem tek hat şeması.....	28
5.1.3 TN-C-S sistem tek hat şeması	29
5.1.4 TT sistem tek hat şeması	30
5.1.5 IT sistem tek hat şeması	32
6. PARALEL ÇALIŞAN AG MİKRO ŞEBEKENİN KISA DEVRE ANALİZLERİ.....	33
6.1 İşletme Topraklaması İncelenmesi.....	33
6.1.1 Yük panosu arıza durumları:	33
6.1.2 Trafo AG Panosu Arıza Durumları	41
6.2 Koruma Topraklaması İncelemesi	49
6.2.1 TN-S sistem:.....	50
6.2.2 TN-C sistem	51
6.2.3 TN-C-S sistem.....	52
6.2.4 TT sistem.....	53
6.2.5 IT sistem	55
7. İZOLE ÇALIŞAN AG MİKRO ŞEBEKENİN YÜK AKIŞI ANALİZİ	57
7.1 İzole Çalışan AG Mikro Şebekenin Topraklama Tek Hat Şemalarının Tanıtılması.....	58
7.1.1 TN-S sistem tek hat şeması.....	59
7.1.2 TN-C sistem tek hat şeması.....	60
7.1.3 TN-C-S sistem tek hat şeması	61
7.1.4 TT sistem tek hat şeması	62
7.1.5 IT sistem tek hat şeması	63
8. İZOLE ÇALIŞAN AG MİKRO ŞEBEKENİN KISA DEVRE ANALİZLERİ.....	65
8.1 İşletme Topraklaması İncelenmesi.....	65
8.1.1 İşletmesi Doğrudan Topraklı.....	65
8.1.2 İşletmesi 3 Ohm Direnç Üzerinden Topraklı	70
8.2 Koruma Topraklaması İncelemesi	73
8.2.1 TN-S sistem:.....	74
8.2.2 TN-C sistem	75
8.2.3 TN-C-S sistem.....	76
8.2.4 TT sistem.....	77
8.2.5 IT sistem	79
9. AG MİKRO ŞEBEKELERE KORUMA SİSTEMİ TASARIMI ve KOORDİNASYONU	81
10. SONUÇLAR ve GELECEK ÇALIŞMALAR.....	89
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	93

KISALTMALAR

DÜB : Dağıtılmış Üretim Birimleri
AG : Alçak Gerilim
OG : Orta Gerilim
KD : Kısa Devre
PEN : Protective Earth Neutral
PE : Protective Earting
DC : Direct Current
AC : Alternating Current
ETAP : Electrical Transient Analyzer Program



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1: Mikro Şebeke Paralel ve İzole Çalışma Koşulları.....	25
Çizelge 6.1: Yük panosunda 3 faz arıza kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	34
Çizelge 6.2: Yük panosunda faz-faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	35
Çizelge 6.3: Yük panosunda faz-faz-toprak kd akım. ve sağlam faz gerilimleri...	36
Çizelge 6.4: Yük panosunda faz-toprak kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	37
Çizelge 6.5: Yük panosunda 3 faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	38
Çizelge 6.6: Yük panosunda faz -faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	39
Çizelge 6.7: Yük panosunda faz-faz toprak kd ve sağlam faz gerilimleri.....	40
Çizelge 6.8: Yük panosunda faz-toprak kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	41
Çizelge 6.9: Trafo AG panosunda 3 faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	42
Çizelge 6.10: Trafo AG panosunda faz-faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri	43
Çizelge 6.11: Trafo AG panosunda faz-faz-toprak kd ve sağlam faz gerilimleri...	44
Çizelge 6.12: Trafo AG panosunda faz-toprak kd ve sağlam faz gerilimleri.....	45
Çizelge 6.13: Trafo AG panosunda 3 faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri...	46
Çizelge 6.14: Trafo AG panosunda faz-faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri	47
Çizelge 6.15: Trafo AG panosunda faz-faz-toprak kd ve sağlam faz gerilimleri..	48
Çizelge 6.16: Trafo AG panosunda faz-toprak kd ve sağlam faz gerilimleri.....	49
Çizelge 6.17: TN-S sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	51
Çizelge 6.18: TN-C sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	52
Çizelge 6.19: TN-C-S sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	53
Çizelge 6.20: TT sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	53
Çizelge 8.1: Yük panosunda 3 faz arıza kd akımları ve faz gerilimleri.....	66
Çizelge 8.2: Yük panosunda faz-faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	67
Çizelge 8.3: Yük panosunda faz-faz-toprak kd akımları ve sağlam faz gerilimleri	68
Çizelge 8.4: Yük panosunda faz-toprak kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	69
Çizelge 8.5: Yük panosunda 3 faz arıza kd akımları ve faz gerilimleri.....	70
Çizelge 8.6: Yük panosunda faz-faz kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.....	71
Çizelge 8.7: Yük panosunda faz-faz-toprak kd. akım. ve sağlam faz gerilimleri..	72
Çizelge 8.8: Yük panosunda faz-toprak kd. akımları ve sağlam faz gerilimleri....	73
Çizelge 8.9: TN-S sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	75
Çizelge 8.10: TN-C sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	76
Çizelge 8.11: TN-C-S sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	77
Çizelge 8.12: TT sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	77
Çizelge 9.1: Mikro şebeke elemanları çalışma akım değerleri.....	82
Çizelge 9.2: Doğrudan topraklı sistem kısa devre akımları.....	83
Çizelge 9.3: 3 ohm üzerinden topraklı sistem kısa devre akımları.....	84
Çizelge 9.4: Paralel çalışma gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	86
Çizelge 9.5: Ada çalışma gövde kaçağı kısa devre sonuçları.....	87



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Mikro Şebekelerin Yapısı.....	5
Şekil 2.2: AC Şebekeye doğrudan bağlanabilen kaynaklar.....	6
Şekil 2.3: DC baraya bağlı kaynaklar.....	6
Şekil 3.1: TT Sistem.....	11
Şekil 3.2: TN-C sistem.....	12
Şekil 3.3: TN-S sistem.....	12
Şekil 3.4: TN-C-S sistem.....	13
Şekil 3.5: IT sistem.....	13
Şekil 4.1: ETAP ara yüzü.....	16
Şekil 4.2: ETAP yük akışı metotları.....	17
Şekil 4.3: ETAP kısa devre çeşitleri ve çıkış görüntüleme seçenekleri.....	18
Şekil 4.4: ETAP topraklama elemanı.....	18
Şekil 4.5: ETAP topraklama modülü detayı.....	19
Şekil 4.6: Referans sistemin tek hat şeması.....	20
Şekil 4.7: Mikro şebeke tek hat şeması.....	21
Şekil 4.8: ETAP tek hat şeması.....	22
Şekil 4.9: Trafo parametre sekmesi.....	22
Şekil 4.10: Kablo parametre sekmesi.....	23
Şekil 4.11: Rüzgar türbini parametre sekmesi.....	23
Şekil 4.12: Senkron generatör parametre sekmesi.....	24
Şekil 4.13: Yük parametre sekmesi.....	24
Şekil 5.1: ETAP paralel çalışma yük akışı sonuçları- bara akımları.....	26
Şekil 5.2: ETAP paralel çalışma yük akışı sonuçları-bara güçleri.....	26
Şekil 5.3: TN-S sistem tek hat şeması.....	28
Şekil 5.4: TN-C sistem tek hat şeması.....	29
Şekil 5.5: TN-C-S sistem tek hat şeması.....	30
Şekil 5.6: TT sistem tek hat şeması-1.....	31
Şekil 5.7: TT sistem tek hat şeması-2.....	31
Şekil 5.8: IT Sistem tek hat şeması.....	32
Şekil 6.1: TN-S sistem gövde kaçak akım yolu.....	50
Şekil 6.2: TN-C sistem gövde kaçak akım yolu.....	51
Şekil 6.3: TN-C-S sistem gövde kaçak akım yolu.....	52
Şekil 6.4: TT sistem gövde kaçak akım yolu-1.....	54
Şekil 6.5: TT sistem gövde kaçak akım yolu-2.....	54
Şekil 6.6: IT sistem gövde kaçak akım yolu.....	55
Şekil 7.1: ETAP ada çalışma yük akışı sonuçları - bara akımları.....	57
Şekil 7.2: ETAP ada çalışma yük akışı sonuçları - bara güçleri.....	58
Şekil 7.3: TN-S sistem tek hat şeması.....	59
Şekil 7.4: TN-C sistem tek hat şeması.....	60
Şekil 7.5: TN-C-S sistem tek hat şeması.....	61

	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.6: TT sistem tek hat şeması-1.....	62
Şekil 7.7: TT sistem tek hat şeması-2.....	63
Şekil 7.8: IT sistem tek hat şeması.....	64
Şekil 8.1: TN-S sistem gövde kaçak akım yolu.....	74
Şekil 8.2: TN-C sistem gövde kaçak akım yolu.....	75
Şekil 8.3: TN-C-S sistem gövde kaçak akım yolu.....	76
Şekil 8.4: TT sistem gövde kaçak akım yolu-1.....	78
Şekil 8.5: TT sistem gövde kaçak akım yolu-2.....	78
Şekil 8.6: IT sistem gövde kaçak akım yolu.....	79
Şekil 9.1: Mikro şebeke koruma.....	81
Şekil 9.2: 3 ohm topraklama sistemi tasarımı.....	85



MİKRO ŞEBEKELERİN TOPRAK ARIZALARINA KARŞI KORUNMASI

ÖZET

İnsan nüfusunun artması, şehirlerin genişlemesi, sanayinin ve teknolojinin ilerlemesi ile elektrik enerjisine hiç olmadığı kadar ihtiyaç duyulmaktadır. Ulaşımında kullanılan elektrikli araçlardan, raylı sistemlere, sanayide kullanılan asenkron motorlara; konutlarda kullanılan elektrikli ev aletleri ve aydınlatma sistemlerine, ısıtma ve soğutmada, haberleşme ve finansal aktivitenin hepsinde elektrik enerjisi kullanılmaktadır.

Günümüzde elektrik enerjisinin büyük bir kısmı termik ve hidro elektrik santrallerinde üretilmekte, gerekli iletim ve dağıtımın yapılması ile son tüketiciye kadar ulaşmaktadır. Elektrik Mühendisleri Odasının yayınlamış olduğu ekim 2017 Türkiye kurulu gücü istatistikleri incelendiğinde hidroelektrik santrallerinin %25, akarsu-hidrolik santrallerin %9, doğalgaz-lng-lpg santrallerinin %33, linyit-taş kömürü-ithal kömür santrallerinin üretimde %23 oranlarında söz sahibi oldukları görülmektedir. Buradan ülke olarak fosil yakıtlara büyük bir bağılılığımız olduğu çıkarımı yapılmaktadır. Ayrıca 31 Mart 2015 tarihinde ülke genelinde yaşanan elektrik kesintisi ile arıza durumunda gerekli önlemlerin alınmadığı ve şebekenin yeterli şekilde korunmadığı görülmüştür.

Üretiminde fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltmak, arıza durumlarında enerji kesintilerini en aza indirmek ve yeni enerji kaynakları ile şebekeyi tanıştırmak amacıyla dağıtılmış üretim birimlerinin şebekeye entegre edilmesi gerekmektedir. Bu sayede enerji üretimi büyük santraller yerine, küçük güçlerde ve tüketiciye daha yakın noktalarda konumlandırılmış olan mikro şebekeler sayesinde yapılacaktır. Mikro şebekeler ile uzun iletim ve dağıtım hatlarında yaşanan kayıplar azalacak, arızalara daha dayanıklı; işletmesi ve bakımı daha kolay bir şebekeye kavuşulacaktır.

Bu çalışmada, her geçen gün sayıları artan mikro şebekelerin, yük akışları, topraklanması, arıza durumları ve korunması konularında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Devlet teşvikleri ile her geçen gün elektrik enerji üretiminde daha fazla pay sahibi olan alçak gerilim rüzgar santralleri, mikro şebekenin kaynağı olarak belirlenmiştir. Şebeke ile birlikte ve izole çalışma koşulları incelenmiş, topraklama sistemleri tek hat şemaları tanıtılmış ve çeşitli arıza durumları elektrik enerji sistemleri simülasyon programları kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç kısmında alçak gerilim mikro şebekelerin topraklama sistemleri ve dirençleri arasındaki farklılıklar vurgulanmış, kısa devre ve gövde kaçağı gibi arıza durumlarına karşı korunması için çeşitli koruma önerilerinde bulunulmuştur.



MICROGRID PROTECTION AGAINST GROUND FAULTS

SUMMARY

Day by day, the world people are living in needs more electrical energy. Consumption of the electrical energy is accelerated by population increase, expanding of the cities and latest developments on industry and technology. Electrical energy is used on transportation by electrical vehicles, in industry by induction motors and in residential buildings by electrical devices and lighting. Moreover, heating and cooling systems, communication and financial activities also use electrical energy.

Today, big portion of the electrical energy is generated by thermal and hydro electric power plants. Transmission and distribution activities need to be done, in order to satisfy the necessary energy for the consumers. According to report of the Chamber of the Electrical Engineers, which is published in October 2017, installed power of Turkey consists of 25%, 9%, 33%, 23%, hydro electric power plants, stream power plants, natural gas power plants and coal power plants respectively. It has seen that, energy generation of Turkey is highly depends on fossil fuels. Besides, a recent black out, which was occurred in March 31th of 2015 showed that, necessary precautions are not fulfilled for electrical grid system of Turkey.

Distributed generation needs to be applied on today's traditional grid, in order to decrease the requirement on fossil fuels and integrate the new electrical sources with the electrical systems. In addition, interruption time of the electrical energy is going to decrease with the new application. Electrical energy will produced by micro grids instead of big power plants, which are far from the consumers. Not only generation of the energy, but also transmission and distribution losses will decrease with the micro grids. Integration of the micro grids also provide more reliable and well protected electrical network through the country.

Day by day investment on microgrids is increasing. Besides, government supports the investors with the related regulations. Upcoming project which is called "Areas of Renewable Energy Sources" (ARES) in Turkey is signed by several companies and ARES is going to start in near future. Although, powerful wind turbines are generally integrated on medium voltage levels, low voltage wind turbines are the most common turbine types in terms of consumer demands. A small powered wind turbine can be bought from various sellers in the market and can be easily integrated into houses, schools or rural areas. However, some of the topics should be well studied in order to protect equipment and human life.

In this master thesis, grounding techniques and protection methods of low voltage microgrids are selected as main topics, because of uncertainty between literature and practice. Grounding plays essential roles on equipment life, operation continuity and human life. Inappropriate grounding may cause mechanical stress and insulation problems on electrical equipment during faults. Besides, leakage currents cause electrical shocks on livings. In order to reach correct results, all grounding methods are fully studied.

Before starting the simulation studies, power and voltage level of all electrical equipment are decided. 20 kw wind turbine is selected source of the low voltage microgrid. Transformer is selected 250 kVA, generator is selected 30 kW and load is selected 25 kW. Since microgrid operates at low voltage, transformer voltage level adjusted at 34.5/0.4 kV. Buses are used for modelling the electrical panels. Cable cross section areas and core numbers are arranged according to nominal currents and grounding schemes. With the help of decided parameters, single line diagram is created on simulation program.

ETAP (Electrical Transient Analyser Program) is selected as simulation program which is widely used by electrical engineers on modelling the power systems. It has several features such as load flows, short circuits analyses, grounding system designs and coordination of protective devices. Lots of calculations easily and quickly can be achieved by ETAP. Besides, all calculations can be reported according to related standards such as ANSI and IEEE.

Some of the ETAP tools are briefly explained in this thesis. After giving information about the program, load flow studies in grid connected and islanded modes are made. In addition, grounding details of the microgrid is introduced according to practice. Then, several short circuits such as three phase, phase to phase, phase-phase-ground and single phase to ground are made in the system, while changing the grounding system (TN-S, TN-C, TN-C-S, TT and IT) and grounding resistance (directly grounded, 3 ohm grounded). Short circuit results are given in the charts and leakage current paths are introduced with the figures. All results are discussed at the end of following sections.

Not only short circuits, but also leakage currents on equipment chassis are investigated for calculating the touch voltages. Grounding system of the microgrid decides the position of the earth conductor. It can be used separately from neutral as PE or combined with neutral as PEN conductors. Loop impedances should be calculated in order to detect the fault currents by the protective devices.

After both system and equipment grounding simulation results, proper protective devices and their places in the power system are predicted. Nominal and short circuit currents are compared each other and correct values of low voltage circuit breakers and fuses are decided. Simulation results showed that, some of the short circuit currents can not be detected by the protective devices. Besides, some leakage currents cause hazardous touch voltages on electrical equipment. All cases are examined deeply in their related sections.

To sum up, general concept of microgrid operation, integration and grounding methods are investigated in the literature. Then, simulation program of the project is introduced. Reference system is explained and new low voltage microgrid single line diagram is given. After the decision of the electrical equipment parameters, load flow results are taken both grid connected and islanded modes. Moreover, several short circuit situations are simulated and short circuit currents and voltages are investigated. Proper protective devices are decided and set values are calculated. It has seen that, system grounding types (TN, TT, IT) are not directly effects the short circuit currents. However, system grounding resistance value is essential to detect the short circuit conditions. Besides, Earth electrode and equipment grounding resistance are important

to calculate touch voltages. Circuit breakers, fuses and relays should be set according to all short circuit analysis.





1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan elektrik enerjisinin büyük bir kısmı, termik ya da hidroelektrik santrallerde üretilmekte ve kilometrelerce uzaktaki tüketicilere, gerekli iletim ve dağıtım işlemlerinin yapılması ile sunulmaktadır. Santrallerde üretilen enerjideki düşük verim (%30-%40) ve uzun iletim hatlarında meydana gelen kayıplar ile şebekenin geneline dağıtılmış olan bir enerji üretimi fikri üzerinde çalışmalar başlamıştır.

Dağıtılmış üretim birimleri olarak adlandırılan bu yeni şebeke modelinde, küçük ölçekli hidro, dizel, kombine santraller ve diğer dönen makineler kullanılmaktadır [1]. Bunlara ek olarak günümüzde yaygın kullanıma başlanan ve çeşitli devlet teşvikleri ile işletmeye alınan rüzgar ve güneş santralleri de bulunmaktadır. Her geçen gün elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın artması ile kesintisiz ve daha güvenilir bir şebekeye olan ihtiyaçtan söz edilmektedir. Şebekelerin optimum noktalarına entegre edilen ve doğru çalışma koşulları altında devreye alınan dağıtılmış üretim birimleri ile enerji kesintileri en aza indirilmektedir.

Kendi içinde çeşitli elektrik enerji sistemi elemanlarına sahip, gerek şebeke ile gerek kendi başına çalışabilen, kaynağını çoğunlukla temiz enerji kaynaklarından alan şebeke türlerine mikro şebeke denilmektedir. İlk yatırım maliyetleri dışında, işletme ve yakıt giderlerinin düşük olması, şebekedeki arıza durumlarından izole olabilmesi ve gerektiği zaman kendi enerjisini talep eden diğer kullanıcılara satabilmesi açısından mikro şebekelere tüketiciler tarafından büyük bir talep vardır. Ülkemizde yapılan son anlaşmalarla, rüzgar tesislerinin kurulmasına 1 milyar doların üzerinde bir yatırım yapılacağı söylenmiştir. Bu tarz bir çalışma yapılmadan önce yeni kurulacak tesislere ait her türlü arıza analizi, yük akışı sonuçları, topraklama ve yıldırımdan korunma hesapları, yük atma durumları, koruma elemanlarının koordinesi vb. gibi elektrik mühendisliğini doğrudan ilgilendiren konularda detaylı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasındaki amaç, alçak gerilim seviyesinde oluşturulmuş bir mikro şebekenin, 5 tip topraklama sisteminde meydana gelen farklı arıza türlerine göre, kısa devre akımlarını ve dokunma gerilimlerini incelemek ve gerekli koruma önerilerinde bulunmaktır. Bu amaç doğrultusunda şebeke, trafo, kablo, rüzgar türbini, stand-by generatör ve yükten oluşan bir mikro şebeke tek hat şeması [12] numaralı kaynağa bağlı kalınarak oluşturulmuştur.

Yüksek lisans tezi on iki bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde tez hakkında genel bir bilgi verilmiştir. İkinci ve üçüncü bölümlerde mikro şebekelere ve topraklamaya ait çeşitli literatür bilgileri okuyucuya sunulmuştur. Dördüncü bölümde simülasyonların yapılması için gerekli araç olarak seçilen, piyasada yaygın olarak kullanılan ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) tanıtılmıştır. Beşinci bölümde şebeke ile paralel çalışan mikro şebekenin yük akışı sonuçları verilmiştir. Ayrıca farklı topraklama türlerine göre ortaya çıkan tek hat şemaları, uygulamadaki işleyiş göz önüne alınarak okuyucuya sunulmuştur. Altıncı bölümde şebeke ile paralel çalışan mikro şebekenin, trafo alçak gerilim ve yük panolarında oluşan faz-toprak, faz-faz-toprak, faz-faz ve üç faz kısa devre akımları bulunmuştur. Farklı topraklama sistemlerine göre sonuçlar alınmış, topraklama dirençleri değiştirilerek çalışma genişletilmiştir. Aynı bölümde, gövde kaçağı olması durumunda kaçak akımının izleyeceği yollar, uygulama dikkate alınarak gösterilmiştir. Yedinci bölümde, şebeke ile bağlantısını kesilmiş, izole çalışan mikro şebekenin yük akışı sonuçları verilmiş ve topraklama tiplerine göre tek hat şemaları çıkartılmıştır. Sekizinci bölümde ise, altıncı bölümde yapılan çalışmalar izole çalışma koşulları için de tekrarlanmış, sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Dokuzuncu bölümde, tasarımı yapılam alçak gerilim mikro şebekeye ait koruma ve topraklama önerilerinde bulunulmuştur. Çalışmadan alınan sonuçlar onuncu bölümde okuyucuya sunulmuştur.

2. MİKRO ŞEBEKELER

İlk olarak mikro şebekelerin çalışma prensipleri ve elektrik enerji sistemlerine entegrasi anlatılmıştır. Daha sonra mikro şebeke konsepti ve mikro yapıların nasıl olduğu konusunda bilgi verilmiştir. Mikro şebeke avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Bölüm 1 de son olarak mikro şebekelerle ilgili standartlar incelenmiştir.

2.1 Mikro Şebekelerin Çalışma Prensipieri ve Elektrik Enerji Sistemlerine Entegrasi

Dünyanın her yerindeki tüketicilere; sürekli, kaliteli ve ekonomik elektrik enerjisi sağlama isteği ülkeler genelinde uğraşılan bir konu olmuştur. Yakın zamanda ülkemizde de baş gösteren (31.03.2015) elektrik kesintisi göstermiştir ki, hayatın büyük bir kısmı elektrik enerjisi varlığı ile devam etmektedir. Sanayiden, raylı ulaşım; aydınlatmadan, haberleşme sistemlerine kadar akla gelecek her türlü sektör ve alanda elektrik enerjisinden yararlanılmaktadır. Araştırmalar göstermiştir ki, iyi tasarlanmış, korunmuş ve birbiri ile entegre olmuş bir elektrik enerji şebekesi ile, insan hayatının işleyişine engel olacak her türlü kesinti ve ya arıza durumu en düşük seviyelere indirilebilmektedir.

Dağıtılmış üretim birimleri (DÜB) günümüzün elektrik enerji sistemlerindeki istenmeyen durumları ortadan kaldırmak için ortaya çıkarılmış bir çalışmadır. Genel olarak elektrik enerjisi, büyük güçlü santrallerde (termik, hidro...) senkron generatörler ile üretilir, trafolar ile iletimde kullanılacak olan yüksek gerilim seviyelerine çıkarılır, kilometrelerce uzaktaki kullanıcılara taşınır. İletimde yüksek gerilim kullanılmasının amacı, iletkenler üzerindeki akım değerini düşürerek kablo kesitlerinde küçülmeye gitmek ve kayıpların azalmasına ek olarak daha ekonomik bir çözüme kavuşmaktır. Yüksek gerilim ile taşınan enerji, trafoların kullanılması ile tekrar alçak gerilim seviyelerine indirilir. Gerekli dağıtım işlemlerinin yapılması ile elektrik enerjisi tüketicilerin kullanımına sunulur.

Dağıtılmış üretim birimleri sayesinde bu iletim, dağıtım kısmı minimum düzeylere indirilerek tüketiciye yakın noktalarda elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Sadece büyük ölçekli enerji santralleri ile değil, küçük güçlerdeki enerji kaynakları ile elektrik enerjisi şebekeye aktarılır. Mikro şebekeler ile mümkün olan bu üretim, üzerinde çalışılması gereken bir çok avantaj ve dezavantaj sağlamaktadır.

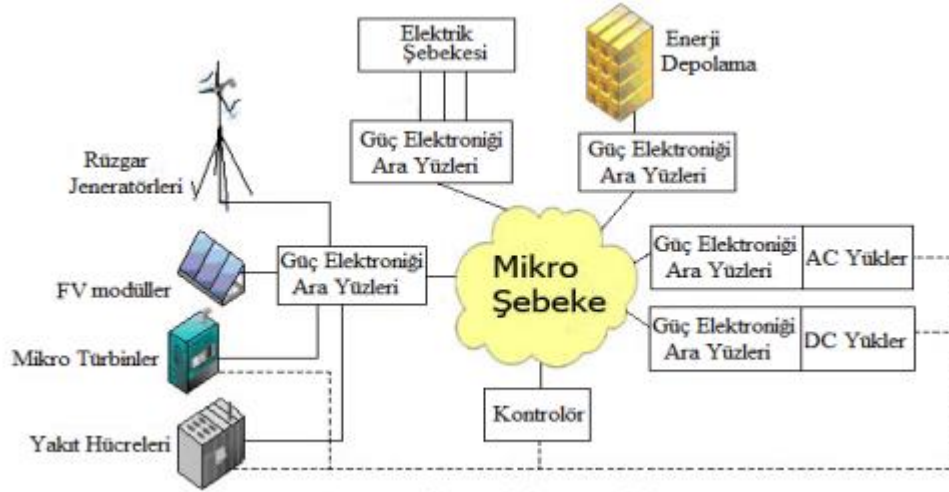
Günümüzde fosil yakıtlardan olan petrol, doğal gaz ve kömür elektrik enerjisinin ana kaynaklarıdır. Bu kaynaklar verimsiz olmalarının yanında yakın gelecekte de tükeneciktirler. Ayrıca bu yakıtların karbon emisyonları, küresel ısınma gibi nedenlerle doğaya zarar vermektedir. Dünyanın temiz, yenilenebilir, sürekli ve ucuz enerji ile tanışmaya ihtiyacı vardır. Belirtilen ihtiyaçların karşılanması, rüzgar, güneş, jeotermal gibi alternatif enerji kaynaklarının aktif bir şekilde şebekeye entegrasyonu ile gerçekleşir

2.2 Mikro Şebekelerin Kullanım Alanları ve Elemanları

Mikro şebekeler, elektrik enerjisi üretim, iletim, dağıtım, tüketim ve işletme gibi alanlardaki zorlukları gidermek amacıyla ortaya çıkmıştır. Mikro şebekeler, kaynak, transformatör, dağıtım sağlayan kablo ya da iletim hatları, dinamik ya da statik bir yük ve batarya gibi enerji depo elemanlarından oluşmaktadırlar. Transformatörler şebeke ile bağlantı, topraklama ve gerilim seviyelerini ayarlama gibi görevleri üstlendiğinden mikro şebekeler için önemli bir konumdadır.

2.3 Mikro Şebekelerin Yapısı

Mikro şebekelerin en yaygın biçimde kullanılan yapısı şekil 1.1 de gösterildiği gibidir. Kaynaklar, tüketiciler, şebeke, çeşitli kontroller ve güç elektroniği ara yüzleri mikro şebekeleri oluşturan enerji sistemleri elemanlarıdır. Mikro şebekeler genel olarak tüketiciye yakın yere entegre edilir. Bu sayede gerilim seviyelerinde iyileştirmelere gidilir ve iletimdeki kayıplar giderildiği için verim artırılmış olunur.



Şekil 2.1: Mikro Şebekelerin Yapısı [2].

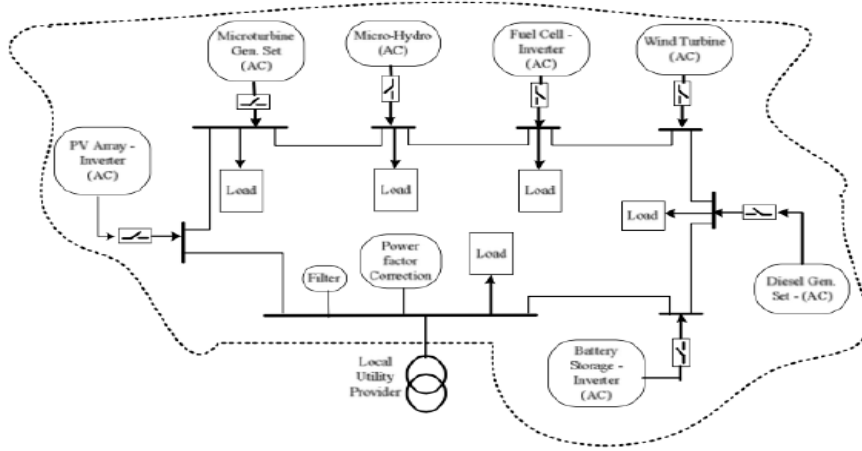
2.4 Mikro Şebekelerin Çalışma Şekilleri

Mikro şebekeler çeşitli çalışma koşullarına sahiptirler. Paralel çalışma adı verilen şebeke ile birlikte çalışma, ada ya da izole çalışma adı verilen kendi içinde çalışma koşullarına sahiptir [3]. Mikro şebekenin çalışma koşulunun önemi arızalı ya da arıza olmayan durumdaki çalışma şekliyle doğrudan ilişkilidir. Şebekedeki ani bir enerji kaybı, gerilimdeki aşırı düşüşler ya da çeşitli arıza durumlarında mikro şebekeler ada çalışma koşuluna geçebilmektedir [4]. Ada çalışma koşulu hastane ve haberleşme merkezleri gibi kritik yüklere kesintisiz enerji verilmesinde etkilidir. Bunlara ilave olarak, mikro şebekeler, şebeke ile birlikte çalışarak kendi gücünü şebekeye aktarabilirler. Bu çalışma çeşitliliği farklı ve istenmeyen durumlarla karşılaşıldığında, minimum kesinti ile arızaların giderilmesini olası kılmaktadır.

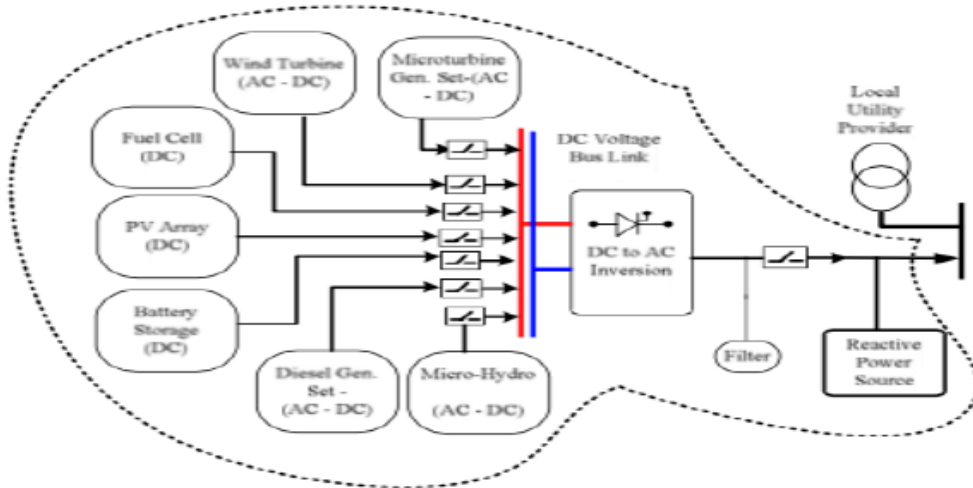
2.5 Mikro Şebekelerin Entegrasyonu

Mikro şebekelerin asıl şebekeye olan entegrasyonu çeşitli yollardan yapılabilir. Mikro şebekede kullanılacak olan enerji kaynağı bu konuda önemli bir söz sahibidir. Büyük güçteki bir çok rüzgar türbininin bağlantısı, trafo kullanılarak istenilen gerilim seviyesinde yapılmaktadır. Küçük güçteki rüzgar türbinleri ise doğrudan alçak gerilim şebekelerine bağlanabilirler. Eğer enerji depolaması yapılacaksa çeşitli batarya ve güç elektroniği devrelerinin kullanılması gerekebilir. Benzer durumlar diğer mikro şebeke enerji kaynakları için de geçerlidir. Şekil 1.2 de AC şebekeye bağlı olan mikro şebekeler gösterilmişken, şekil 1.3 de DC hatta bağlanan mikro şebeke elemanları

gösterilmiştir. Bir inverter aracılığı ile DC baranın AC bara ile bağlantısı yapılmaktadır.



Şekil 2.2: AC Şebekeye doğrudan bağlanabilen kaynaklar [3].



Şekil 2.3: DC baraya bağlı kaynaklar [3].

2.6 Mikro Şebekelerin Avantajları

Mikro şebekelerin geleneksel şebekelere entegresinin bir çok faydası vardır. Bu faydaların başında, fosil yakıtlara olan bağıllığın azalması gelmektedir. Birden çok ve farklı enerji kaynaklarının şebeke genelinde dağıtılmış olarak kullanılması ile şu an kullanılan elektrik enerjisi birim fiyatlarına azalma gerçekleşecektir. Bunlara ek olarak, mikro şebekelerde ağırlıklı olarak alternatif enerji kaynakları kullanılacaktır. Bu kaynaklar ülkemizde olduğu gibi çeşitli destekler ile her geçen gün daha tercih edilebilir kılınmaktadır. Örnek vermek gerekirse, Danimarka, İspanya, Almanya gibi

İkinci olarak, elektrik enerjisi dağıtımının rahatlıkla yapılamadığı, özellikle üçüncü dünya ülkelerindeki şehirden uzak kırsal kesimler için dağıtılmış üretim birimleri mantıklı bir çözümdür. Kurulacak olan bir mikro şebeke ile iletim-dağıtım masraflarına girmeden ihtiyaç duyulacak elektrik enerjisi tüketiciye en yakın noktadan karşılanır.

Mikro şebekelerin, geleneksel şebekelere entegrasyonu yapılırken her türlü durum iyi analiz edilmelidir. İyi bir koruma ve koordinasyon ile istenilen çalışma koşullarının sağlanabileceği unutulmamalıdır.

Mikro şebekeler, geleneksel şebekelere entegre edilirken bir takım sorunlarla karşılaşmakta ve bunların giderilmesi için sıkı bir çalışma yapılması gerekmektedir. Bu zorluklar temelde teknik ve teknik olmayan zorluklar olarak iki kategoriye ayrılabilir. Teknik zorluklar, koruma, koordinasyon, güvenlik, çalışma sürekliliği ve arıza durumlarındaki davranışları olarak sınıflandırılabilir. Teknik olmayan konular ise fiyatlandırma, alternatif enerji kaynaklarındaki verimlilik ve mikro şebekelerin entegresinde söz sahibi olan yasal düzenlemeler olarak sayılabilir. Bir takım sorunlar aşağıda belirtildiği gibidir.

Mikro şebekeler ada modunda çalışırken gerilim ve frekans mümkün olduğunca sabit tutulmaya çalışılmalıdır. İzole çalışma için gerekli olan anahtarlama işlemi gerçekleşirken, yüklerdeki enerji anlık da olsa kesilebilir. Çok kritik yüklerin beslenmesi için bu durum üzerinde iyi çalışılması ve önlem alınması gereklidir.

2.7.2 Koruma zorlukları

Mikro şebekelerde birden çok kaynak elektrik enerjisi üretiminde söz sahibidir. Şebekenin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek arızaların çeşidi bilinmeli ve birçok senaryo için çeşitli koruma yöntemleri önerilmelidir. Bunlara ek olarak, şebekeye enerji satmak isteyen kullanıcılar, çift yönlü bir enerji iletimi olacağı için yük akışı sonuçları üzerinde iyi çalışmalıdır. Ayrıca, gerçekleşen bir arızayı tek kaynağın sistemden uzaklaştırılması ile giderilemeyeceği, diğer kaynakların da bu arızayı besleyebilme ihtimalinin olduğu unutulmamalıdır.

2.7.3 Mikro şebeke standartları

2008'den bu yana mikro şebeke operatörleri, ekipman üreticileri ve mühendisler IEEE Std. 1547.2tm-2008 adında bir kılavuza sahiptir. Bu kılavuz, enterkonnekte standartlarını, ada çalışma koşullarını ve koruma gibi konular hakkında bilgi vermektedir. Ek olarak, enerji kalitesi, kararlı ve geçici hal durumları, mikro şebekelerin kararlılığı ve makine davranışları bu kılavuzda değinilen diğer konulardır. Kılavuzun içeriği aşağıdaki gibidir.

A.1.1 – Entegre konuları

A.1.2 – Manuel ya da otomatik olarak enerji kaynağının anahtarlanması

A.1.3 – sayaç ve ölçme konuları

A.1.4 – Koruma sorunları

A.1.7 – Yük sevki, kontrolü ve iletişim konuları

Giriş bölümünde dağıtılmış üretim birimleri hakkında genel bilgi, mikro şebekelerin yapısı, çalışma şekilleri ve şebekeye entegrasyonu gibi konular hakkında genel bilgi verilmiştir. Avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Sonraki bölümde mikro şebekelerin topraklanması konusu incelenecektir.

3. MİKRO ŞEBEKELERİN TOPRAKLANMASI

Üçüncü bölümde mikro şebekelerin topraklanması hakkında bilgi verilmiştir. Literatürden işletme ve koruma topraklamaları hakkında bilgi toplanmış ve simülasyonlarda kullanılan çeşitli topraklama şemaları okuyucuya tanıtılmıştır.

3.1 Şebeke için İşletme Topraklamasının Önemi

Şebekeler istenilen koşullarda çalışmalarına devam etmeleri için bütün arıza tiplerine karşı korunmalıdırlar. Yapılan topraklama ile çalışma koşullarına ilave olarak, insan hayatı da güvence altına alınabilir. U.S. NEC El kitabına göre topraklamanın asıl amacı aşağıda belirtildiği gibidir.

- Yıldırım ya da arız sırasında yüksek potansiyelde bir iletkende meydana gelen kaçak durumlarında gerilimin aşırı artışlarına engel olmak,
- Normal çalışma koşulları altında gerilimi kararlı bir seviyede tutmak
- Faz-toprak gibi arıza durumlarında ilgili sigorta, kesici ya da röle gibi koruma elemanlarının devreye girmesini sağlamaktır. [7]

Topraklı sistemler, topraklanmamış sistemlere göre arıza tespitinde ve arızanın ortadan kaldırılması gibi konularda daha başarılıdır. Hastaneler ya da telekomünikasyon merkezleri gibi özel kullanım alanları dışında topraklanmamış sistemlerin kullanılması önerilmez. Toprak bağlantısı, arıza durumundaki akımın kaynağına geri dönmesi için gerekli yolu oluşturduğu gibi, kaçak durumlarında temas gerilimi düşürerek canlılar için daha güvenli bir işletim imkanı sağlamaktadır. Ayrıca sistem topraklaması, ekipmanlar üzerinde yol açılabilecek yalıtım sorunlarını gidermekte ve doğacak yangın tehlikelerini ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede motor, transformatör ya da diğer sistem ekipmanları için daha uzun ömürlü bir işletme olanağı sağlanmaktadır [8].

3.2 Üçgen Yıldız Bağlantısı ve Nötr Noktası

Gerilim seviyeleri ve kullanım alanlarına göre trafoların bağlantı şekilleri farklılık göstermektedir. Primeri üçgen, sekonderi yıldız olan bağlantı şekli üç fazlı trafolar için elektrik enerji sistemlerinde en yaygın biçimde kullanılmaktadır. Üçgen-yıldız bağlantı ile;

- 3 fazlı, 4 iletkenli sistemler kullanılır,
- Yükte meydana gelen dengesizlikler giderilir,
- Primer ve sekonder sargılar arasında izolasyon sağlanır,
- Primer kısım sekonderden ayrıldığı için koruma rölelerinin çalışması kolaylaşır.

Trafo nötr noktası bir çok topraklama şemasının çıkış noktasını oluşturmaktadır. İster topraktan, ister koruma iletkeninden kaynağına geri dönen akımlar, sekonder kısmın yıldız bağlanmasıyla oluşan nötr noktasını kullanmaktadır.

3.3 Mikro Şebekelerin Topraklanması

Mikro şebekeler bünyelerinde toprakla ilişkisi bulunan transformatörler, yükler, rüzgar türbinleri gibi çeşitli elektrik enerji sistemi elemanı bulundurlar. Her bir elemanın karakteristik özelliği ve toprak ile nasıl bir bağlantı kurduğu, arıza durumlarında oluşabilecek istenmeyen durumları ortadan kaldırılması bakımından önemlidir. Kabaca mikro şebekelerde, işletme topraklaması ve koruma topraklaması olmak üzere iki farklı topraklamadan söz edilir. İşletme topraklaması, faz-toprak, faz-faz-toprak gibi arıza durumlarında söz sahibi iken, koruma topraklaması gövdeye kaçak olma durumların giderilmesinde etkilidir.

3.4 Sistem ve Ekipman Topraklama Çeşitleri

Mikro şebekelerin ada ve paralel çalışma koşulları altında topraklanması 3 ana başlık altında toplanabilir. Alçak gerilim mikro şebekelerin topraklanması 5 harf ile aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

T: Toprak ile doğrudan ilişki

N: Nötr

C: Birleşik

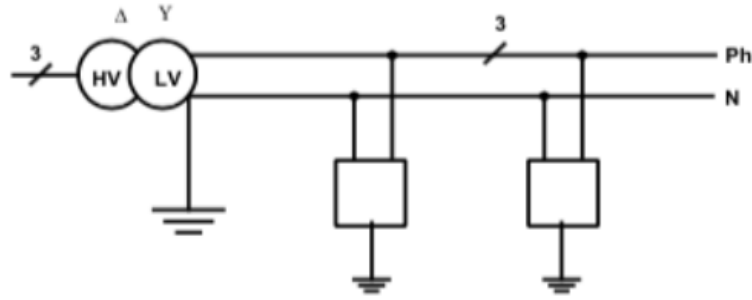
S: Ayrı

I: İzole

Belirtilen 5 harfin yan yana kullanılması ile işletme ve koruma topraklama tipi şekillenir. Kullanılan ilk harf işletme topraklamasını gösterirken, ikinci harf koruma topraklaması ile ilgili bilgi vermektedir.

3.4.1. TT sistem

TT topraklama da ilk harf, kaynak olarak kullanılan trafo ya da generatörün toprakla doğrudan ilişkisinin olduğunu göstermektedir. İkinci harf ise sistemin aktif olmayan elemanlarının (gövde vb.), bulundukları yerde toprak ile bağlantısının yapıldığı belirtilmektedir. Şekil 3.1 de TT sisteme ait detaylar görülmektedir.



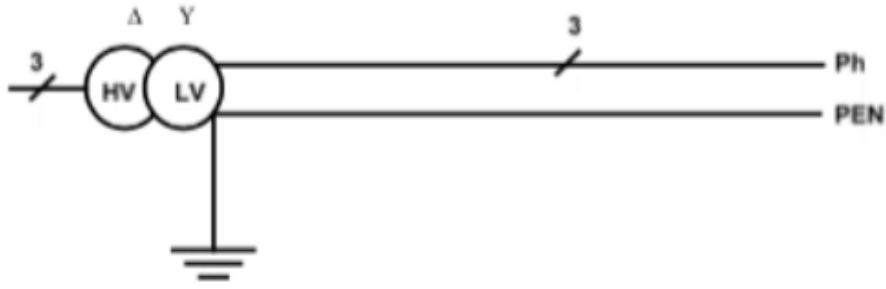
Şekil 3.1: TT Sistem [9].

3.4.2. TN sistem

TN topraklamada ilk harften anlaşılabacağı üzere, kaynak nötr noktalarının toprak ile ilişkisi vardır. İkinci harf ise uygulamalara göre 3 alt başlık altında incelenmektedir.

3.4.2.1 TN-C sistem

İşletme topraklaması kaynakların nötr noktalarının topraklanması ile sağlanmıştır. Koruma topraklaması ise PEN adı verilen (protected earthed neutral) bir iletkenin, nötr ve koruma iletkenini bir arada sistem geneline taşınması ile yapılmıştır. PEN iletkeni sistemin geneline, işletme topraklaması yapılan noktadan başlayarak dağılmaktadır. Şekil 3.2 de TN-C sisteme ait detaylar görülmektedir.



Şekil 3.2: TN-C sistem [9].

3.4.2.2 TN-S sistem

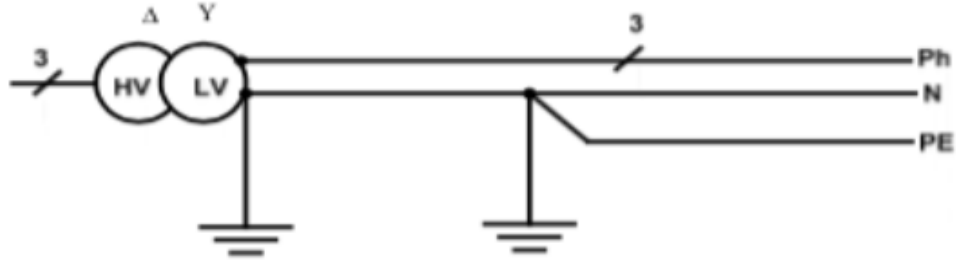
İşletme topraklaması kaynakların nötr noktalarının topraklanması ile yapılmıştır. Koruma topraklanması ise PE iletkeni ile sistemin genelinde nötr kablosundan ayrı tutularak yapılmış olmasıdır. Kaynakların nötr noktasında ayrılan nötr ve koruma iletkenleri, sistemin genelinde bir daha bir araya gelmezler. Şekil 3.3’te TN-S sistem detayı görülmektedir.



Şekil 3.3: TN-S sistem [9].

3.4.2.3 TN-C-S sistem

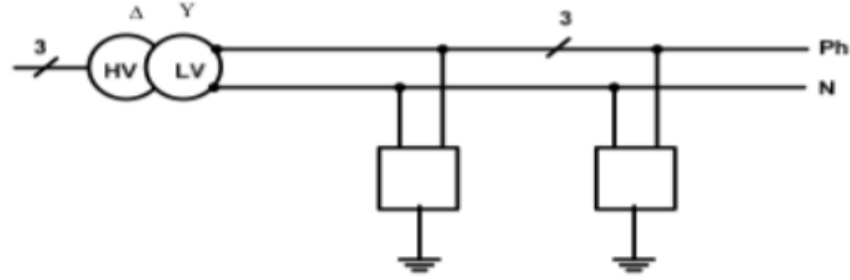
TN-C-S sistem TN-C ve TN-S sistemlerin bir arada kullanılması ile oluşmuş bir topraklama sistemidir. Kaynaktan PEN iletkeni ile bir arada çıkan nötr ve koruma iletkenleri, sistemin belirli bir noktasında sonra PE ve nötr iletkenleri olarak ikiye ayrılmıştır. Şekil 3.4’te TN-C-s sistem detayı görülmektedir.



Şekil 3.4: TN-C-S sistem [9].

3.4.3 IT Sistem

IT topraklama sisteminde kaynak çok yüksek bir empedans üzerinden toprağa bağlıdır ya da toprak ile hiçbir bağlantısı bulunmamaktadır. Koruma topraklaması ise ekipmanların bulundukları yerden yapılmıştır. Şekil 3.5'te IT sistem detayları görülmektedir.



Şekil 3.5: IT sistem [9].

3.5 Nötr Noktasını Topraklama Yöntemleri

Mikro şebekelerin nötr noktalarının topraklama yöntemleri, elektrik enerji sistemlerindeki diğer elemanların topraklanması ile benzerlik gösterir. Topraklanmamış sistemlerle karşılaşılsa da topraklanmış sistemlerin birçok avantajı aşağıda belirtildiği gibidir.

- Arıza durum tespiti yapılır,
- Personel için yeterli güvenlik koşullarını sağlanır,
- Sistem ve ekipman korunmasını sağlar,
- Arızaları hızlıca ortadan kaldıracağı için bakım için gereken süre kısaltır.

Mikro şebekeler 2 temel yöntemle topraklanabilirler.

3.5.1 Nötr noktası doğrudan topraklı

Toprak ile bağlantıyı sağlayan iletken üzerine kasıtlı olarak, herhangi bir direnç ilave edilmemesine doğrudan topraklama denir [10]. Bu sistem 600 volttan daha düşük gerilim seviyelerindeki mikro şebekeler için kullanılmaktadır. Toprak arızası gibi durumlarda kısa devre akımının bu toprak bağlantısı üzerinden kaynağına dönmesi sağlanmaktadır. Doğrudan topraklı sistemlerde kısa devre akımları diğer sistemlere göre daha yüksek olmaktadır. Korumanın düzgün sağlanması, ortaya çıkabilecek yüksek akımların hesaplanıp, sigorta, kesici ve ya röle koordinasyonunun iyi yapılması ile mümkündür.

Doğrudan topraklama literatürde geniş bir şekilde işlenmiş olsa da uygulamada pek de mümkün olmamaktadır. İşletme topraklaması, topraklama şeritleri ve topraklama çubukları kullanılarak toprağa bağlanmaktadır. Toprak cinsi, toprağın nemlilik durumu, sıcaklığı, kullanılan şerit uzunluğu ve çubuk sayısı gibi parametrelerle çeşitli direnç değerleri bu hatlar üzerinde gözlenmektedir. Uygulamada yapılan bu topraklama ağları, gerçekçi sonuçları alınabilmesi için hesaplarda göz ardı edilmemelidir.

3.5.2 Nötr Noktası Direnç Üzerinden Topraklı

Direnç üzerinden topraklı sistemlerde toprak iletkeni üzerinde bir direnç konulur. Direnç üzerinden topraklı sistemlerde toprak arıza akımlarında çeşitli sınırlandırmalara gidile bilinmektedir. IEEE 142-1991 bu tarz topraklamanın avantajları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

- Ekipmanlar üzerinde doğabilecek erime ve yanma ihtimalini azaltır,
- Sistem üzerindeki mekanik gerginlikleri azaltır,
- Topraklama iletkenleri üzerinde oluşabilecek kaçak akımların doğuracağı hayati riskleri azaltır [11]

Uygulamalarda toprak yolu üzerinde kasıtlı olarak bir direnç kullanılmasa da, toprak altında oluşturulmuş olan kazayağı ya da ağ tipi toprak ağlarının bir direnci olduğu unutulmamalıdır. Düşük topraklama dirençleri ile daha yüksek arıza akımlarının elde edileceği ve koruma ekipmanlarının buna göre ayarlanması gerektiği bilinmelidir.

4. MİKRO ŞEBEKELERİN ETAP ORTAMINDA MODELLENMESİ

Elektrik enerji sistemlerinin analizleri, çeşitli mühendislik yazılımları kullanılarak yapılabilinmektedir. Bu yazılımlar aracılığı ile istenilen sonuçlar, gerekli parametrelerin girilmesi koşuluyla hızlı ve doğru şekilde kullanıcıya sunulmaktadır. Bu tez çalışması için ETAP, yardımcı simülasyon programı olarak seçilmiştir.

ETAP güç sistemlerinde çeşitli analizlerin, belirli standartlar çerçevesinde yapıldığı ve bunların raporlanabildiği bir simülasyon programıdır. Farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilen birden çok modüle sahiptir. Yük akışları, kısa devre analizleri, geçici hal kararlılık durumları, harmonikler, topraklama sistemlerinin tasarımı, kablo kapasitelerinin belirlenmesi ve koruma elemanlarının koordinasyonu gibi konularda istenilen sonuçları almayı sağlamaktadır. Ayrıca içerisinde bulunan geniş kütüphane ile elektrik enerji sistemlerinde kullanılan elemanları doğrudan projeye çağırma imkânı sunmaktadır. ETAP, elektrik mühendislerinin sektör fark etmeksizin her türlü ihtiyacını karşılayabilecek, seçilen standartlara göre simülasyon sonuçlarını raporlayabilecek en donanımlı ve güncel bilgisayar programıdır.

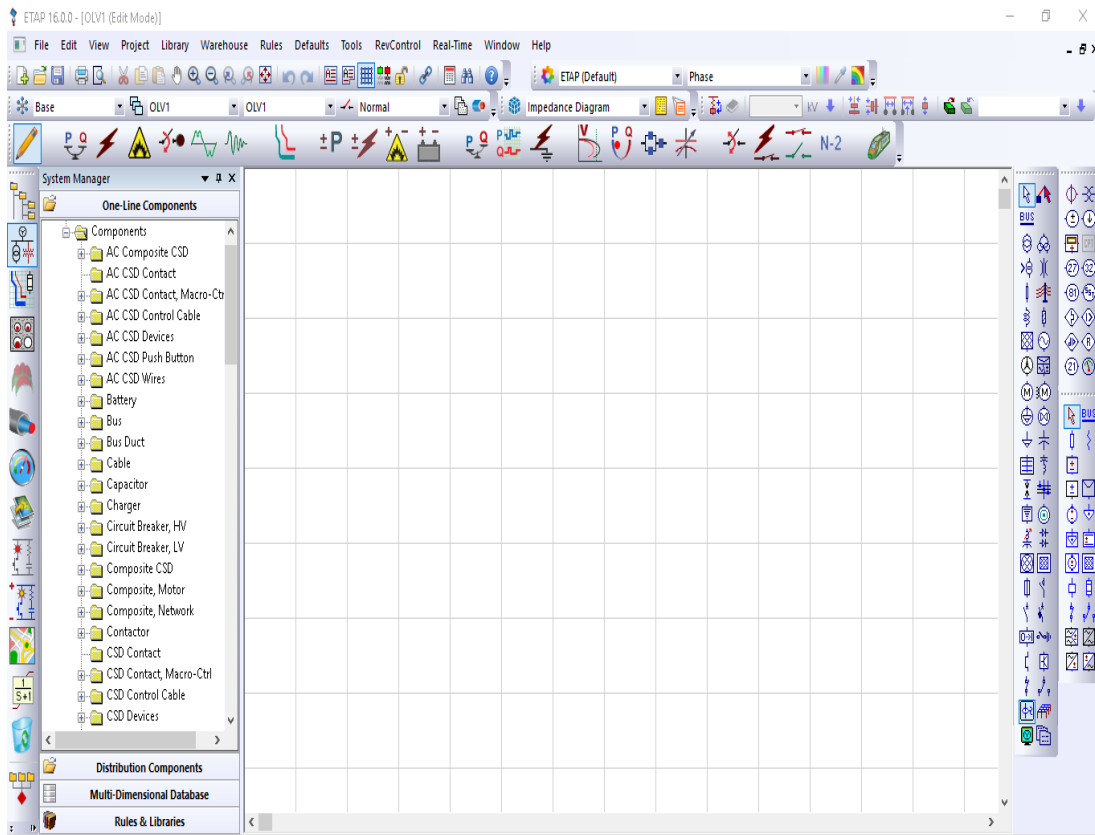
4.1. Etap Modüllerin Tanıtılması

ETAP, simülasyon sonuçlarına geçmeden önce, kullanıcıdan kendi tek hat şemasını oluşturmasını istemektedir. Çeşitli AC-DC elemanlar kullanılarak oluşturulan ve gerekli bağlantıları yapılan elemanlara, uygun ve tutarlı parametrelerin girilmesi gerekmektedir. Bu işlemin doğru bir şekilde yapılması için, elektrik enerji sisteminde kullanılan elemanlar hakkında bir bilgi birikimi olması kullanıcının yararınadır. Yanlış girilen bir parametre, yanlış sonuçların alınmasına yol açabilmektedir.

Tasarımı yapılan sistemde yük akışı, kısa devre analizi, topraklama, yıldız-koruma ve koordinasyon modülleri ağırlıklı olarak kullanılmıştır.

4.1.1 Tek hat şema tanıtımı

Projede istenilen simülasyon sonuçların alınması için tek hat şeması oluşturulmalıdır. Tek hat şeması, projede kullanılan elektrik enerji sistemi elemanlarının bir arada görülebildiği ve gerekli düzenlemelerin yapıldığı bir çalışma düzlemidir. İlk olarak ETAP programı çalıştırılır ve istenilen standart ve çalışma frekansı seçilir. Kullanıcının karşısına şekil 4.1 de belirtilen ETAP tek hat şemasının işleneceği düzlem, modüller ve enerji sistemi elemanları gelir. Kullanıcı kendi tasarımında kullanacağı elemanları sağ taraftaki kütüphaneden sürekli bırak yöntemiyle projeye işler ve elemanlar arasındaki gerekli bağlantıları yapar.

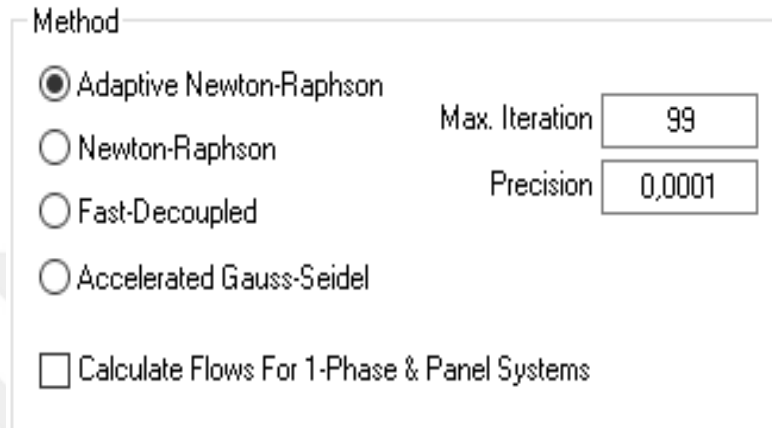


Şekil 4.1: ETAP ara yüzü.

Kullanılacak elemanlar projeye aktardıktan sonra, elemanların her birinin düzenlenerek gerekli parametreleri girmesi gerekir. Bunlar trafo için gerilim seviyeleri, empedans değerleri, topraklama biçimi olabildiği gibi; kablolar için empedans değerleri, fiziksel özellikler, döşenme biçimleri gibi parametreler olabilmektedir.

4.1.2 Yük akışı modülü tanıtımı

Elektrik enerji sistemi elemanları proje işlendikten sonra tasarımı istenilen şekilde çalıştığını anlayabilmek için yük akışı sonuçlarını incelemek gereklidir. Düzenleme kutucuğunun hemen yanında bulunan sekme ile yük akışı modülüne geçiş yapılır. Yük akışı sonuçlarını almadan önce, şekil 4.2 de belirtilen yk akışını yapılacak yntemin seilmesinde fayda vardır.



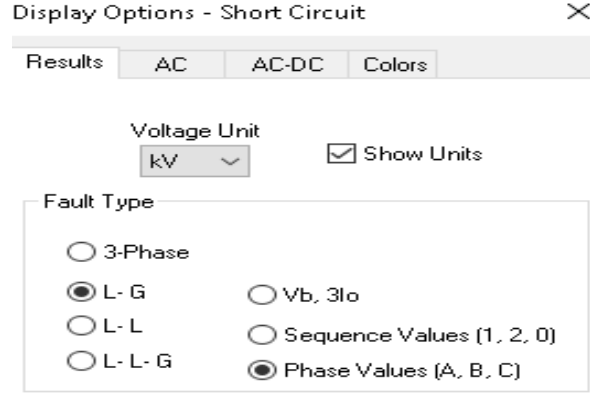
The image shows a dialog box titled 'Method' for selecting the load flow calculation method. It contains four radio button options: 'Adaptive Newton-Raphson' (selected), 'Newton-Raphson', 'Fast-Decoupled', and 'Accelerated Gauss-Seidel'. To the right of these options are two input fields: 'Max. Iteration' with the value '99' and 'Precision' with the value '0,0001'. At the bottom, there is a checkbox labeled 'Calculate Flows For 1-Phase & Panel Systems' which is currently unchecked.

şekil 4.2: ETAP yk akışı metotları.

Yk akışı modülü ile tasarlanan sistemdeki akımları, gerilimleri, aktif-reaktif güçleri, gerilim düşümleri, aşırı ya da yetersiz yüklenmiş generatörleri görmek mümkündür. Bu modül sayesinde gerekli düzenlemeler yapılarak istenilen şekilde sistemimizin çalışması sağlamaktadır.

4.1.3 Kısa devre modül tanıtımı

Yük akışı sonuçları alındıktan sonra, kurulan sistemin istenilen bir noktasında çeşitli arızalar meydana getirilebilmektedir. IEC 60909 standartına göre, 3 faz, faz-faz, faz-toprak, faz-faz-toprak arızaları seçilen baralarda yapılmaktadır. Kısa devre simülasyon sonuçları ile kısa devre akımları, kısa devre gerilimi; akım ve gerilimin pozitif, negatif, sıfır bileşenleri ve fazların akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı görülebilmektedir. Kullanıcı ihtiyaına göre 3 gösterim şeklinden birini tercih edebilir. şekil 4.3'de kısa devre arıza tipleri ve sonuç sayfası görüntüleme seçenekleri görülmektedir.

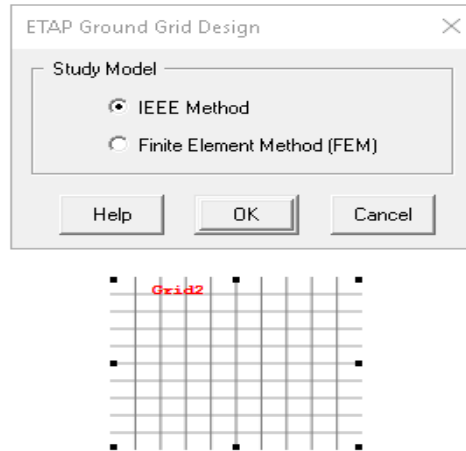


Şekil 4.3: ETAP kısa devre çeşitleri ve çıkış görüntüleme seçenekleri.

Kısa devre sonuçları ile arıza olan noktada alınan ölçümlere ek olarak, sistemin genelinde akım ve gerilimlerde meydana gelen değişimler de gözlenebilmektedir. Bu sayede sadece arıza olan noktada değil, sistemin genelinde ne olduğu ve kaynakların arızaya olan katkıları da araştırılabilir.

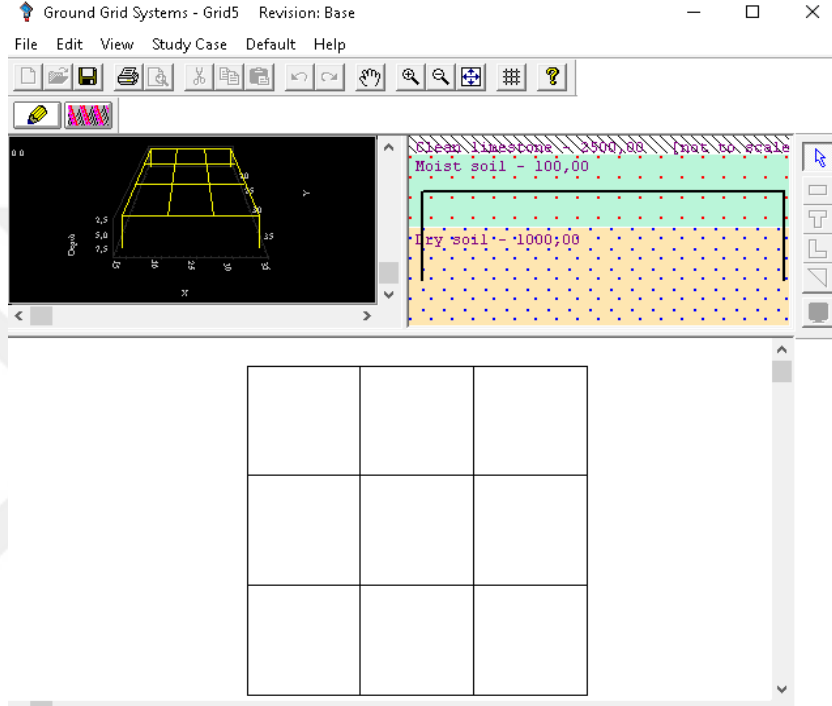
4.1.4 Topraklama sistemi tanıtımı

ETAP'ın projede kullanılan bir diğer modülü de topraklama sistemlerinin tasarlandığı topraklama modülüdür. AC elemanların olduğu sekmeden, toprak ızgara elemanı seçilerek proje içerisine çağırılır. Düzenleme işlemine başlamadan önce IEEE ya da sonlu elemanlar yönteminden birini seçerek topraklama yapılacak modelin seçilmesi gereklidir. IEEE modeli ile düzenlemeye daha kapalı bir topraklama ağı kurulurken, sonlu elemanlar yöntemi ile daha serbest bir topraklama ağı oluşturulmaktadır. Şekil 4.4'te topraklama tasarımının yapılacağı yöntemin seçilmesi istenmektedir.



Şekil 4.4: ETAP topraklama elemanı.

IEEE topraklama sistemi seçimi ile 3 adet pencere kullanıcının karşısına çıkmaktadır. Bu pencerelerden ilki tasarlanan sistemi 3 boyutlu olarak görme imkanı sunmaktadır. Alt pencerede ızgara boyutları, paralel iletken sayıları, topraklama çubuğu sayıları ve çapları girilerek istenilen topraklama ağı tasarımı yapılmaktadır. Şekil 4.5’de, sağ üstteki pencereden topraklama sistemi imalatının yapılacağı toprağın özellikleri girilmektedir. Çeşitli katmanlar ve bu katmanlara ait derinlik bilgisi projeye işlenerek, uygun toprak yayılım dirençleri hesaplanmaktadır.



Şekil 4.5: ETAP topraklama modülü detayı.

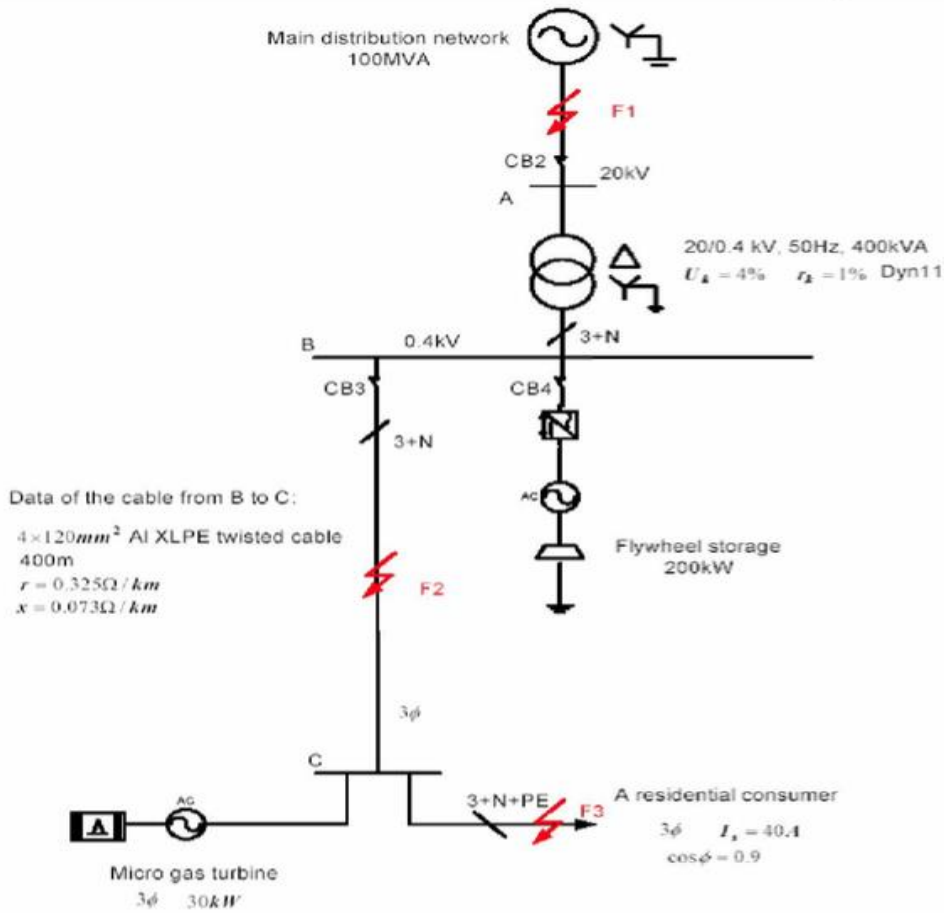
Topraklama ağı tasarlandıktan sonra belirlenen standart seçilerek dokunma ve adım gerilimlerinin hesaplanması için, topraklama yapılacak sistemin kısa devre akımları ve arıza süreleri topraklama modülüne işlenmelidir.

4.1.5 Yıldız-koruma koordinasyon tanıtımı

Bu modül sayesinde istenilen ekipmanlar arasında koruma ve koordinasyon yapılmaktadır. Sigorta, alçak gerilim ya da yüksek gerilim kesicileri projeye çağırılır. Koruma yapılacak olan bara, kablo ya da yüklerin düzenleme sayfasında bulunan koruma sekmesinden ilgili koruma elemanının ataması gerçekleştirilir. Yapılan seçimler sonrası oluşan eğriler incelenerek, tasarlanan koruma hakkında bilgi sahibi olunur.

4.2 Alçak Gerilim Mikro Şebekenin Etap Programına Uygulanması

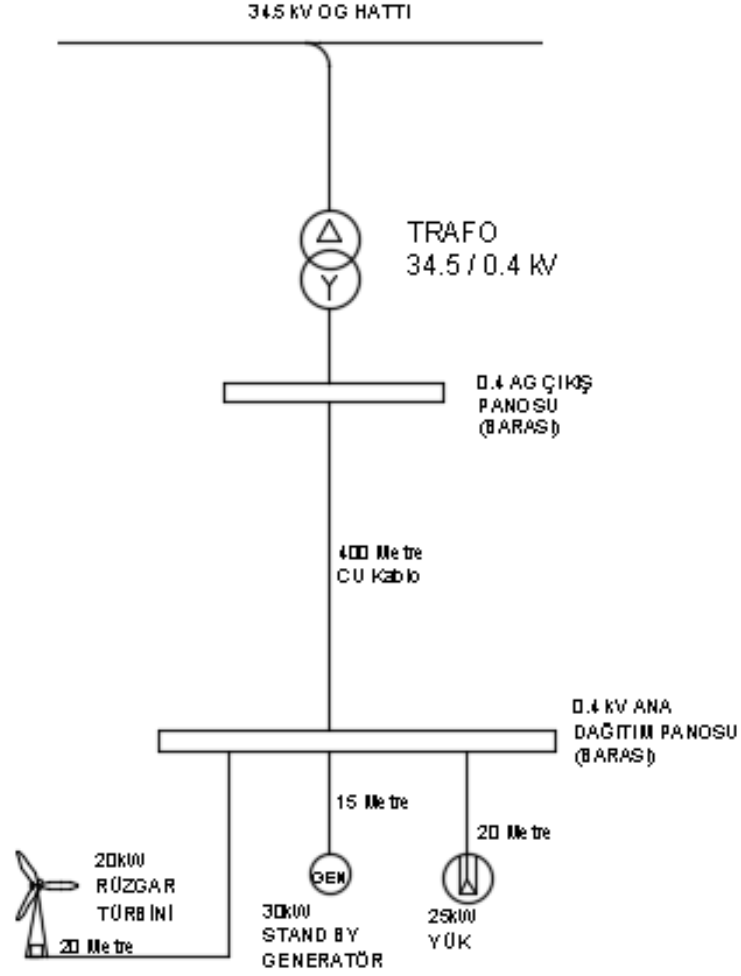
Tasarımı yapılan proje [12] numaralı kaynak referans alınarak oluşturulmuştur. Şekil 4.6’da görülebileceği üzere, sistemde trafo, kablo, enerji depolama aygıtı, yük, rüzgar türbini, çeşitli yükler ve baralar gibi elektrik enerji sistem elemanları bulunmaktadır. Ayrıca referans kaynağa ait tek hat şemasında, çeşitli arıza noktaları da belirtilmiştir.



Şekil 4.6: Referans sistemin tek hat şeması [12].

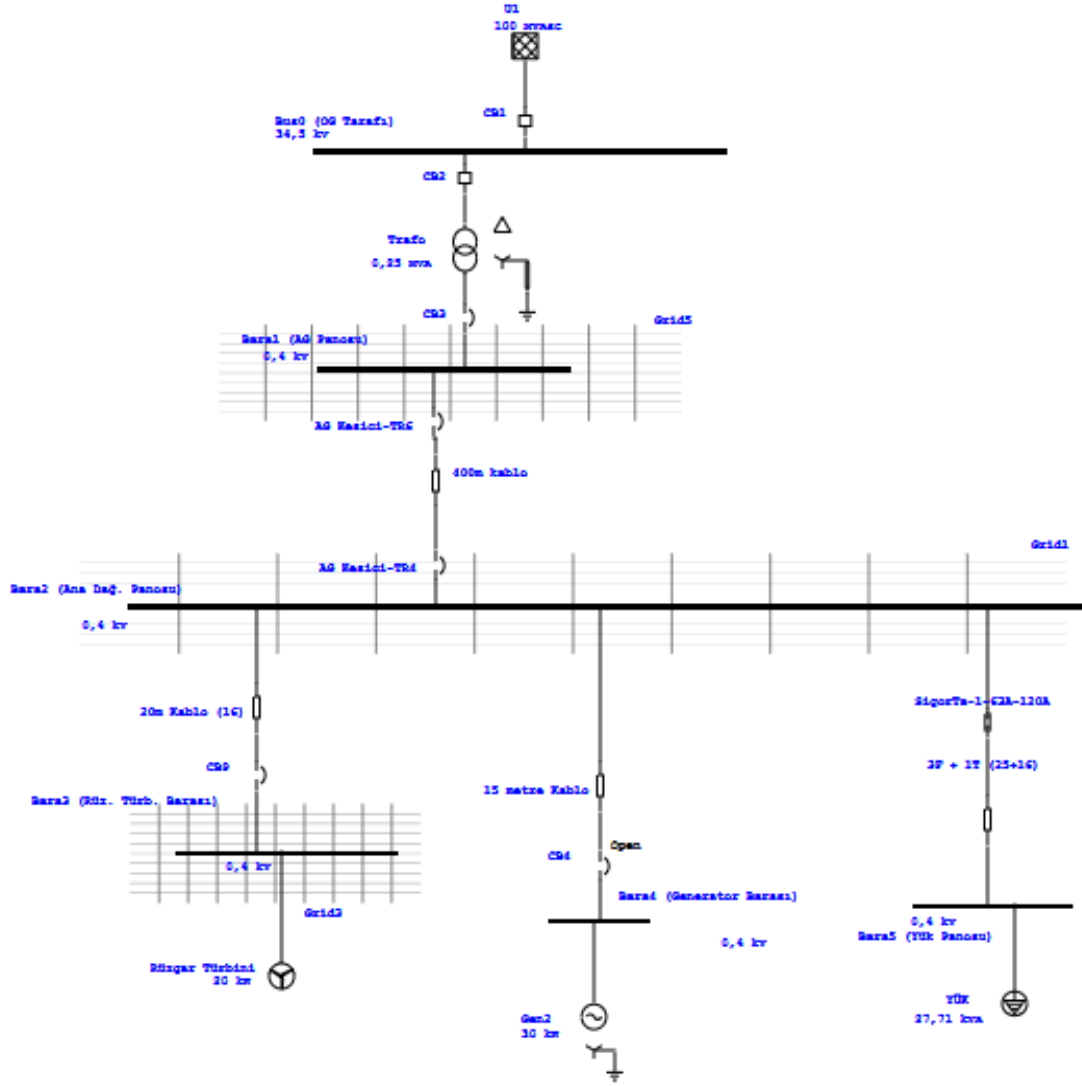
Referans kaynakta çeşitli sadeleştirmelere gidilerek şekil 4.7’de görülen yeni tek hat şeması oluşturulmuştur. Mikro gaz türbini, aynı güçteki bir alçak gerilim rüzgar türbini ile değiştirilmiş; yük sayısı azaltılmış ve enerji depolamak için kullanılan flywhell elemanı sistemden çıkarılmıştır. Gerilim seviyelerine, yükün çektiği akım değeri gibi sayısal niceliklere bağlı kalmıştır.

MİKRO ŞEBEKE TEK HAT ŞEMASI



Şekil 4.7: Mikro şebeke tek hat şeması.

Tasarlanan tek hat şeması, 0,25MVA'lık 34.5/0.4 kV gerilim seviyelerine sahip bir trafo ile orta gerilim ve alçak gerilim birbirinden ayrılmıştır. Alçak gerilim panosu konulmasındaki amaç, gerektiği taktide aynı trafodan başka kullanıcılara da çıkış almaktır. Şebekeden çekilen enerji, 400 metre kablo kullanılarak trafo alçak gerilim panosundan, ana dağıtım panosuna taşınmıştır. 20kW gücündeki rüzgar türbini, şebeke kesildiğinde devreye girecek olan 30kW'lık stand-by generatör ve 25 kW gücündeki yük, ana dağıtım panosuna bağlanmıştır. Tasarlanan sistemde ana dağıtım panosuna bağlı ekipmanların birbirine yakınlık durumu göz önünde bulundurulmuş ve tek hat şemasında belirtilen mesafeler kablolar için uygun görülmüştür. Simülasyonu yapılacak topraklama sistemine göre kablo konfigürasyonları değişmektedir. Şekil 4.8'de sistemin, ETAP programına uygulanmış tek hat şeması görülmektedir.



Şekil 4.8: ETAP tek hat şeması.

Mikro şebekeyi orta gerilim tarafından ayırmak için 0,25 MVA’lık trafo seçilmiştir. Seçilen gerilim ve güç değerlerine göre etap kütüphanesinden tipik empedans değerleri alınmıştır. Primer tarafın topraklaması üçgen bağlı iken, sekonder tarafın topraklaması, tasarlanan sisteme göre doğrudan, direnç üstünden ya da açık şekildedir. Trafonun ETAP programındaki parametre sekmeleri şekil 4.9’daki gibidir.

Info	Reliability		Remarks			Comment	
	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic

Şekil 4.9: Trafo parametre sekmesi.

Referans kaynakta alüminyum olarak belirtilen 400 metre kablo gerilim düşümü hesaplarını iyileştirmek adına bakır iletken ile değiştirilmiştir. Yükün çektiği akım da

dikkate alınarak 70mm²'lik kablo, iletken olarak atanmıştır. Kablo tipi tasarlanan topraklama sistemine göre üç faz-bir nötr, üç faz-bir nötr-bir toprak ya da üç faz-bir PEN olacak şekilde farklı şekillerde düzenlenmiştir. Kablonun toprak altından döşeneceği kabul edilmiş olup, kabloların akım taşıma kapasiteleri 20 derece olarak seçilen ortam sıcaklığına göre tekrar düzenlenmiştir. Kablonun ETAP programındaki parametre sekmeleri şekil 4.10'daki gibidir.

Sizing - Phase	Sizing - GND/PE	Reliability	Routing	Remarks	Comment
Info	Physical	Impedance	Configuration	Loading	Capacity
					Protection

4.10: Kablo parametre sekmesi.

20 kw gücündeki alçak gerilim rüzgar türbini, 20 metre kablo kullanılarak ana dağıtım panosuna bağlanmıştır. ETAP programında 4 tip rüzgar türbini bulunmaktadır. Tip 1, yapımı ve entegrasi en kolay olan, sabit hızlı asenkron generatördür. Bu rüzgar türbin tipi çalışması için şebeke ya da bir kapasite bankasından çekeceği reaktif güce ihtiyaç duymaktadır. Tip 2, değişken kayma ve değişken rotor direncine sahip asenkron generatördür. Tip 3, değişken hızlı, çift beslemeli asenkron generatördür. Son olarak tip 4, tamamen doğrultucu entegrasi olan değişken hızlı asenkron generatördür. Bu tasarım projesinde tip 1 rüzgar türbini, mikro şebeke kaynağı olarak kullanılmıştır.

Tip 1 rüzgar türbinin verimi yüzde doksan olacak şekilde ayarlanmıştır. Empedans değerleri olarak ETAP kütüphanesindeki değerler kullanılmıştır. Topraklama tipi tasarlanan sisteme göre doğrudan, açık ya da direnç üzerinden olacak şekilde düzenlenmiştir. Ortalama rüzgar hızı olarak 15m/s uygun görülmüştür. Rüzgar türbinin, ETAP programındaki parametre sekmeleri şekil 4.11'de görülebilmektedir.

Info	Rating	Imp/Model	Turbine	Wind	Pitch Control	Inertia	Time Domain	Reliability	Remarks	C	◀	▶
------	--------	-----------	---------	------	---------------	---------	-------------	-------------	---------	---	---	---

Şekil 4.11: Rüzgar türbini parametre sekmesi.

30 kW gücündeki senkron generatör, 15 metre kablo kullanılarak ana dağıtım panosuna bağlanmıştır. Rüzgar türbini, şebeke ile paralel çalışırken generatör devrede değildir. Mikro şebekenin şebeke ile bağlantısı kesildiği anda, senkron generatör devreye girmektedir. Empedans olarak ETAP kütüphanesine ait tipik değerler seçilmiştir. Topraklama tipi tasarlanan sisteme göre doğrudan, açık ya da direnç üzerinden olacak şekilde düzenlenmiştir. Şekil 4.12'de görülen diğer sekmelerde, standart veriler üzerinde bir düzenleme yapılmamıştır.

Harmonic	Protection	Reliability	Fuel Cost	Time Domain	O & M	Remarks	Comment	
Info	Rating	Capability	Imp/Model	Grounding	Inertia	Exciter	Governor	PSS

Şekil 4.12: Senkron generatör parametre sekmesi.

25kw gücündeki, 0,8 güç faktörüne sahip 3 fazlı yük 40 amper çekmektedir. Yüzde sekseni dinamik, yüzde yirmisi statik olacak şekilde yük karakteristiği belirlenmiştir. 20 metre kablo ile yük, ana dağıtım panosuna bağlanmıştır. 3 fazlı yükün, ETAP programındaki parametre sekmeleri şekil 4.13’de görülebilmektedir.

Info	Nameplate	Short-Circuit	Dyn Model	Time Domain	Reliability	Remarks	Comment
------	-----------	---------------	-----------	-------------	-------------	---------	---------

Şekil 4.13: Yük parametre sekmesi.

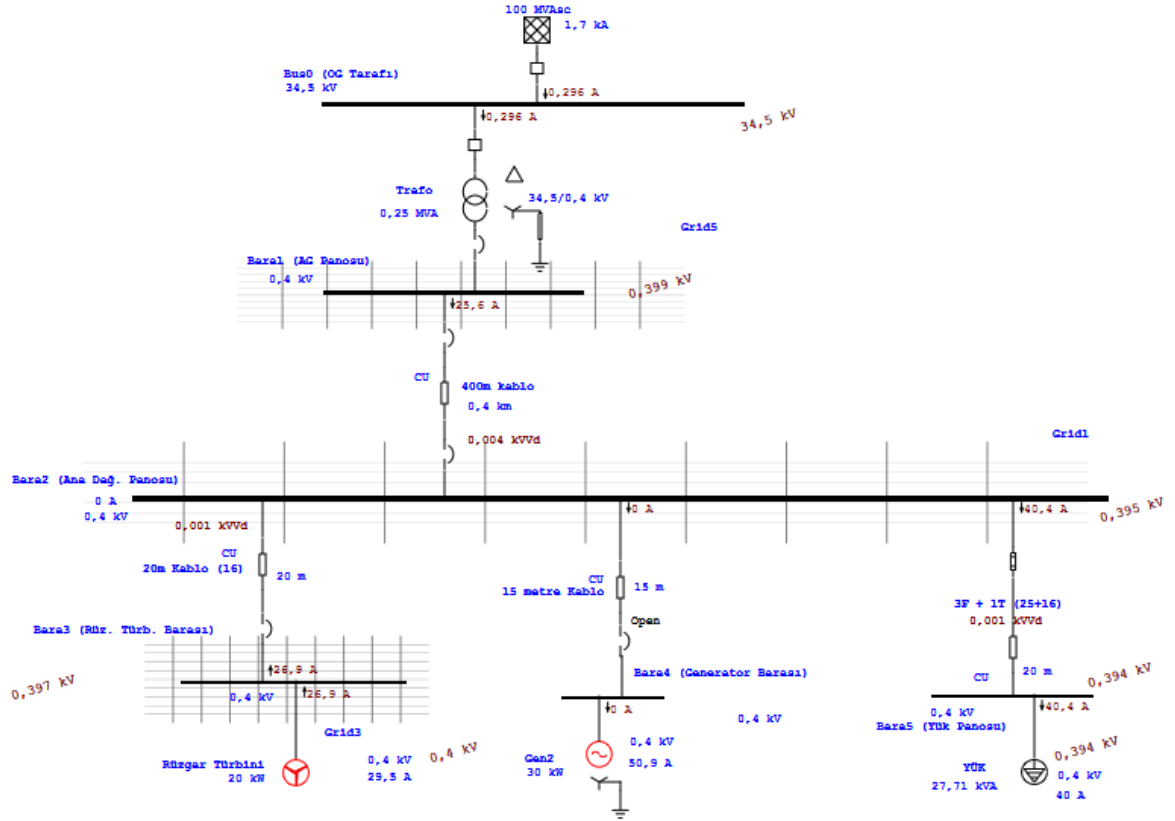
Simülasyonu yapılan tek hat şemasının ve bu tasarıma ait elemanların parametreleri bölüm dörtte belirtildiği şekilde programa işlenmiştir. Daha kesin ve doğru sonuçlar alabilmek için seçilen ekipmanların katalog verileri incelenmelidir.

5. PARALEL ÇALIŞAN ALÇAK GERİLİM MİKRO ŞEBEKENİN YÜK AKIŞI ANALİZİ

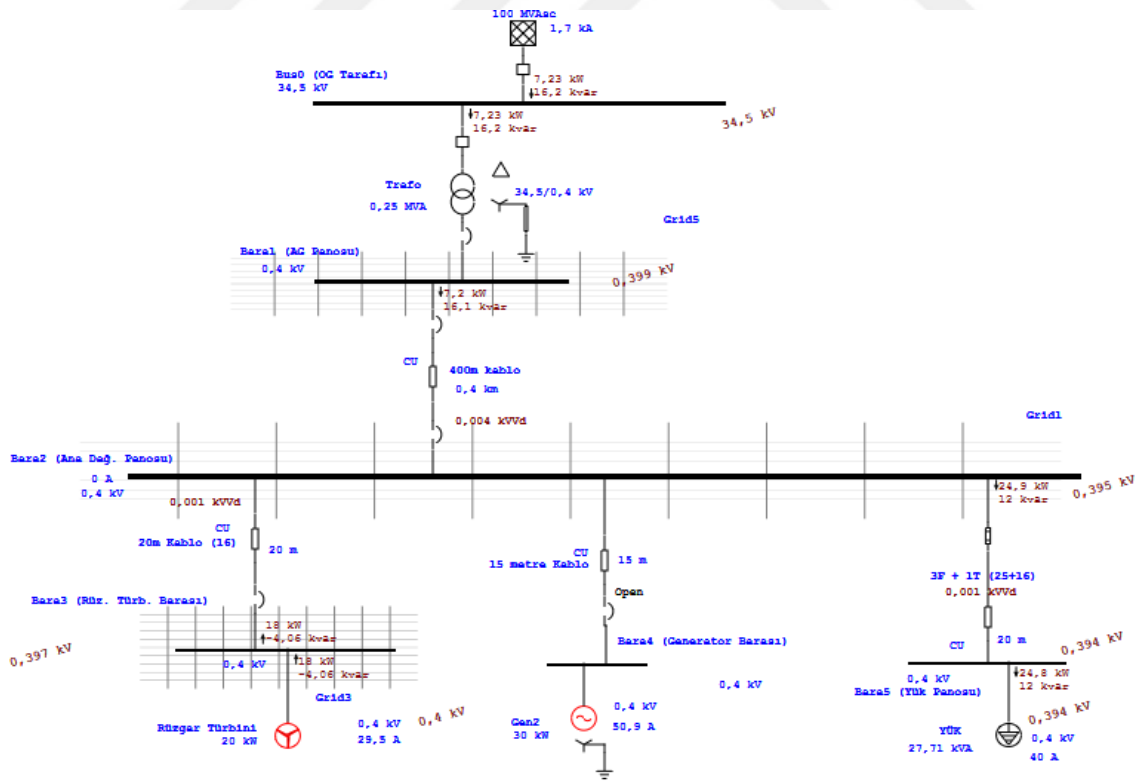
Rüzgar türbininin şebeke ile birlikte yükü beslemesine paralel çalışma denilmektedir. Rüzgar türbini şebekeden gelen reaktif güç ile, içerisinde bulunan asenkron generatörün ihtiyaç duyduğu manyetik alan oluşumunu gerçekleştirmektedir. Tasarlanan alçak gerilim mikro şebekenin doğru bir şekilde ETAP'a işlendiğini gözlemek için yük akışı sonuçlarını incelemek gereklidir. ETAP yük akışı modülüne geçiş yapılarak, yük akışı sonuçları ile yükün istenilen akımı çekip çekmediği, hatlar üzerindeki gerilim düşümleri, baraların akım-gerilim değerleri ve hatlardaki aktif-reaktif güç durumları incelenmiştir. Şebeke, generatör ve rüzgar türbinin birbirine göre devrede olma durumları çizelge 5.1'de belirtildiği gibidir. Rüzgar türbini çalışması için bağlı olduğu ana dağıtım panosunda enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanında generatörün devreye girmesi için, şebeke ile bağlantının kesilmesi şarttır. Şebeke ve generatörün her ikisinin de devrede olmadığı durumda yüke herhangi bir enerji iletilememektedir. Yapılan yük akışı analizleri sonucu şekil 5.1 ve şekil 5.2 deki veriler elde edilmiştir. Şekil 5.1 de hatlar üzerinde akan akımlar görülmektedir.

Çizelge 5.1: Mikro şebeke paralel ve izole çalışma koşulları.

	Paralel Çalışma	Ada Çalışma	Enerjisiz Sistem
Şebeke	1	0	0
Rüzgar Türbini	1	1	0
Generatör	0	1	0



Şekil 5.1: ETAP paralel çalışma yük akışı sonuçları- bara akımları.



Şekil 5.2: ETAP paralel çalışma yük akışı sonuçları-bara güçleri.

Şekil 5.2’de baralar üzerindeki aktif-reaktif güç akışı değerleri görülmektedir. Paralel çalışma durumunda yükün ihtiyaç duyduğu 25 kW, hem şebeke hem de rüzgar türbininden sağlanmaktadır. Rüzgar türbini ayarlandığı gibi yüzde doksan verimle 18 kW’ı yüke iletmektedir. Yükün kalan ihtiyacı şebeke üzerinden sağlanmaktadır. Enerji iletimi sırasında aktif güçte bir miktar kayıp yaşanmıştır.

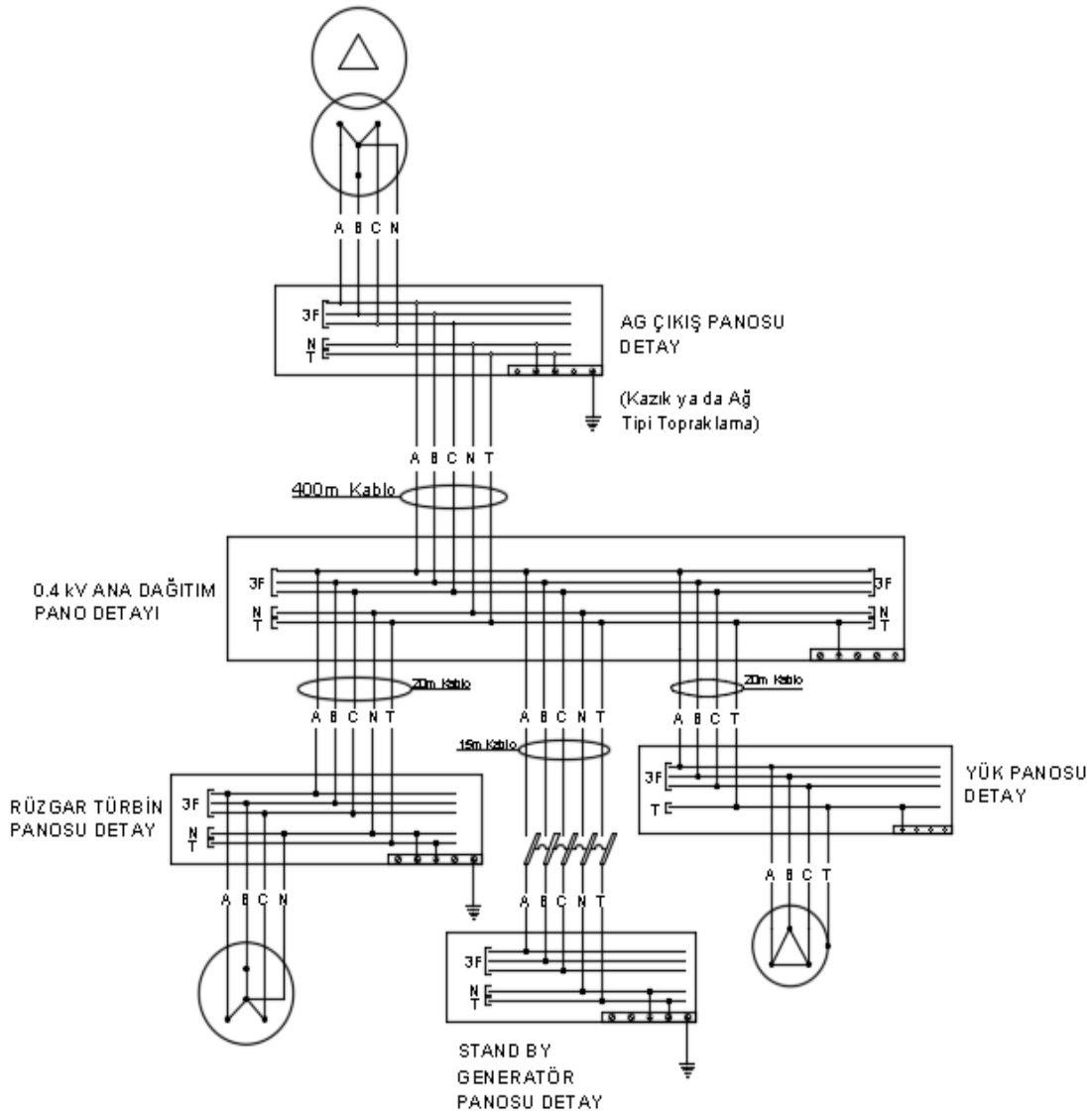
Tip 1 rüzgar türbini, çalışması için ihtiyaç duyduğu reaktif gücü şekil 5.2’de görüleceği üzere şebekeden çekmektedir. Ayrıca yükün ihtiyaç duyduğu 12 kvar reaktif güç de şebekeden sağlanmaktadır. Güç akışlarına ek olarak, hatlarda yaşanan gerilim düşümleri de yük akışı sonuçlarında incelenebilmektedir. Bara gerilimlerini istenilen değerde tutmak için bazı hatlarda(400 metre kablo hattı) kesit yükseltme işlemine gidilmiştir.

5.1 Paralel Çalışma Topraklama Sistemlerinin Tek Hat Şemaları

ETAP programı üzerinden, mikro şebekedeki arıza analizlerine geçilmeden önce, topraklama sistemlerinin tek hat şemaları hazırlanmıştır. Literatür araştırması ve sektördeki uygulamalar dikkate alınarak, her topraklama sisteminin detayı sunulmuştur. Sistemler işletme ve koruma topraklama tiplerine göre, kablo damar sayıları, pano detayları ve topraklamaların bulunduğu yerler olarak farklılık göstermektedir. Hazırlanan tek hat şemaları ile kısa devre ve gövde kaçak akımlarının izlediği yollar daha rahat görülebilmektedir.

5.1.1 TN-S sistem tek hat şeması

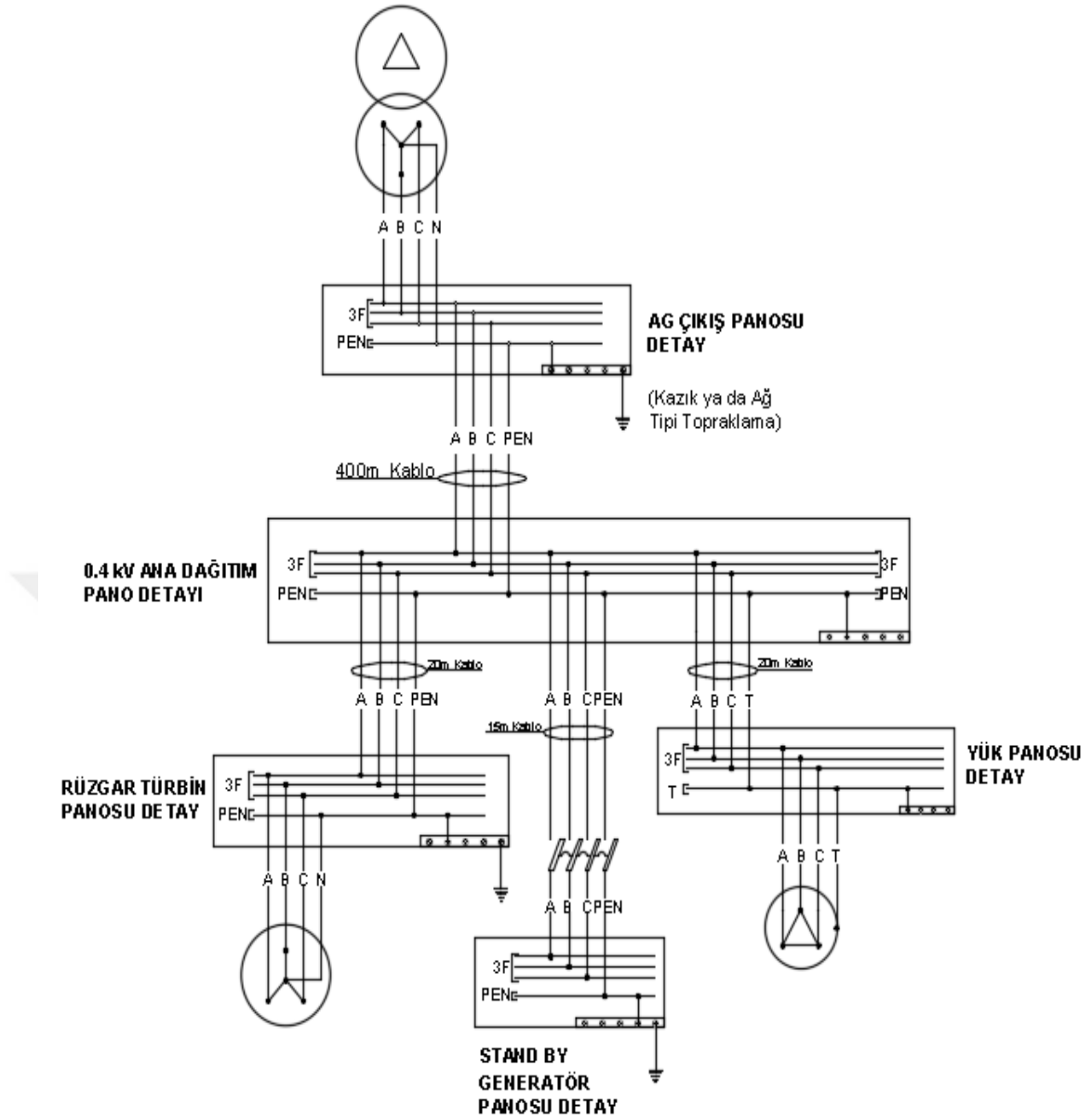
Şekil 5.3’de görüleceği üzere, TN-S sistemde işletme topraklaması alçak gerilim panosu üzerindeki eş potansiyel bara ile doğrudan yapılmıştır. TN-S sistemde koruma iletkeni olarak kullanılan PE ve nötr iletkenleri birbirinden ayrılmıştır. Bu yüzden alçak gerilim panosundan üç faz, bir nötr, bir toprak olmak üzere 5 adet kablo ana dağıtım panosuna kadar taşınmıştır. Şebekenin diğer enerji üreticisi olan rüzgar türbininde de aynı kablo yapısı uygulanmıştır. Pano detayları, işletme ve koruma topraklama yerleri şekil 5.3’de belirtildiği gibidir.



Şekil 5.3: TN-S sistem tek hat şeması.

5.1.2 TN-C sistem tek hat şeması

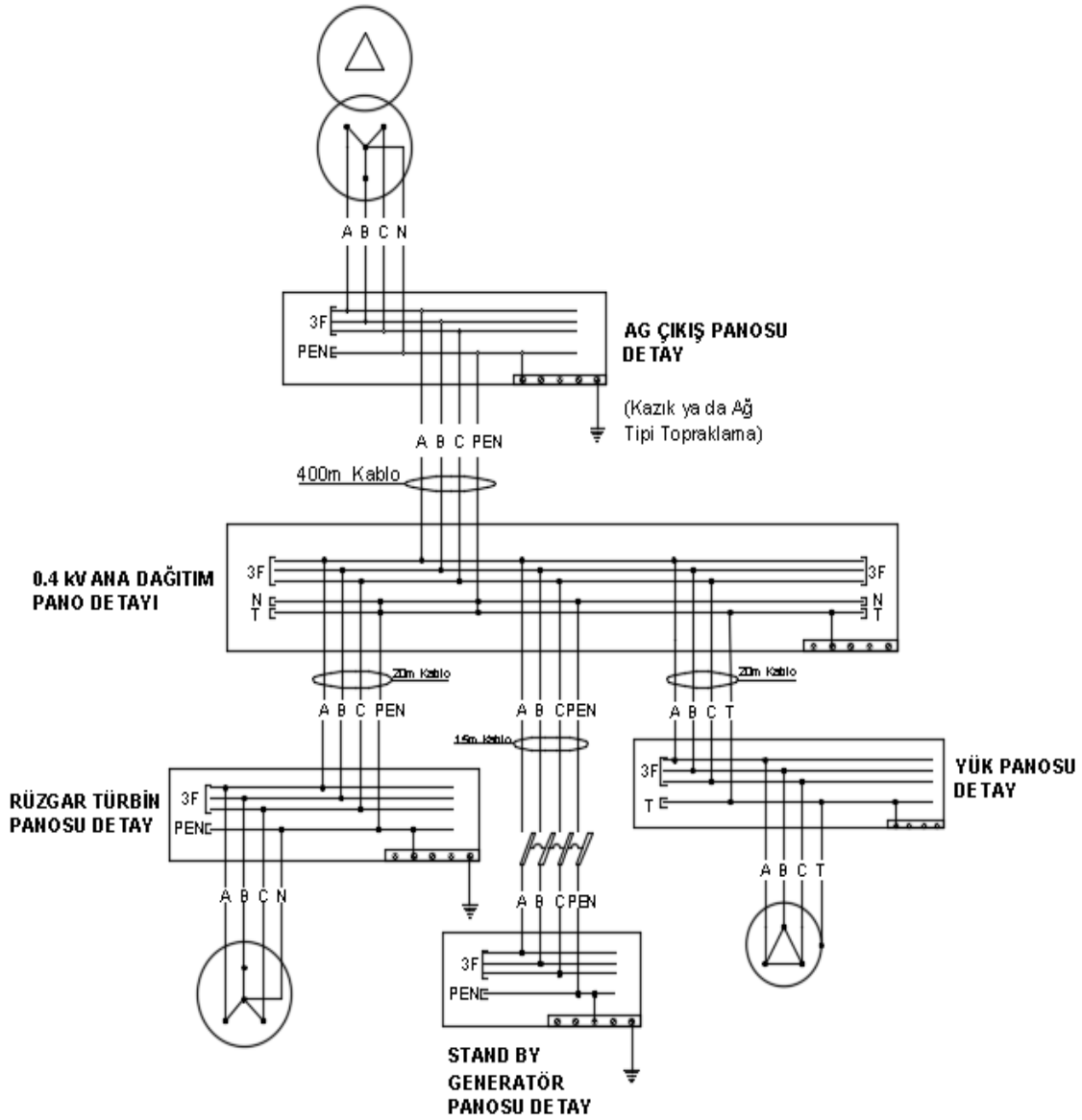
Şekil 5.4'te görüleceği üzere, TN-C sistemde işletme topraklaması alçak gerilim panosu üzerindeki eş potansiyel bara üzerinden doğrudan yapılmıştır. TN-C sistemde koruma iletkeni olarak kullanılan PE, nötr ile birleştirilerek ortaya PEN iletkeni çıkmıştır. 3 faz ve PEN iletkeni alçak gerilim panosundan alınarak, ana dağıtım panosuna kadar taşınmıştır. Bir diğer enerji kaynağı olan rüzgar türbininde de aynı kablo yapısı uygulanmıştır. Pano detayları ve topraklama yerleri şekil 5.4'de belirtildiği gibidir.



Şekil 5.4: TN-C sistem tek hat şeması.

5.1.3 TN-C-S sistem tek hat şeması

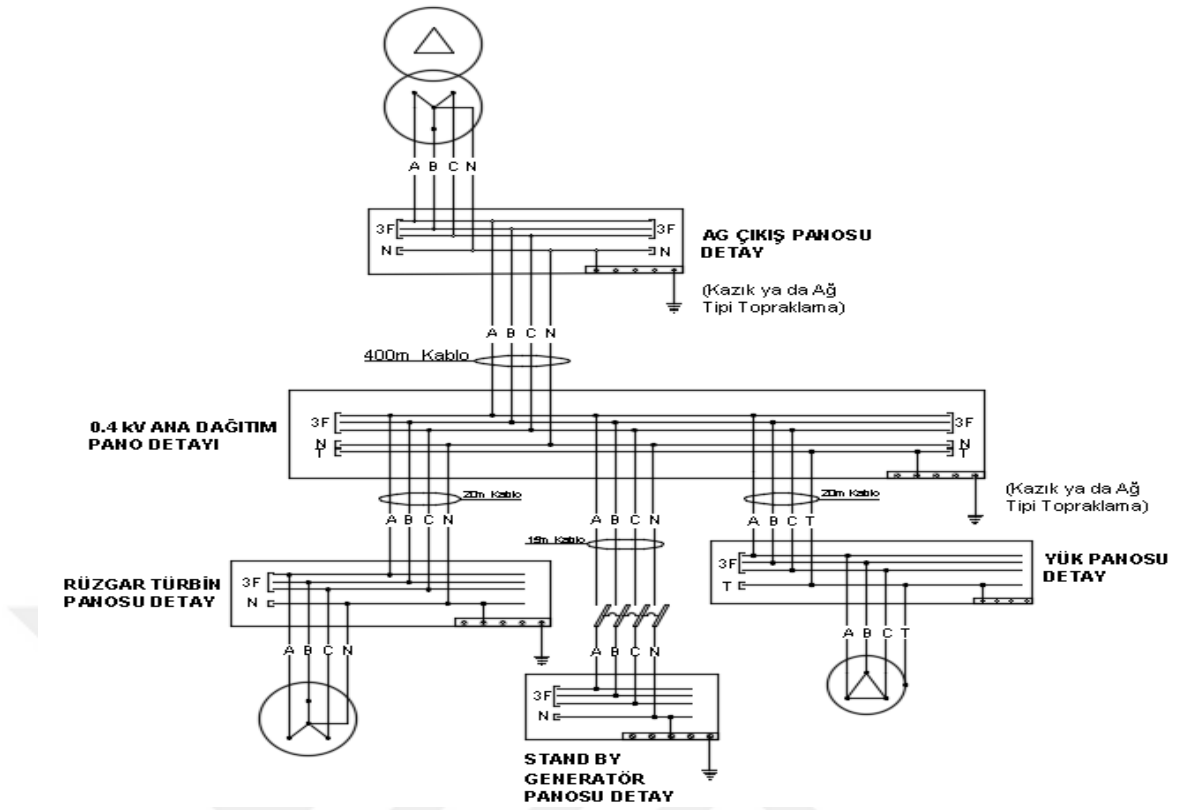
Şekil 5.5'te görüleceği üzere, TN-C-S sistemde işletme topraklaması, diğer TN sistemlerde olduğu gibi alçak gerilim panosu üzerindeki eş potansiyel baradan doğrudan yapılmıştır. Koruma iletkeni olarak ana dağıtım panosunda kadar PEN iletkeni kullanılmışken, bu noktadan sonraki dağıtımlarda PE ve nötr iletkenleri birbirinden ayrı hale getirilmiştir.



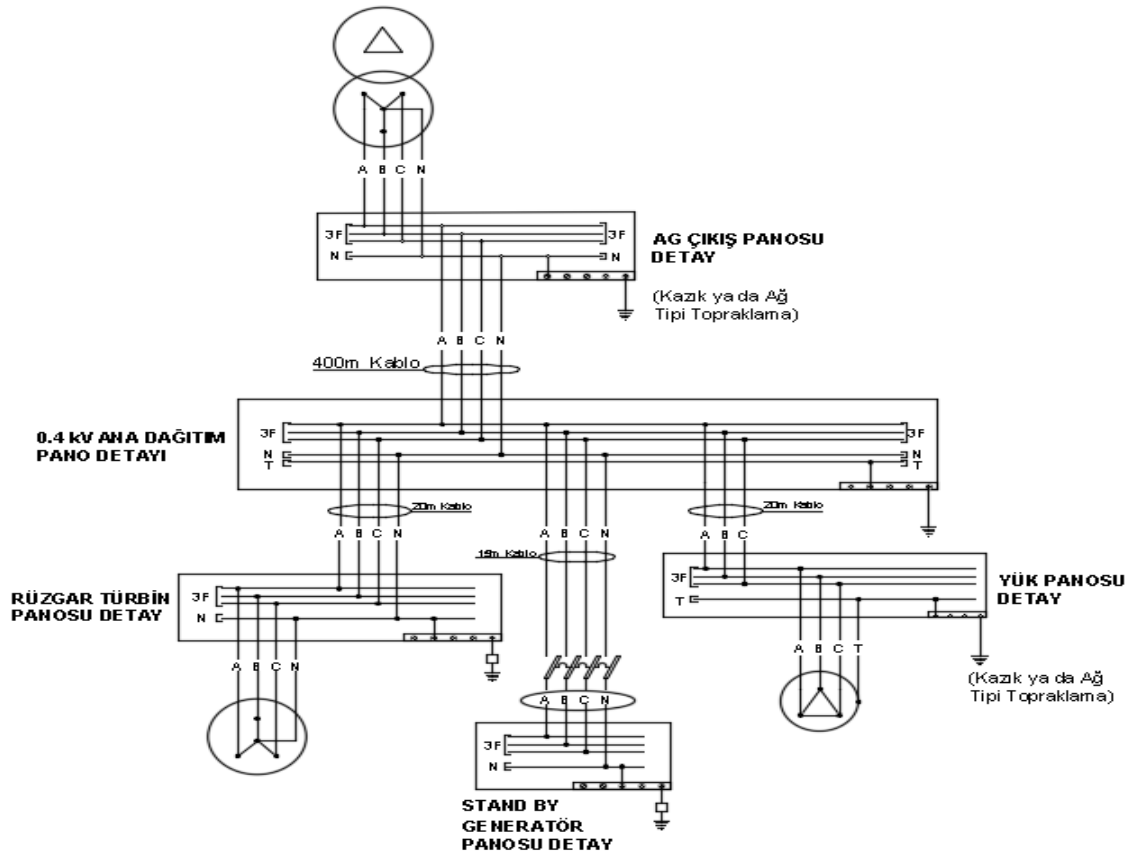
Şekil 5.5: TN-C-S sistem tek hat şeması.

5.1.4 TT sistem tek hat şeması

TT sistemde işletme topraklaması, alçak gerilim panosunda bulunan eş potansiyel baradan yapılmıştır. Koruma topraklaması bir kablo ile kaynaktan taşınması yerine, kullanıcıya yakın bir noktadan yapılmaktadır. Birden çok ekipman aynı panodan beslenmişse, şekil 5.6'da gösterildiği gibi, toprak iletkenlerini ana dağıtım panosunda bulunan topraklama barasına uzatılmasında fayda vardır. Tek bir ekipman gövdesi topraklanacaksa, şekil 5.7'de gösterildiği gibi cihaz üzerinden doğrudan topraklamaya da gidilebilir.



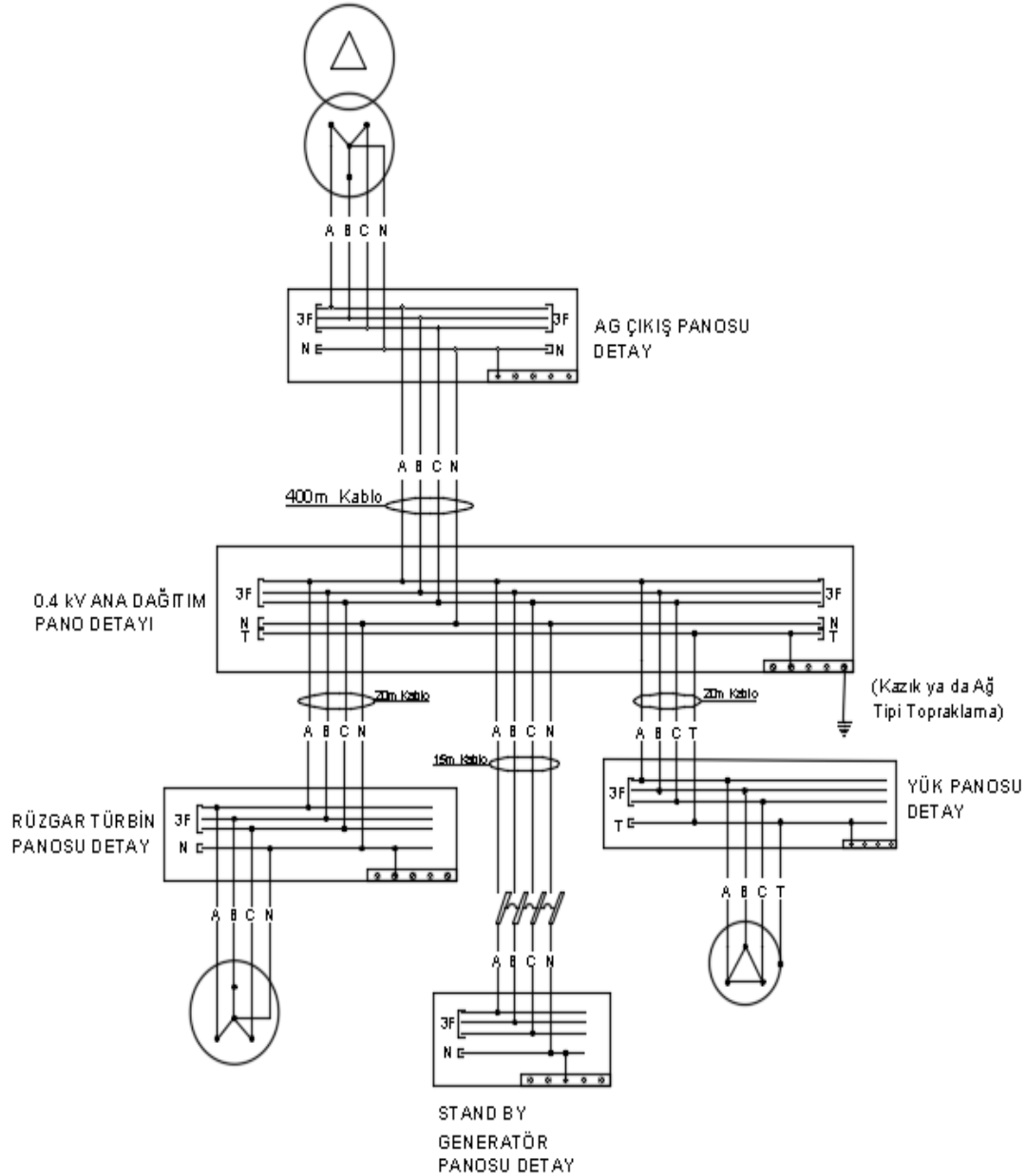
Şekil 5.6: TT sistem tek hat şeması-1.



Şekil 5.7: TT sistem tek hat şeması-2.

5.1.5 IT sistem tek hat şeması

IT sistemde işletme topraklaması topraktan izole edilmiştir. Enerji dağıtım, trafo alçak gerilim panosundan 3 faz ve bir nötr kablosu ile yapılmıştır. Koruma topraklaması olarak da ana dağıtım panosuna konulan eş potansiyel dengeleme barası kullanılmıştır. Şekil 5.8’de IT sisteme ait bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 5.8: IT Sistem tek hat şeması.

6. PARALEL ÇALIŞAN AG MİKRO ŞEBEKENİN KISA DEVRE ANALİZLERİ

Topraklama tek hat şemaları ve ETAP uygulama ara yüzü tanıtılan, yük akışı sonuçları verilen şebekenin yük ve trafo AG panolarında çeşitli arızalar simüle edilmiştir. İşletme ve koruma topraklamaları, uygun simülasyonların yapılması ile altıncı bölümde ayrı ayrı incelenmiştir.

6.1 İşletme Topraklaması İncelenmesi

6.1.1 Yük panosu arıza durumları:

Yapılan simülasyonlar ile;

- 3 Faz
- Faz-Faz
- Faz-Faz -Toprak
- Faz-Toprak arıza akımları ve gerilim değerleri elde edilmiştir. İşletme topraklamasına göre şekillenen bu değerler doğrudan ve direnç üzerinden sunulan sonuçlarla, tablolarda belirtildiği gibidir.

6.1.1.1 İşletmesi doğrudan topraklı

Mikro şebekenin paralel çalışma sırasında kaynağı durumunda olan trafo ve rüzgar türbininin işletme topraklaması, topraklama kablosu üzerine herhangi bir direnç yerleştirilmeden yapılmıştır. Doğrudan topraklama simülasyon sonuçlarında, uygulamada toprak altına yapılan ağ tipi ya da kaz ayağı topraklama sistemlerinin dirençleri ihmal edilmiştir.

Çizelge 6.1: Yük panosunda 3 faz arıza kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

3 FAZ ARIZA			TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0
TT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0
IT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0

Çizelge 6.1’de görüleceği üzere 3 faz arızasının, dengeli bir arıza olduğu için toprak hattından arıza akımı geçmemektedir. Yük panosu oluşan arıza akımı, 2000 amper seviyelerine kadar çıkmaktadır. Arıza bütün fazlarda yaşandığı için yük panosundaki faz gerilimleri 0 voltur. Trafo panosu değerleri incelendiğinde arıza akımının büyük bir kısmının şebekeden çekildiği görülmektedir.

Çizelge 6.2: Yük panosunda faz-faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
TT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
IT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235

Çizelge 6.2’de belirtildiği üzere, yük panosunda yaşanan faz-faz arıza durumunda kısa devre akımı olarak 1697 amper değeri görülmektedir. Arıza olmayan fazda, faz geriliminde çok küçük bir artış olmuş ve 235V elde edilmiştir. Görüleceği üzere topraklama sistemleri, arıza akım ve gerilimlerinde herhangi bir fark yaratmamış; bütün topraklama sistemleri için aynı arıza akım ve gerilimleri elde edilmiştir.

Çizelge 6.3: Yük panosunda faz-faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri

FAZ-FAZ-TOPRAK ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1576	135	1802
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	294	301
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	1576	135	1802
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	294	301
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1576	135	1802
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	294	301
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1576	135	1802
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	294	301
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	350	353	352

Çizelge 6.3 de, faz-faz-toprak arıza akımları ve sağlam faz gerilimleri görülmektedir. Yük panosunda kısa devre akımı olarak 1802 amper görülmektedir. Arıza olmayan faz gerilimi 301 volta yükselmiştir. Şebeke, arıza akımının büyük bir kısmını beslemektedir. Rüzgar türbini barasında hem gerilimde hem de arıza akımında artış görülmüştür.

Çizelge 6.4: Yük panosunda faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-TOPRAK ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1057	108	1189
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	231	285	296
	TN-C	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1057	108	1189
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	231	285	296
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1057	108	1189
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	231	285	296
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1057	108	1189
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	231	285	296
IT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	0	0	0	
	SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	400	400	400	

Çizelge 6.4 te görüleceği üzere, doğrudan topraklı faz toprak kısa devre akımı yük panosunda 1189 amper olarak hesaplanmıştır. Sağlam fazların kısa devre gerilimleri 296 volt olmuştur. TN ve TT sistemlerde işletme topraklamaları aynı olduğu için arıza akım ve gerilimlerinde herhangi bir farklılık görülmemiştir. IT sistemde kısa devre akımı, toprak üzerinden kaynağına dönemediği için kısa devre akımı sıfıra eşittir. Faz gerilim değerleri izlenerek arıza tanısı yapılmalıdır.

Çizelge 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4'ten görüleceği üzere doğrudan topraklı sistemlerin kısa devre akımları çok yüksek çıkmaktadır. Kısa devre akımı topraktan dönüşü sırasında herhangi bir direnç ile karşılaşmaması, yüksek kısa devre akımlarının ortaya çıkmasında etkili olmaktadır. IT sistem hariç diğer topraklama sistemlerinin işletme

toprakları aynı olduğu için, kısa devre akımları herhangi bir farklılık göstermemiştir. Şebekenin kısa devre akımlarına yaptığı katkı, rüzgar türbinin yaptığı katkıdan çok daha fazladır. Arıza olmayan faz gerilimleri arıza türüne göre farklılık göstermektedir.

6.1.1.2 İşletmesi 3 ohm direnç üzerinden topraklı

Mikro şebeke kaynağı olan trafo ve rüzgar türbininin işletme topraklaması, topraklama kablosu üzerine 3ohm değerinde bir direnç yerleştirilerek yapılmıştır. Bu 3 ohm'luk direncin, uygulamada toprak altına yapılan ağ tipi ya da kazayağı topraklama sistemi direnci olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 6.5: Yük panosunda 3 faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri

3 FAZ ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0
TT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0
IT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1708	165	1992
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	344	47	0

Çizelge 6.5'e göre 3 faz kısa devre akımı 2000 amper olarak hesaplanmıştır. Kısa devre akımı, devresini toprak üzerinden tamamlayamayacağı için işletme topraklama

değerinin 3 faz arıza durumunda bir önemi yoktur. Bütün topraklama türlerinde kısa devre akımı 2000 amper olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.6: Yük panosunda faz -faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	1487	120	1697
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235

Çizelge 6.6 da belirtildiği üzere, yük panosunda meydana gelen faz-faz kısa devre akımı 1700 amper olarak hesaplanmıştır. Arıza olmayan faz geriliminde küçük bir artış meydana gelmiş ve 235 volt görülmüştür. Topraklama sistemlerindeki farklılık, faz-faz arıza türü için de bir fark yaratmamıştır.

Çizelge 6.7: Yük panosunda faz-faz toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri

FAZ-FAZ-TOPRAK ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KD AKIMI (A)	1495	131	1711
		SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	342	347	348
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KD AKIMI (A)	1495	131	1711
		SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	342	347	348
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KD AKIMI (A)	1495	131	1711
		SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	342	347	348
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KD AKIMI (A)	1495	131	1711
		SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	342	347	348
IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KD AKIMI (A)	1474	107	1686	
	SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	353	349	352	

Çizelge 6.7'ye göre, yük panosunda meydana gelen faz-faz toprak kısa devre akımı 1711 amper olarak hesaplanmıştır. Arıza olmayan faz gerilimi 348 volta yükselmiştir. IT topraklamada işletme topraklaması olmamasına rağmen faz-faz-toprak kısa devre akımları gözlemlenmektedir.

Çizelge 6.8: Yük panosunda faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-TOPRAK		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZ KD AKIMI (A)	108	29	143
		SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	386	388	390
	TN-C	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	108	29	143
		SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	386	388	390
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	108	29	143
		SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	386	388	390
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	108	29	143
		SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	386	388	390
IT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	-	-	-	
	SAĞLAM FAZ KD GERİLİMİ (V)	400	400	400	

Çizelge 6.8’de görüleceği üzere yük panosunda meydana gelen faz-toprak arızası, trafo ve rüzgar panolarında bulunan ve hesaplarda birbirine paralel duruma gelen 3 ohm’luk işletme topraklaması değerleri ile 143 amper olarak hesaplanmıştır. Rüzgar türbini ve trafo panosundaki arıza akımları sırasıyla, 29 ve 108 amperdir. Görüleceği üzere 3 ohm işletme topraklamasına sahip sistemlerdeki kısa devre akımları, nominal çalışma akımlarına çok yaklaşmıştır. Sağlam fazlarda meydana gelen gerilim yükselmesi, arıza tanısı yapılmasında etkili olacaktır

6.1.2 Trafo AG Panosu Arıza Durumları

Yük panosunda yapılan arızalara ek olarak, şebekeye yakın noktada çeşitli arızalar simüle edilmiştir. Yapılan simülasyonlar ile;

- 3 faz
- Faz-Faz
- Faz-Faz –Toprak
- Faz-Toprak kısa devre akımları ve sağlam fazların gerilim değerleri elde edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları işletmesi doğrudan topraklı ve 3 ohm üzerinden topraklı olacak şekilde aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

6.1.2.1 İşletmesi Doğrudan Topraklı

Mikro şebeke kaynağı olan trafo ve rüzgar türbininin işletme topraklaması, topraklama hattı üzerine herhangi bir direnç yerleştirilmeden yapılmıştır. Doğrudan topraklama simülasyon sonuçlarında toprak altına yapılan ağ tipi ya da kaz ayağı topraklama sistemlerinin dirençleri ihmal edilmiştir.

Çizelge 6.9: Trafo AG panosunda 3 faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

3 FAZ ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	165	180
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	61
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	164	180
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	65
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	165	180
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	65
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	165	180
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	65
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	165	180
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	65

Çizelge 6.9’da belirtildiği üzere, doğrudan topraklı trafo panosunda meydana gelen 3 faz kısa devre akımı 9600 amper düzeyindedir. 3 faz kısa devre akımının bu denli yüksek çıkma nedenlerinden biri, topraklamanın doğrudan yapılmış olması iken bir diğeri de ETAP’a şebeke kısa devre gücü olarak girilen değerin 100 MVA olmasıdır. Şebeke 3 faz kısa devre gücü 1 MVA’ya indirildiğinde trafo panosunda meydana gelen kısa devre akımı 1500 ampere düşmektedir.

Çizelge 6.10: Trafo AG panosunda faz-faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
TT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
IT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235

Çizelge 6.10’da görüleceği üzere doğrudan topraklı trafo panosunda meydana gelen faz-faz arıza akımı 8600 amperdir. Sağlam faz geriliminde herhangi bir artış meydana

gelmemiştir. Kısa devre akımının bu denli yüksek çıkmasında arızanın kaynağa yakın olması ve şebeke kısa devre gücünün yüksek seçilmesinin etkileri vardır.

Çizelge 6.11: Trafo AG panosunda faz-faz-toprak kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ-TOPRAK ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	9928	145	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	233	238	238
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	9928	145	145
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	233	238	238
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	9928	145	145
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	233	238	238
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	9928	145	145
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	233	238	238
IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	158	
	SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	348	351	351	

Çizelge 6.11 incelendiğinde, faz-faz-toprak kısa devre akımının 9900 amper seviyesinde olduğu görülmektedir. Arıza olmayan faz geriliminde herhangi bir artış gerçekleşmemiştir. Faz-faz-toprak arıza akımı değerinin diğer arıza akım değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. IT topraklama sisteminde kısa devre olmayan faz geriliminde yükselme görülmüştür.

Çizelge 6.12: Trafo AG panosunda faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-TOPRAK ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	9880	120	120
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	236	235
	TN-C	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	9880	120	120
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	236	235
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	9880	120	120
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	236	235
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	9880	120	120
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	236	235
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	0	0	0
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	400	400	400

Çizelge 6.12’de görüleceği üzere faz-toprak kısa devre akımı 9900 amper seviyesinde olup, kaynağa yakın noktada meydana gelen faz-toprak kısa devre akımı- 3 faz kısa deve akımından daha büyük olmuştur. Arıza olmayan faz gerilimlerinde herhangi bir değişim olmamıştır. Arıza, fazlar üzerinde bulunan aşırı akım koruma sistemleri ile giderilmelidir.

6.1.2.2 İşletmesi 3 Ohm Direnç Üzerinden Topraklı

Mikro şebeke kaynağı olan trafo ve rüzgar türbinin işletme topraklaması, topraklama kablosu üzerine 3ohm değerinde bir direnç yerleştirilerek yapılmıştır. Bu 3 ohmluk direncin, uygulamada toprak altına yapılan ağ tipi ya da kaz ayağı topraklama sistemi direnci olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 6.13: Trafo AG panosunda 3 faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

3 FAZ ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	165	180
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	61
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	164	180
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	65
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	165	180
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	65
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	165	180
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	65
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	9618	165	180
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	0	67	65

Çizelge 6.13’de görüleceği üzere, sonuçlar çizelge 6.9 ile aynı çıkmıştır. Dengeli arıza durumlarında topraklama direncinin bir önemi yoktur. Kısa devre akım ve gerilim değerleri bütün topraklama sistemleri için eşittir.

Çizelge 6.14: Trafo AG panosunda faz-faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	160
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	232	235	235

Çizelge 6.14'te görüldüğü üzere faz-faz arıza sonuçları, çizelge 6.10'da elde edilen değerler ile örtüşmektedir. Faz-faz arızaları toprak üzerinden devrelerini tamamlamayacakları için, sistemin doğrudan ya da direnç üzerinden topraklanmış olması bu tip arızalar için bir fark yaratmayacaktır.

Çizelge 6.15: Trafo AG panosunda faz-faz-toprak kd akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ-TOPRAK ARIZA		TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8629	131	158
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	347	347	346
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	8629	131	158
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	347	347	346
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	8629	131	158
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	347	347	346
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8629	131	158
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	347	347	346
IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	8600	121	158	
	SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	348	351	351	

Çizelge 6.15'te görüleceği üzere, faz-faz-toprak arıza akımları 8600 amper değerindedir. Kaynağa yakın noktada gerçekleşen bu arıza türünde, kısa devre akımlarında yüksek değerler elde edilmiştir. Topraklama sistemlerindeki farklılıklar arıza akımlarında büyük değişiklikler meydana getirmemiştir. Bu arıza türünde, sağlam fazların gerilim değerlerinde artış meydana gelmiş, 350 volta yakın değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6.16: Trafo AG panosunda faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-TOPRAK ARIZA			TRAFO PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	150	25	2
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	399	392	393
	TN-C	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	150	25	2
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	399	392	393
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	150	25	2
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	399	392	393
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	150	25	2
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	399	392	393
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	0	0	0
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	400	400	400

Çizelge 6.16 incelendiğinde, 3 ohm üzerinden topraklı trafo panosunda meydana gelen faz toprak arıza akımı 150 amper olarak hesaplanmıştır. Sistemin kalan kısımlarındaki arıza akımları, koruma elemanlarını devreye almayacak kadar düşük değerde olduğu için, gerilimlerin izlenerek bir koruma yapılması gerekmektedir.

6.2 Koruma Topraklaması İncelemesi

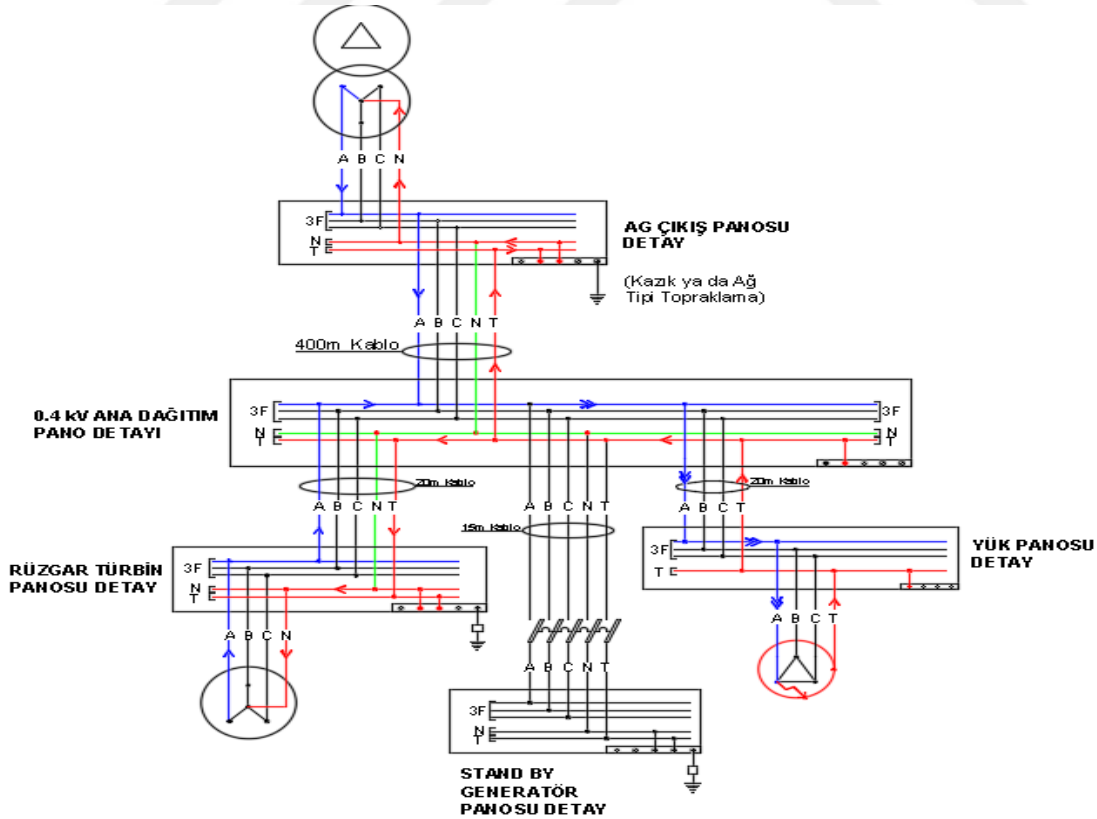
Koruma topraklaması sonuçlarının incelenmesi için, insan hayatını en çok riske sokan arızalardan, faz iletkeninin gövdeye temas durumu incelenmiştir. Cihaz ya da yük panosunda gövde kaçağı yaşanması halinde, sıfır potansiyelde olması gereken ve

canlıların doğrudan temas edebileceği cihaz gövdeleri, gerilim altında kalmaktadır. Sisteme uygulanan koruma topraklamasındaki amaç, bu gibi durumları fark edip arızayı en kısa sürede ortadan kaldırmaktır. Farklı topraklama sistemlerine göre, yükte oluşan kaçak akımın izlediği yollar, kısa devre akımları, göz empedans değerleri ve dokunma gerilimleri aşağıda belirtilmiştir.

6.2.1 TN-S sistem:

TN-S sistemde gövdeye olan kaçak, sistem boyunca koruma iletkeni üzerinden kaynağa kadar taşınır. TN sistemlerde topraklama sistemin ana unsuru olmadığı için topraklama direncinin büyüklüğü ile ilgilenilmez. Şebekeden ve rüzgar türbininden beslenen yük, kaçak akımını koruma iletkeni ile ilgili kaynağa kadar iletir. Alçak gerilim panosu ve rüzgar türbini panosunda bulunan jumperlar aracılığı ile kaynağın nötr noktasına bağlantısı gerçekleşir.

Şekil 6.1’de mavi renk ile belirtilen hatlar faz kablolarını göstermektedir. Yük gövdesinde yaşanan kaçak akımı kırmızı renkli hat ile gösterilmiştir. Yeşil renkli hat ise dolaylı olarak gerilim altında kalan fakat kaçak akım akmayan bölümleri göstermektedir.



Şekil 6.1: TN-S sistem gövde kaçak akım yolu.

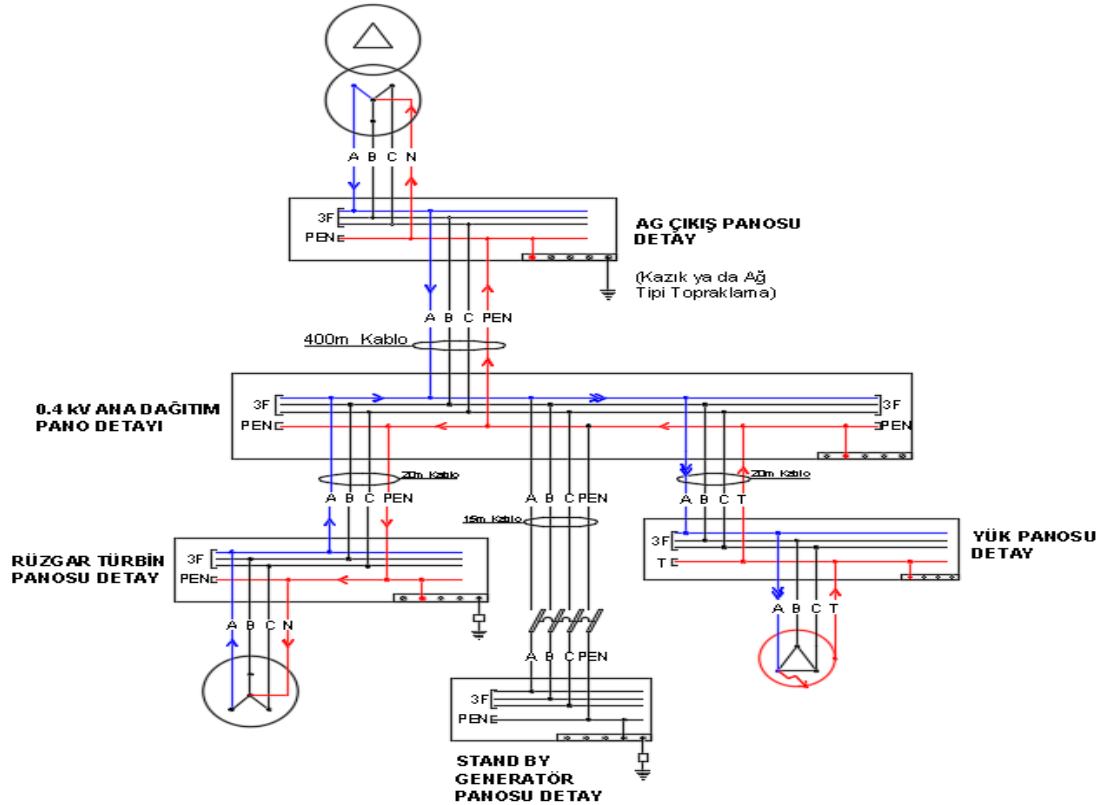
Çizelge 6.17: TN-S sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.

	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TN-S	230	0,176	1313	77

Çizelge 6.17 de TN-S sistemde, yükte meydana gelen gövde kaçağı kısa devre akımı, eşdeğer göz empedansı ve dokunma gerilimi değerleri gözükmemektedir. Eşdeğer göz empedansı bulunurken, kaynaklar, kablolar ve dönüş yolunda kullanılan PE iletkenleri dikkate alınmıştır. Kısa devre akımı olarak 1313 amper, yük panosu üzerinde 77 volt ortaya çıkmıştır.

6.2.2 TN-C sistem

TN-C sistemde gövdeye olan kaçak, sistem boyunca PEN iletkeni ile kaynağa kadar iletilir. Paralel çalışma durumunda şebeke ve rüzgar türbininden beslenen yük, kaçak akımını ilgili kaynağa kadar taşır. Şekil 6.2’de gösterildiği gibi mavi renk ile arıza akımını besleyen fazlar, kırmızı ile arızanın kaynağa taşınmasında etkili olan PEN iletkeni görülmektedir.



Şekil 6.2: TN-C sistem gövde kaçak akım yolu.

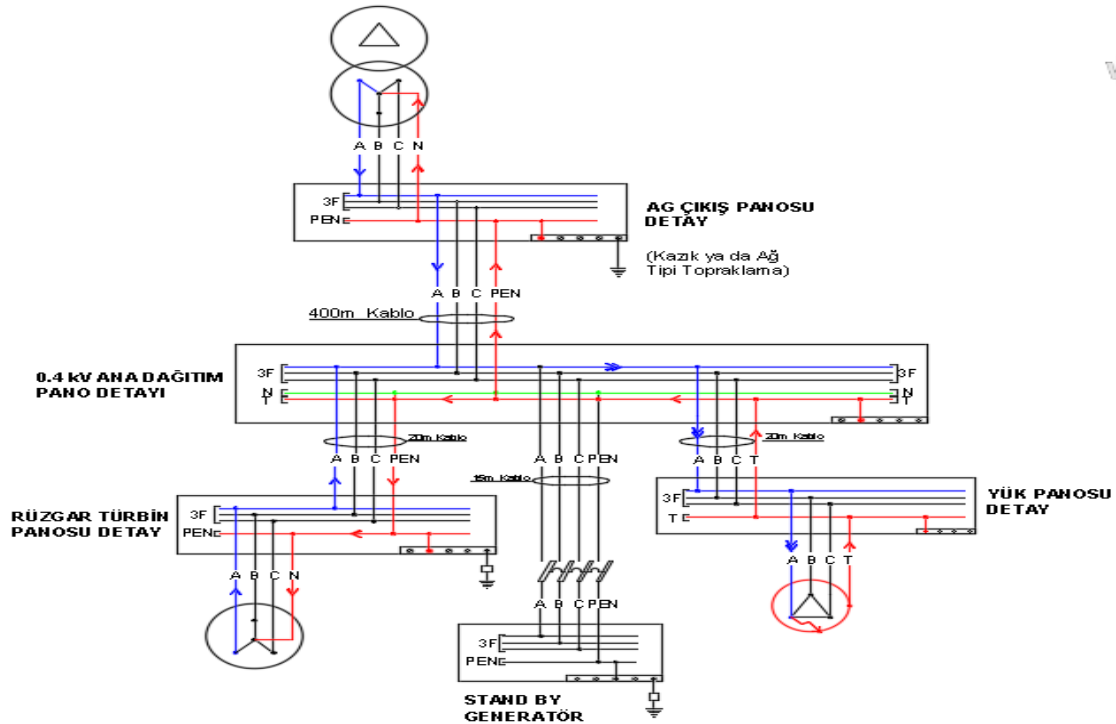
Çizelge 6.18: TN-C sistem gövde kaçak kısa devre sonuçları

	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TN-C	230	0,163	1421	64

Çizelge 6.18’de TN-C sistemde yükte meydana gelen gövde kaçak kısa devre akımı, eş değer göz empedansı ve dokunma gerilimi değerleri görülmektedir. Eşdeğer göz empedansı bulunurken, kaynaklar, kablolar ve dönüş yolunda kullanılan PEN iletkenleri dikkate alınmıştır. Kısa devre akımı olarak 1421 amper, yük panosu üzerinde ise 64 volt gerilim oluşmuştur.

6.2.3 TN-C-S sistem

TN-C-S sistemde nötr ve toprak kabloları PEN iletkeni ile ana dağıtım panosuna kadar taşınmıştır. Bu noktada nötr kablosu ve toprak kabloları farklı baralar ile birbirinden ayrılmış, sistemin geri kalanına 3 faz, bir nötr ve bir toprak kablosu taşınmıştır. Şekil 6.3’de mavi hatlar, arızayı besleyen fazı, kırmızı ile belirtilen arıza akımının dönüş yolunda kullandığı iletkenleri göstermektedir. Yeşil renk ise akım akmayan fakat dolaylı olarak gerilim altında kalan bölümleri göstermektedir.



Şekil 6.3: TN-C-S sistem gövde kaçak akım yolu.

Çizelge 6.19: TN-C-S sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.

	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TN-C-S	230	0,176	1313	77

Çizelge 6.19 da TN-C-S sistemde, yükte meydana gelen gövde kaçağı kısa devre akımı, eşdeğer göz empedansı ve dokunma gerilimi değerleri görülmektedir. Eşdeğer göz empedansı bulunurken, kaynaklar, kablolar ve dönüş yolunda kullanılan PE ve PEN iletkenleri dikkate alınmıştır. Kısa devre akımı olarak 1313 amper, yük panosu üzerinde 77 volt ortaya çıkmıştır.

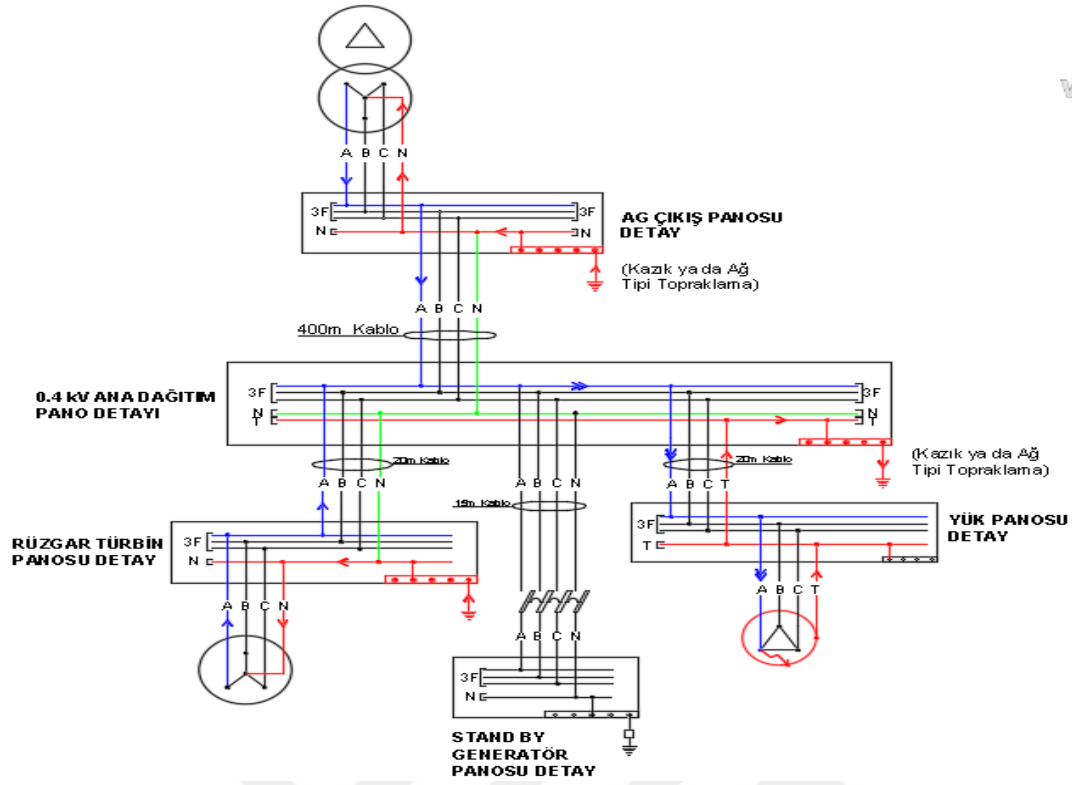
6.2.4 TT sistem

TT sistemde kaynaklardan 3 faz bir nötr kablosu ana dağıtım panosuna taşınmaktadır. Koruma topraklaması ise ana dağıtım panosunda bulunan eş potansiyel bana üzerinden yapılan toprak bağlantısı ile elde edilmiştir. TT şebekede gövde kaçağı devresini toprak üzerinden tamamlayacağı için topraklama dirençleri önemli rol oynamaktadır. Gövde kaçağı koruma iletkeni kullanılarak ana dağıtım panosunda bulunan eş potansiyel baraya gelir. Arıza akımı buradan toprağa aktarılarak, alçak gerilim panosu ve rüzgar türbini panosu ulaşır ve kaynakları nötr noktalarında devresini tamamlar. Şekil 6.4 ve 6.5'te TT şebeke için kullanılabilecek iki ayrı bağlantı şeması gösterilmektedir. Mavi renk ile arıza akımını besleyen fazlar gösterilmişken, kırmızı renk ile arıza akımının giderilmesinde rol alan toprak iletkenleri ve topraklama sistemleri görülmektedir. Yeşil renkli hatlar dolaylı olarak gerilim altında kalan hatları göstermektedir.

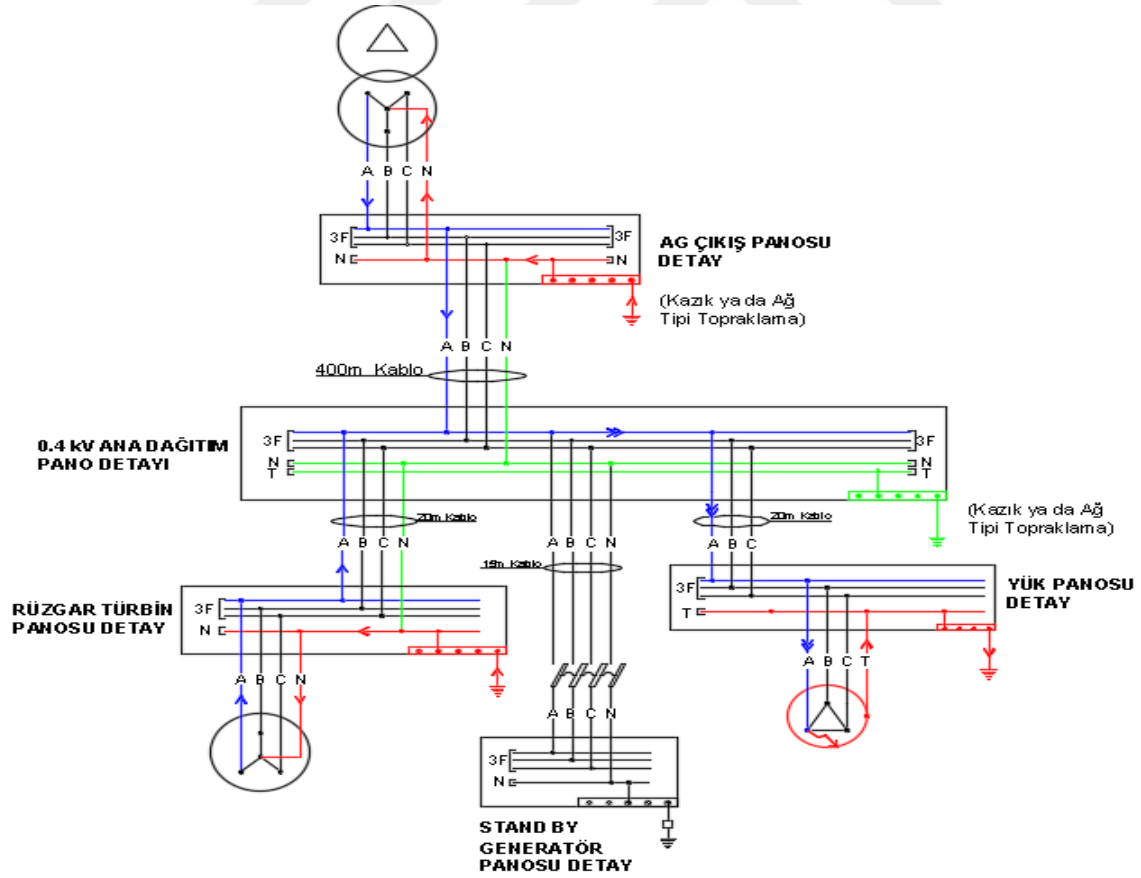
Çizelge 6.20: TT Sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.

	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TT	230	3,107	74	223

Çizelge 6.20'de TT sistemde, yükte meydana gelen gövde kaçağı eşdeğer empedansı, kısa devre akımı ve dokunma gerilimi değerleri görülmektedir. Yük panosu 3 ohm üzerinden topraklandığı için, eşdeğer göz empedans TN sistemlere göre yüksek çıkarken, kısa devre akımı daha düşük çıkmıştır. Dokunma gerilimi ise 223 volt olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.4: TT sistem gövde kaçak akım yolu-1.

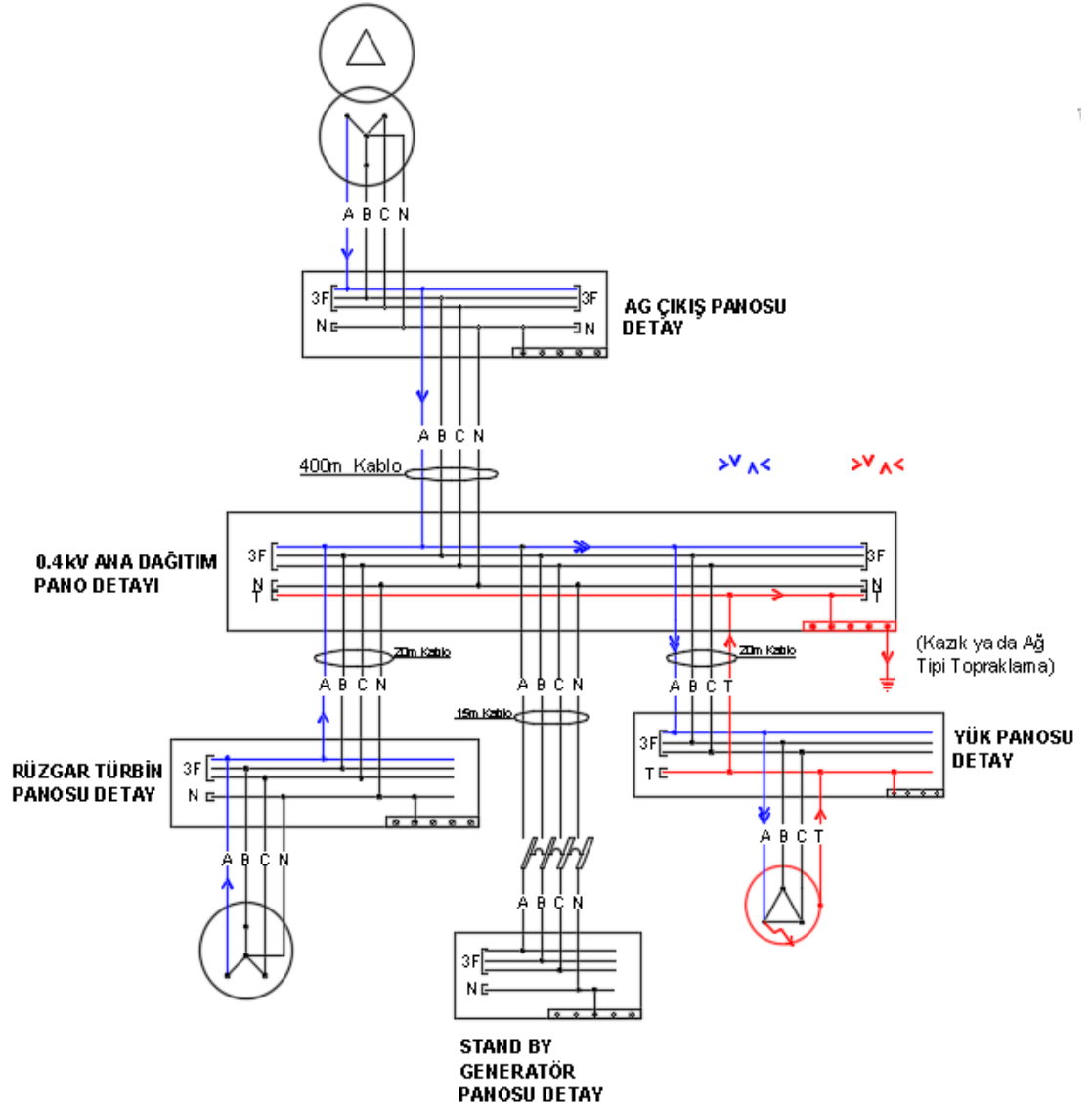


Şekil 6.5: TT sistem gövde kaçak akım yolu-2.

6.2.5 IT sistem

IT sistemde işletme topraklaması olmadığı için arıza akımının kaynağına geri dönmesi söz konusu değildir. Koruma topraklaması, ekipmanların aktif olmayan bütün noktalarının toprak ile bağlantısı kurularak yapılır. Ekipman topraklaması TT şebekede olduğu gibi ayrı ayrı yapılabileceği gibi, ortak tek bir noktadan da yapılabilir. Bu durum oluşabilecek ikinci arıza durumunda sistemin TT ya da TN topraklama şekillerinden birine dönüşmesinde etkilidir.

Şekil 6.6'da mavi ile belirtilen hatlar arızayı besleyen fazları gösterirken, kırmızı ile belirtilen hat gövde kaçığının izlediği yolu göstermektedir. Yükte oluşan bir gövde kaçığı ana dağıtım panosunda yapılan topraklama ile toprağa aktarılır.

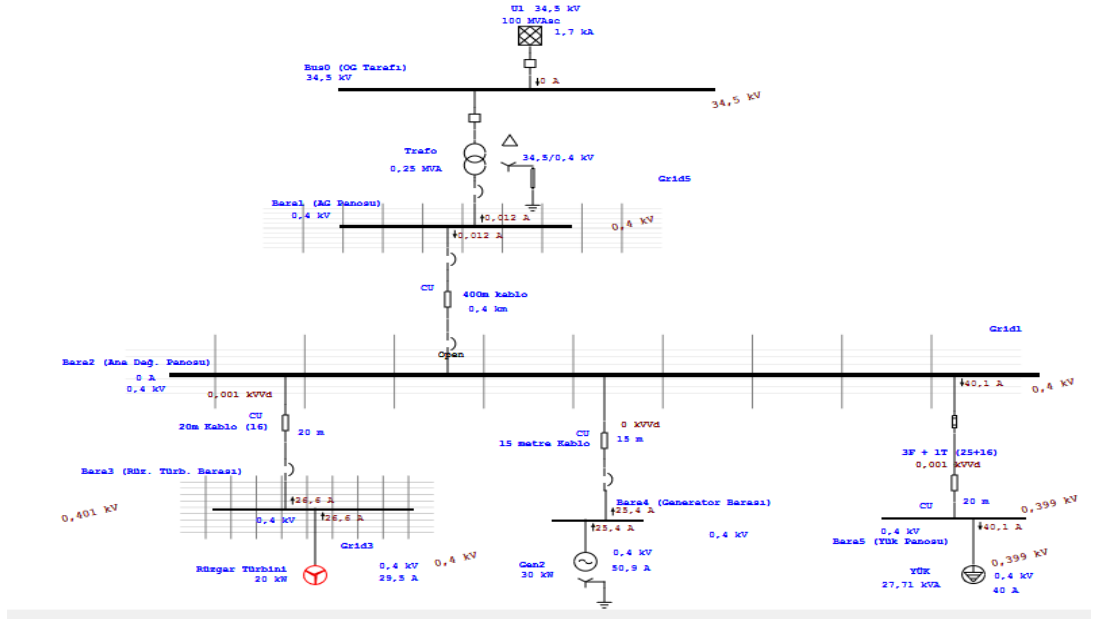


Şekil 6.6: IT sistem gövde kaçak akım yolu.



7. İZOLE ÇALIŞAN AG MİKRO ŞEBEKENİN YÜK AKIŞI ANALİZİ

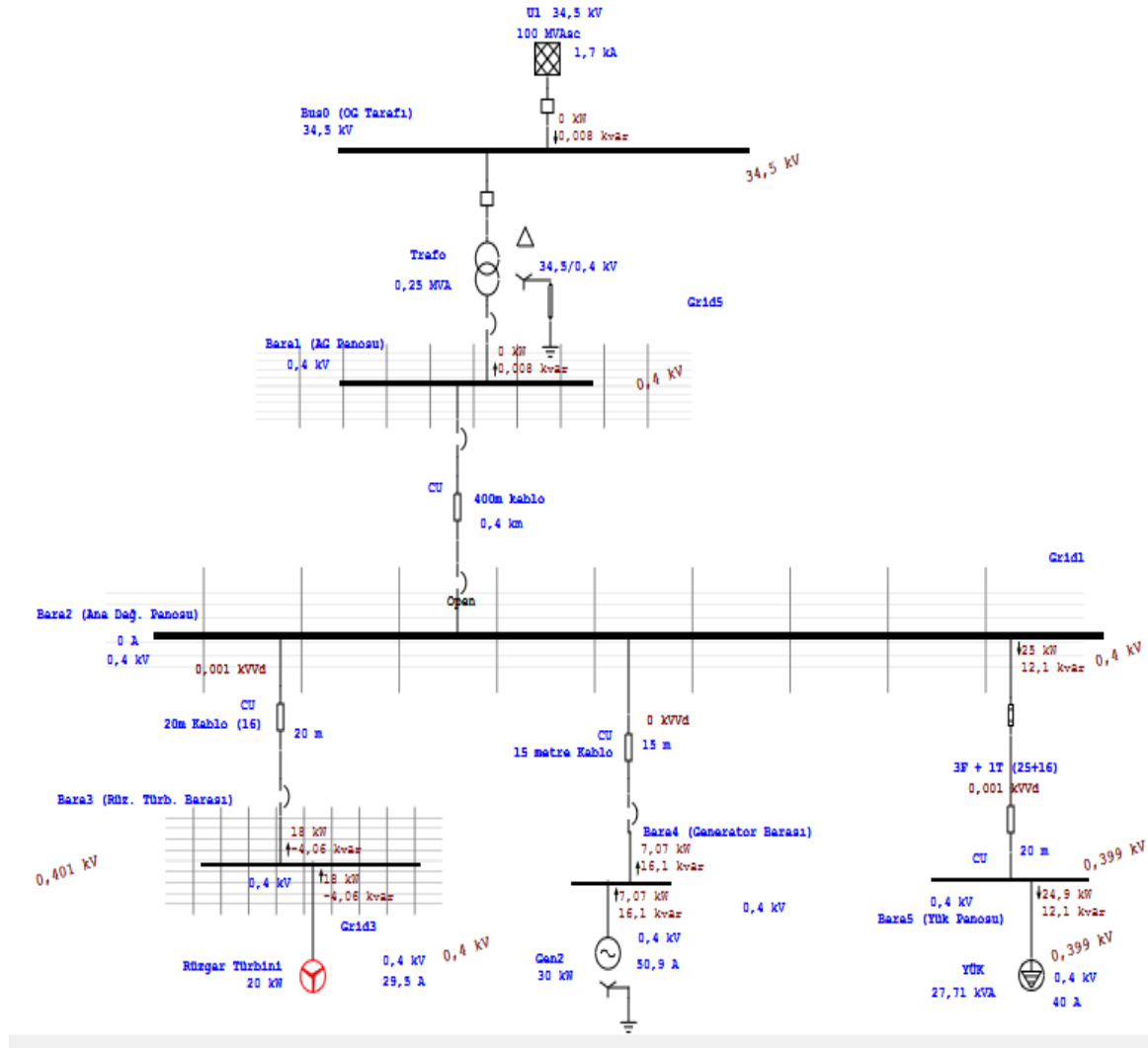
Ana dağıtım panosunda bulunan kesicinin açılması ile alçak gerilim mikro şebekenin, şebeke ile bağlantısı kesilmektedir. Rüzgar türbini ve 30 kW gücündeki generatör ortak çalışarak yükü beslemeye başlar. Ada çalışma koşulu ile şebekede meydana gelen arıza durumlarından ya da dengesizliklerden sistem izole edilmektedir. Generatörün devreye girmesi için şebeke ile bağlantının kesilmesi gerekir. Rüzgar türbinin bu koşulda devrede olması için aranan şart, ihtiyaç duyduğu reaktif enerjinin sağlanmasıdır. Ana dağıtım panosuna bağlı olan 30 kW gücündeki standby generatör ile rüzgar türbine reaktif güç aktarılırken, yüke de ihtiyaç duyduğu aktif güç verilir. Gözden kaçırılmaması gereken bir konu da, şebeke ile bağlantı kesildiği zaman generatörün 8-20 sn aralığında devreye girecek olmasıdır. Sürekli beslenilmesi istenilen yüklerde UPS ya da rüzgar türbininin aralıksız çalışması için kapasite bankalarının kullanılması önerilir. ETAP 'da yapılan yük akışı sonuçları şekil 7.1 ve 7.2'de görülmektedir.



Şekil 7.1: ETAP ada çalışma yük akışı sonuçları- bara akımları.

Şekil 7.1’de yükün ihtiyaç duyduğu 40 amperi çektiği görünmektedir. Kaynaklar yüke yakın olduğu için kablo kesitleri yeterli görülmüş, herhangi bir güncellemeye gidilmemiştir.

Şekil 7.2’de yükün ihtiyaç duyduğu 25Kw’ın 18 Kw’ı rüzgar türbininden sağlanırken, kalan 7 kw generatörden aldığı görülmektedir. Generatör ürettiği 16kvar’ın 12 sini yüke aktarıırken, 4 ünü rüzgar türbinine vermektedir. Uzun iletim hattı kullanılmadığı için mikro şebeke kullanılan bara gerilimlerinde iyileşmeler fark edilmiştir.



Şekil 7.2: ETAP ada çalışma yük akışı sonuçları – bara güçleri.

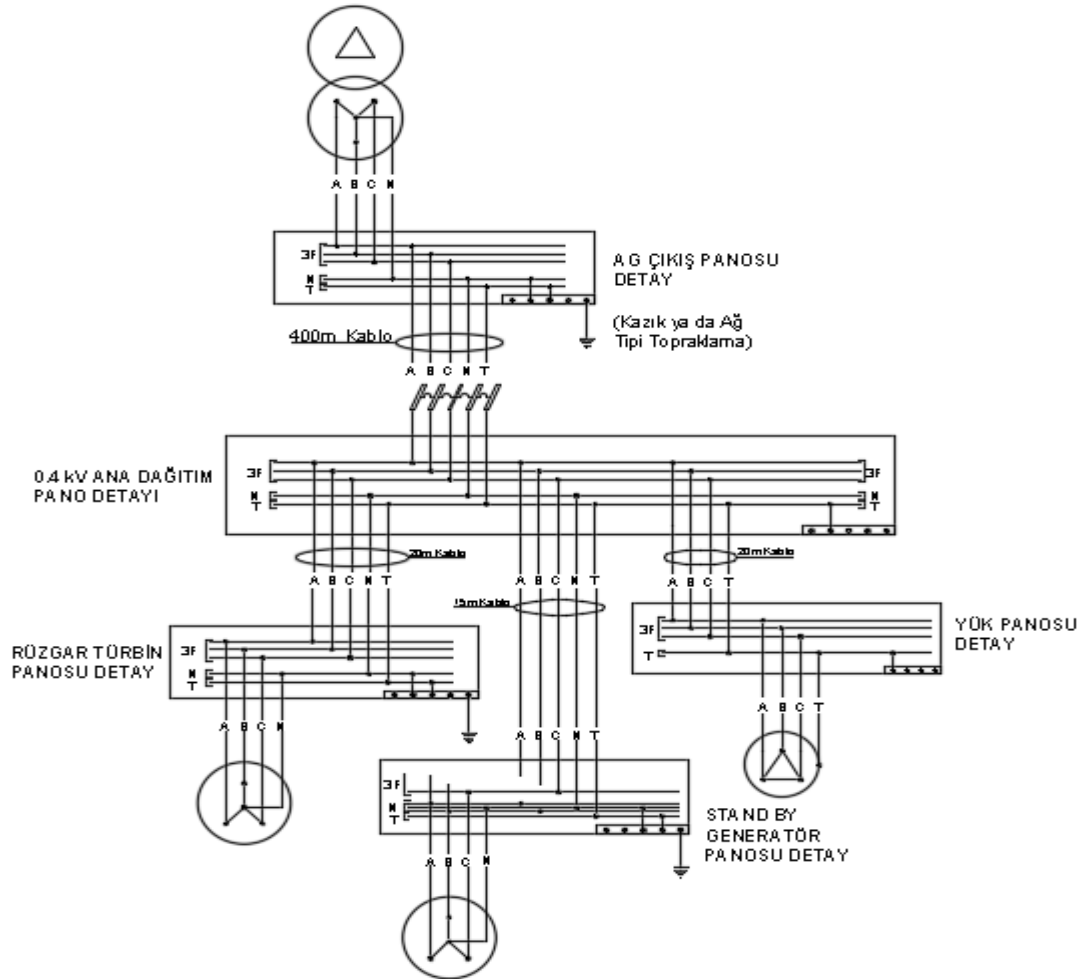
7.1 İzole Çalışan AG Mikro Şebekenin Topraklama Tek Hat Şemalarının Tanıtılması

ETAP programı üzerinden, ada çalışma durumunda olan mikro şebekedeki arıza analizlerine geçilmeden önce, bölüm 5’te olduğu gibi topraklama sistemlerinin tek hat

şemaları hazırlanmıştır. Sistemler işletme ve koruma topraklama tiplerine göre, kablo damar sayıları, pano detayları ve topraklamaların bulunduğu yerler olarak farklılık göstermektedir. Hazırlanan tek hat şemaları ile kısa devre akımlarının izlediği yollar daha rahat görülebilmektedir.

7.1.1 TN-S sistem tek hat şeması

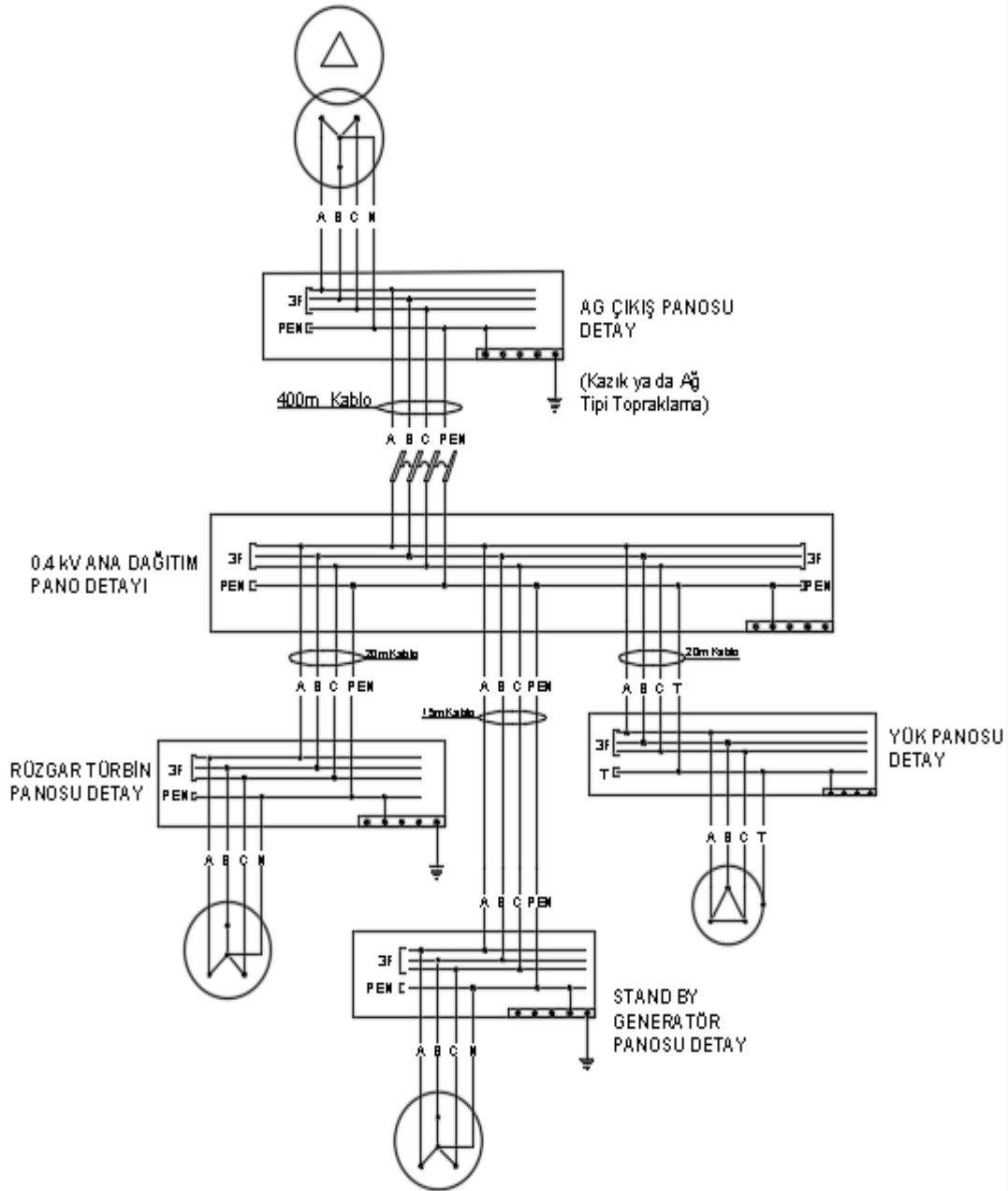
TN-S sistemde işletme topraklaması generatör ve rüzgar türbini panoları üzerinden doğrudan yapılmıştır. TN-S sistemde koruma iletkeni olarak kullanılan PE ve nötr birbirinden ayrılmıştır. Bu yüzden kaynak panolardan üç faz, bir nötr, bir toprak olmak üzere 5 adet kablo ana dağıtım panosuna kadar taşınmıştır. Pano detayları ve topraklama yerleri şekil 7.3’de belirtildiği gibidir.



Şekil 7.3: TN-S sistem tek hat şeması.

7.1.2 TN-C sistem tek hat şeması

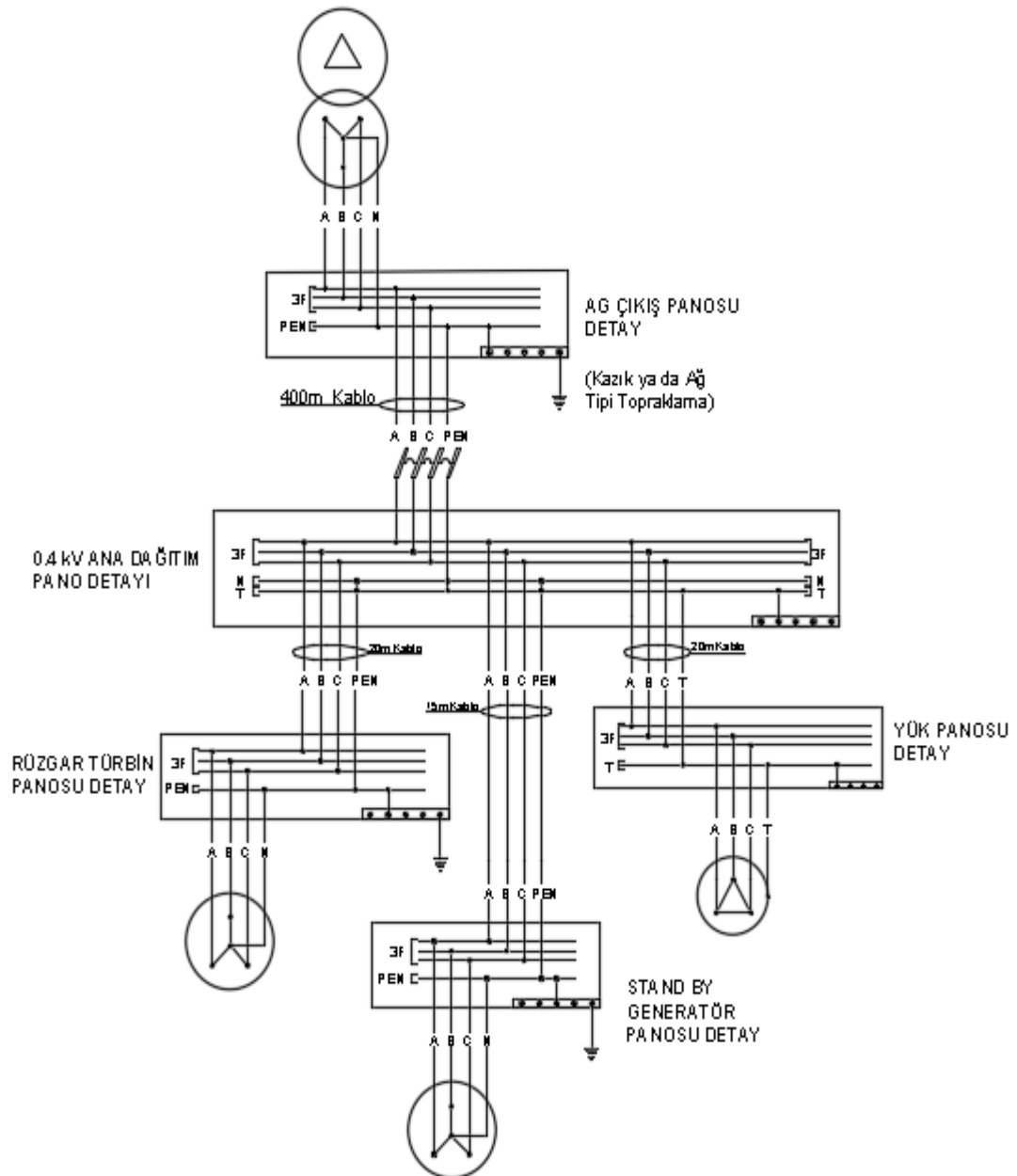
TN-C sistemde işletme topraklaması generatör ve rüzgar panosundaki eş potansiyel bara üzerinden doğrudan yapılmıştır. TN-C sistemde koruma iletkeni olarak kullanılan PE, nötr ile birleştirilerek ortaya PEN iletkeni çıkmıştır. 3 faz ve PEN iletkeni kaynak panolardan alınarak, ana dağıtım panosuna kadar taşınmıştır. Pano detayları ve topraklama yerleri şekil 7.4’de belirtildiği gibidir.



Şekil 7.4: TN-C sistem tek hat şeması.

7.1.3 TN-C-S sistem tek hat şeması

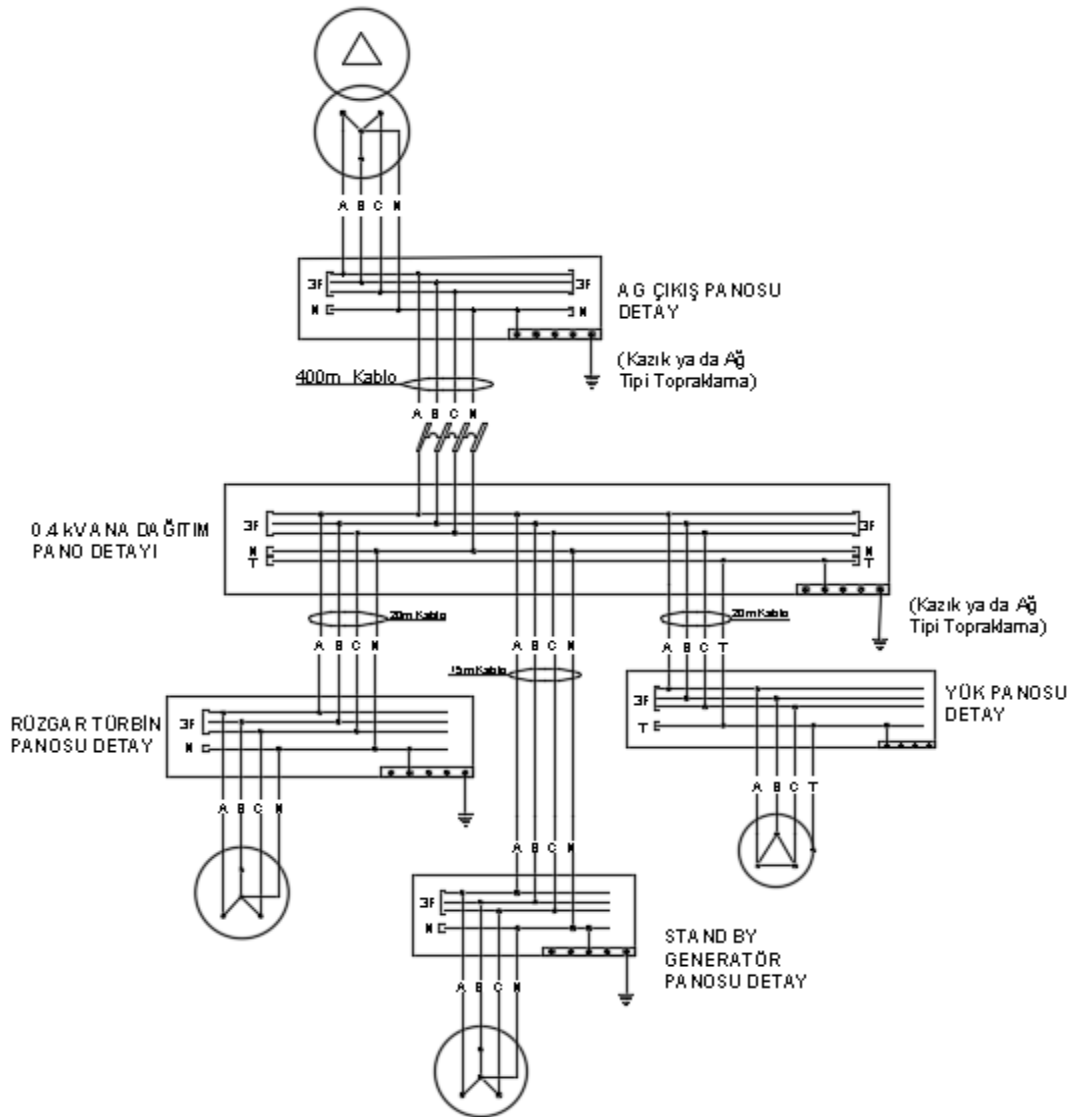
TN-C-S sistemde işletme topraklaması, diğer TN sistemlerde olduğu gibi generatör ve rüzgar panosundaki eş potansiyel baradan doğrudan yapılmıştır. Koruma iletkeni olarak ana dağıtım panosuna kadar PEN iletkeni kullanılmışken, sonraki dağıtımlarda PE ve nötr birbirinden ayrılmıştır. Şekil 7.5’te TN-C-S sisteme ait tek hat şeması görülmektedir.



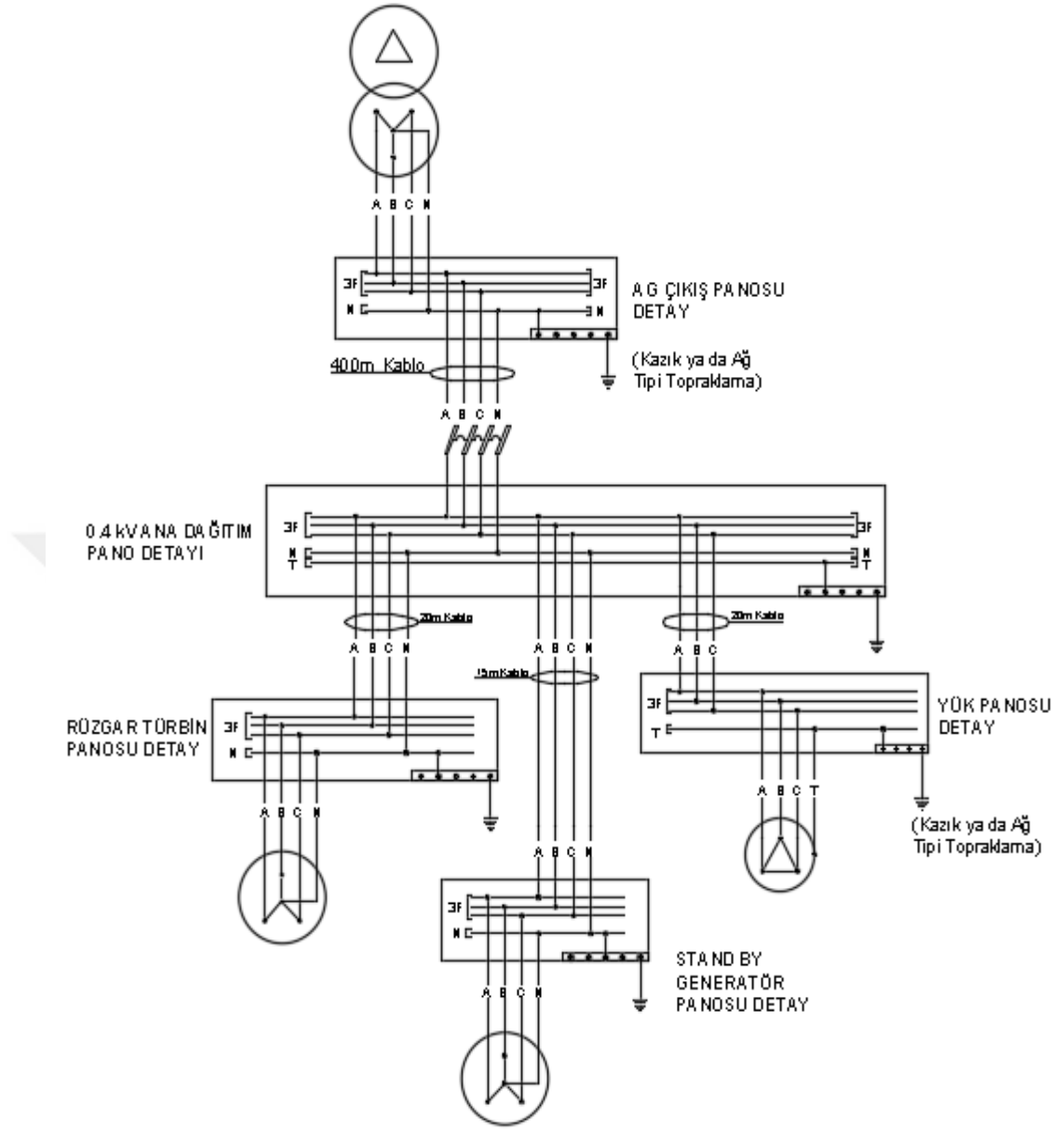
Şekil 7.5: TN-C-S sistem tek hat şeması.

7.1.4 TT sistem tek hat şeması

TT sistemde işletme topraklaması, generatör ve rüzgar panosunda bulunan eş potansiyel baradan yapılmıştır. Koruma topraklamasını kablo ile taşımak yerine, kullanıcıya yakın bir noktadan yapılmıştır. Birden çok ekipman aynı panodan beslenmişse, şekil 7.6' da gösterildiği gibi, toprak iletkenlerini ana dağıtım panosunda bulunan topraklama barasına uzatılmasında fayda vardır. Şekil 7.7'de gösterildiği gibi tek bir ekipman gövdesi topraklanacaksa, cihaz üzerinden doğrudan topraklamaya da gidilebilir.



Şekil 7.6: TT sistem tek hat şeması-1.



Şekil 7.7: TT sistem tek hat şeması-2.

7.1.5 IT sistem tek hat şeması

IT sistemde işletme topraklaması topraktan izole edilmiştir. Enerji dağıtımı, generatör ve rüzgar panosundan 3 faz ve bir nötr kablosu ile yapılmıştır. Koruma topraklaması olarak da ana dağıtım panosuna konulan eş potansiyel dengeleme barası kullanılmıştır. Şekil 7.8’de IT sisteme ait bağlantı şeması görülmektedir.

8. İZOLE ÇALIŞAN AG MİKRO ŞEBEKENİN KISA DEVRE ANALİZLERİ

Topraklama tek hat şemaları ve yük akışı sonuçları verilen mikro şebekenin yük barasında çeşitli arıza durumları simüle edilmiştir. İşletme ve koruma topraklamaları ayrı ayrı incelenmiştir.

8.1 İşletme Topraklaması İncelenmesi

Yapılan simülasyonlar ile yük panosunda;

- 3 Faz
- Faz-Faz
- Faz-Faz -Toprak
- Faz-Toprak arıza akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir. İşletme topraklamasına göre şekillenen bu değerler tabloda belirtildiği gibidir.

Yapılan simülasyonlarda, yük panosunun, %80'i motor, %20'sinin ise motorun konulduğu odadaki aydınlatma ve priz tesisatını beslediği düşünülmüştür. Dengesiz arızalarda yükün topraklama biçiminin de arıza akımlarının oluşmasında etkili olacağı gözden kaçırılmamalıdır.

8.1.1 İşletmesi Doğrudan Topraklı

Ada çalışma ile mikro şebeke kaynağı, generatör ve rüzgar türbini olacak şekilde güncellenmiştir. İşletme topraklaması, topraklama kablosu üzerine herhangi bir direnç yerleştirilmeden yapılmıştır. Doğrudan topraklama simülasyon sonuçlarında toprak altına yapılan ağ tipi ya da kaz ayağı topraklama sistemlerinin dirençleri ihmal edilmiştir.

Çizelge 8.1: Yük panosunda 3 faz arıza kısa devre akımları ve faz gerilimleri.

3 FAZ ARIZA		GENERATÖR PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0

Çizelge 8.1’de, ada çalışma koşulunda yük panosunda yaşanan 3 faz toprak arızası kısa devre akım ve gerilim değerleri görülmektedir. Arıza sonucunda yük panosunda 665 amper kısa devre akımı görülmüş ve gerilimler sıfır volta düşmüştür. Kısa devre akımının, generatör ve rüzgar türbini kısa devre akımları toplamından büyük olma nedeni, yükün %80 motor, %20 statik olarak belirlenmiş olmasıdır. Motor olarak tasarlanan yük, arıza akımına 250 amper katkı yapmaktadır.

Çizelge 8.2: Yük panosunda faz-faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ ARIZA		GENERATÖR PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241

Çizelge 8.2.de yük panosunda meydana gelen faz-faz arıza sonuçları verilmiştir. Yük panosunda 551 amper kısa devre akımı görülmüş ve sağlam fazın gerilimi 241 volta yükselmiştir. Toprak arızası olmadığı için, topraklama sistemlerinin akım ve gerilimlerinde fark yaratmamıştır.

Çizelge 8.3: Yük panosunda faz-faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ-TOPRAK		GENERATÖR PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	413	161	705
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	213	215	218
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	413	161	705
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	213	215	218
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	413	161	705
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	213	215	218
TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	413	161	705	
	SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	213	215	218	
IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551	
	SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	361	362	361	

Çizelge 8.3’de, yük panosunda meydana gelen faz-faz-toprak arızası akım ve gerilim sonuçları görülmektedir. Yük panosunda 705 amper kısa devre akımı ve sağlam fazda 218 volt gerilim görülmüştür. TN ve TT sistemlerin sonuçları aynı çıkarken, IT sistemin sonuçlar, işletme topraklaması olmadığı için farklı çıkmıştır.

Çizelge 8.4: Yük panosunda faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-TOPRAK		GENERATÖR PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	418	131	692
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	228	226	233
	TN-C	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	418	131	692
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	228	226	233
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	418	131	692
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	228	226	233
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	418	131	692
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	228	226	233
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	0	0	0
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	400	400	400

Çizelge 8.4'te, yük panosunda meydana gelen faz-toprak arıza sonuçları görülmektedir. Yük panosunda kısa devre akımı olarak 692 amper, sağlam faz üzerinde de 233 volt gerilim oluşmuştur. Ada çalışma kısa devre akımları, paralel çalışma durumuna göre daha küçük çıkmıştır. Gerilimler de ise nominal çalışma değerlerine göre fazla bir değişim yaşanmamıştır. Arızaların büyük bir kısmı generatörden beslenmiştir.

8.1.2 İşletmesi 3 Ohm Direnç Üzerinden Topraklı

Mikro şebeke kaynağı olan generatör ve rüzgar türbininin işletme topraklaması, topraklama kablosu üzerine 3ohm değerinde bir direnç yerleştirilerek yapılmıştır. Bu 3 ohm'luk direncin, uygulamada toprak altına yapılan ağ tipi ya da kazayağı topraklama sistemi direnci olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 8.5: Yük panosunda 3 faz arıza kısa devre akımları ve faz gerilimleri.

3 FAZ ARIZA		GENERATÖR PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	291	182	664
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	14	17	0

Çizelge 8.5’de, 3 ohm işletme topraklamasına sahip sistemde, yük panosunda meydana gelen 3 faz arıza akım ve gerilim sonuçları görülmektedir. Sonuçlar, kısa devrenin toprak ile ilişkisi olmadığı için çizelge 8.1 de verilen, doğrudan topraklı sistem sonuçları ile örtüşmektedir.

Çizelge 8.6: Yük panosunda faz-faz kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ ARIZA		GENERATÖR PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241
IT SİSTEM		ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	241	241	241

Çizelge 8.6’da görüleceği üzere, faz-faz kısa devre akımı yük panosunda 551 amper, sağlam faz kısa devre gerilimi ise 241 volt olarak ölçülmüştür. Arızanın toprak ile ilişkisi olmadığı için, çizelge 8.2 de verilen doğrudan topraklı sistemdeki faz-faz arıza ile kısa devre akım ve gerilim sonuçları aynı çıkmıştır.

Çizelge 8.7: Yük panosunda faz-faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-FAZ-TOPRAK			GENERATÖR PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	271	143	587
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	354	355	355
	TN-C	ARIZALI FAZLARI KISA DEVRE AKIMI (A)	271	143	587
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	354	355	355
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	271	143	587
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	354	355	355
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	271	143	587
		SAĞLAM FAZKISA DEVRE GERİLİMİ (V)	354	355	355
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZLAR KISA DEVRE AKIMI (A)	266	130	551
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	361	362	361

Çizelge 8.7’de yük panosunda meydana gelen faz-faz-toprak arıza sonuçları görülmektedir. Yük panosunda kısa devre akımı olarak 587 amper, sağlam faz da ise 355 volt gerilim görülmüştür. Bu arıza tipinde topraklama sistemlerindeki farklılık arıza akım ve gerilimlerinde herhangi bir farklılık yaratmamıştır.

Çizelge 8.8: Yük panosunda faz-toprak kısa devre akımları ve sağlam faz gerilimleri.

FAZ-TOPRAK		GENERATÖR PANOSU	RÜZGAR TÜRBİNİ PANOSU	YÜK PANOSU	
TN SİSTEMLER	TN-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	69	43	142
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	403	402	404
	TN-C	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	69	43	142
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	403	402	404
	TN-C-S	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	69	43	142
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	403	402	404
	TT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	69	43	142
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	403	402	404
	IT SİSTEM	ARIZALI FAZ KISA DEVRE AKIMI (A)	-	-	-
		SAĞLAM FAZ KISA DEVRE GERİLİMİ (V)	400	400	400

Çizelge 8.8’de yük panosunda meydana gelen faz-toprak kısa devre sonuçları görülmektedir. 3ohm luk bir topraklama sistemi ile faz-toprak kısa devre akımları, büyük ölçüde düşüş göstermiştir. Generatör üzerinde meydana gelen 69 amper ve rüzgar türbini üzerinde oluşan 43 amperlik kısa devre akımları, aşırı akım koruma cihazları tarafından algılanmayacaktır. Arızayı algılayabilmek için fazlar üzerindeki gerilim değerlerinin izlenmesi gerekmektedir.

8.2 Koruma Topraklaması İncelemesi

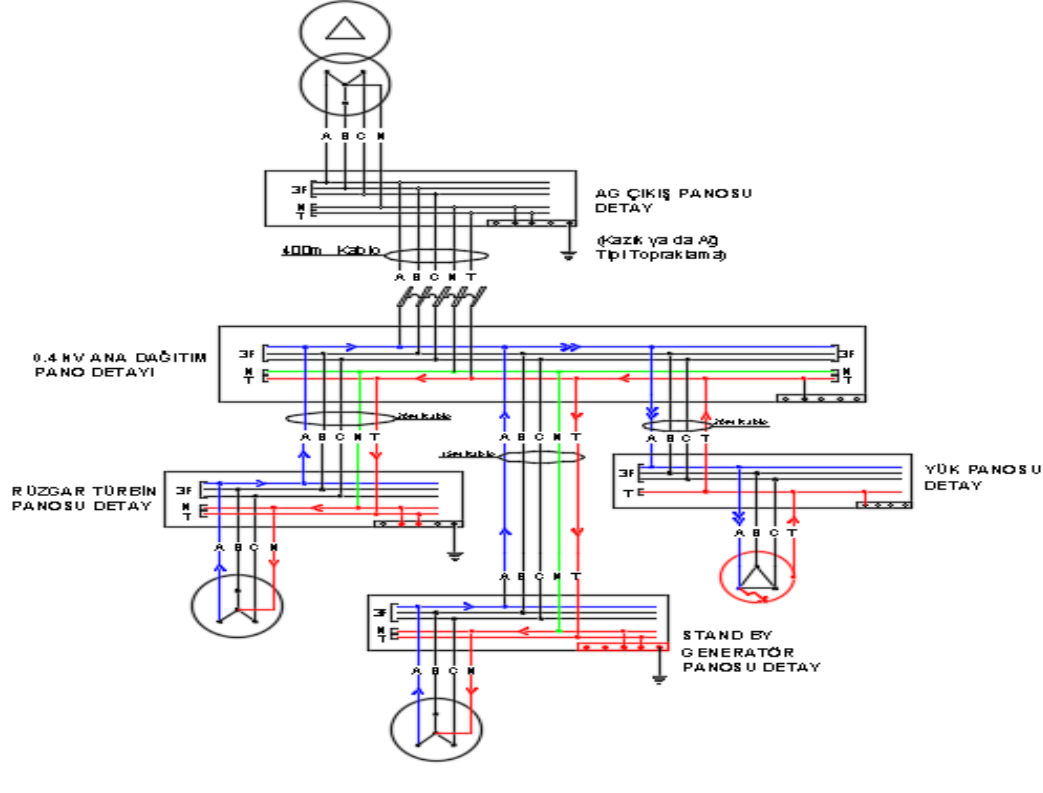
Koruma topraklaması sonuçlarının incelenmesi için, bölüm dördte olduğu gibi gövdeye olan bir kaçak durumu incelenmiştir. Cihaz içinde ya da yük panosunda gövde kaçağı olması ile sıfır potansiyelde olması gereken ve canlıların doğrudan temas edebileceği

cihaz gövdeleri, gerilim altında kalmaktadır. Gövde kaçakları kaynağına dönmek için koruma iletkenlerini kullanmak isteyecektir. Kaçak yolunun doğru olarak öngörülmesi, koruma cihazlarının doğru seçimi ve koruma iletkenlerinin doğru kesitlerde seçilmesi ile arıza canlilar üzerinde tehlike yaratabilecek gerilim seviyelerine çıkmadan ortadan kaldırılabilir.

8.2.1 TN-S sistem:

TN-S sistemde gövdeye olan kaçak, sistem boyunca koruma iletkeni üzerinden kaynağa kadar taşınır. TN sistemlerde topraklama sistemin ana unsuru olmadığı için topraklama direncinin büyüklüğü ile ilgilenilmez. Şebekeden ve rüzgar türbininden beslenen yük, kaçak akımını koruma iletkeni ile ilgili kaynağa kadar iletir. Alçak gerilim panosu ve rüzgar türbini panosunda bulunan jumperlar aracılığı ile kaynağın nötr noktasına bağlantısı gerçekleşir.

Şekil 8.1’de mavi renk ile belirtilen hatlar faz kablolarını göstermektedir. Yük gövdesinde yaşanan kaçak akımı kırmızı renkli hat ile gösterilmiştir. Yeşil renkli hat ise dolaylı olarak gerilim altında kalan fakat akım akmayan bölümleri göstermektedir.



Şekil 8.1: TN-S sistem gövde kaçak akım yolu.

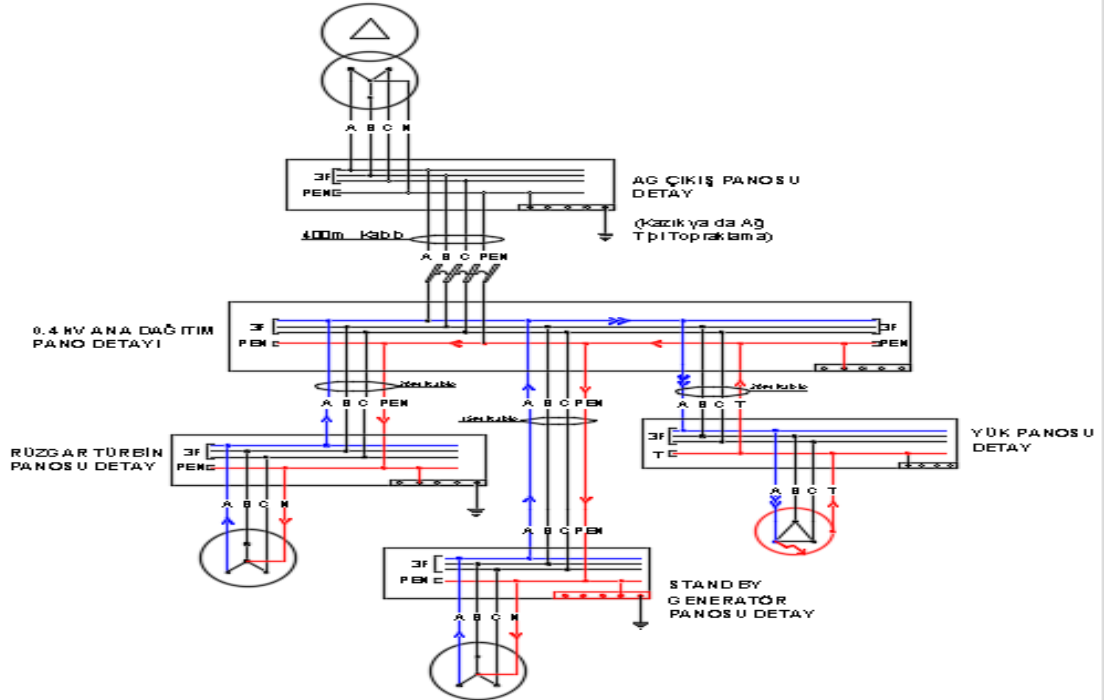
Çizelge 8.9: TN-S sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.

	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TN-S	230	0,643	359	15

Çizelge 8.9’da TN-S sistemde, yükte meydana gelen gövde kaçağı kısa devre akımı, eşdeğer göz empedansı ve dokunma gerilimi değerleri görülmektedir. Ada çalışma durumunda kullanılan kablo kesitleri küçüldüğü için paralel çalışma durumuna göre eşdeğer göz empedansında bir artış meydana gelmiştir. Yük panosunda kısa devre akımı olarak 643A ve dokunma gerilimi olarak da 15V hesaplanmıştır.

8.2.2 TN-C sistem

TN-C sistemde gövdeye olan kaçak, sistem boyunca PEN iletkeni ile kaynağa kadar iletilir. Paralel çalışma durumunda şebeke ve rüzgar türbininden beslenen yük, kaçak akımını ilgili kaynağa kadar taşır. Şekil 8.2’de gösterildiği gibi mavi renk ile arıza akımını besleyen fazlar, kırmızı ile arızanın kaynağa taşınmasında etkili olan PEN iletkeni görülmektedir.



Şekil 8.2: TN-C sistem gövde kaçak akım yolu.

Çizelge 8.11: TN-C-S sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.

	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TN-C-S	230	0,643	359	15

Çizelge 8.11’de TN-C-S sistemde, yükte meydana gelen gövde kaçağı kısa devre akımı, eşdeğer göz empedansı ve dokunma gerilimi değerleri görülmektedir. TN-C-S sistemin yük panosu üzerindeki dokunma 15V olarak hesaplanmıştır.

8.2.4 TT sistem

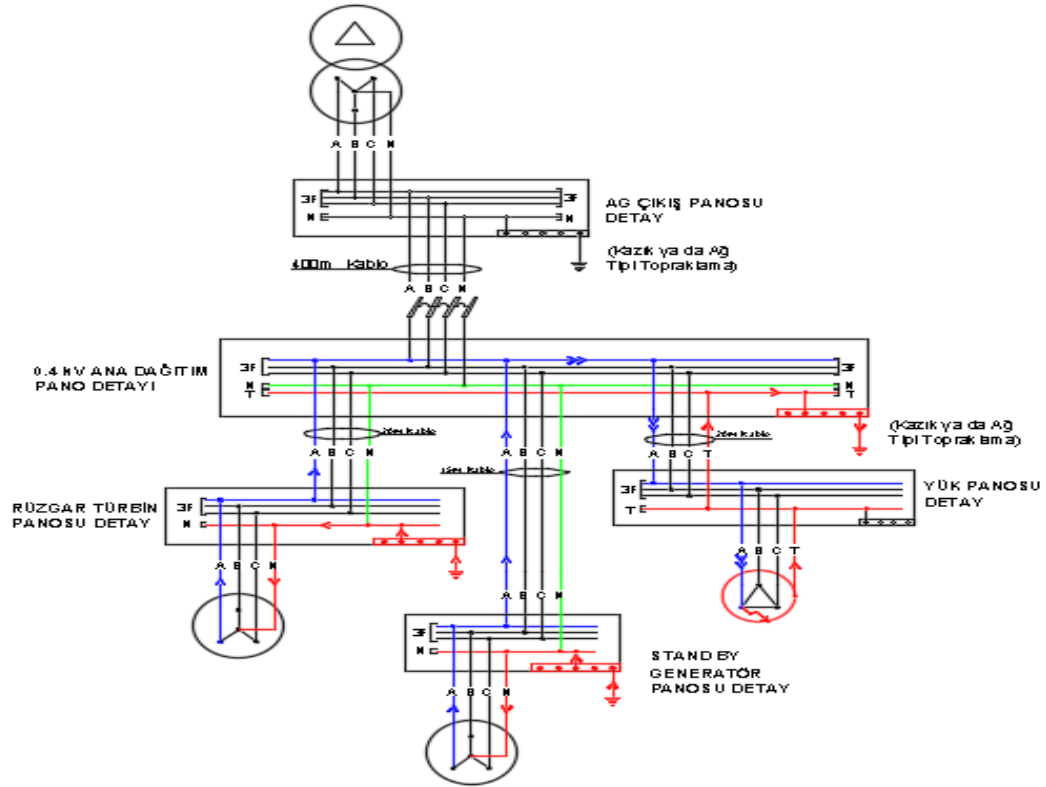
TT sistemde kaynaklardan 3 faz bir nötr kablosu ana dağıtım panosuna taşınmaktadır. Koruma topraklaması ise ana dağıtım panosunda bulunan eş potansiyel bana üzerinden yapılan toprak bağlantısı ile elde edilmiştir. TT şebekede gövde kaçağı devresini toprak üzerinden tamamlayacağı için topraklama dirençleri önemli rol oynamaktadır. Gövde kaçağı koruma iletkeni kullanılarak ana dağıtım panosunda bulunan eş potansiyel baraya gelir. Arıza akımı buradan toprağa aktarılarak, alçak gerilim dağıtım panosu ve rüzgar türbini panosu ulaşır ve kaynakları nötr noktalarında devresini tamamlar.

Şekil 8.4 ve 8.5 ‘de TT şebeke için kullanılabilecek iki ayrı bağlantı şeması gösterilmektedir. Mavi renk ile arıza akımını besleyen fazlar gösterilmişken, kırmızı renk ile arıza akımının giderilmesinde rol alan toprak iletkenleri ve topraklama sistemleri görülmektedir.

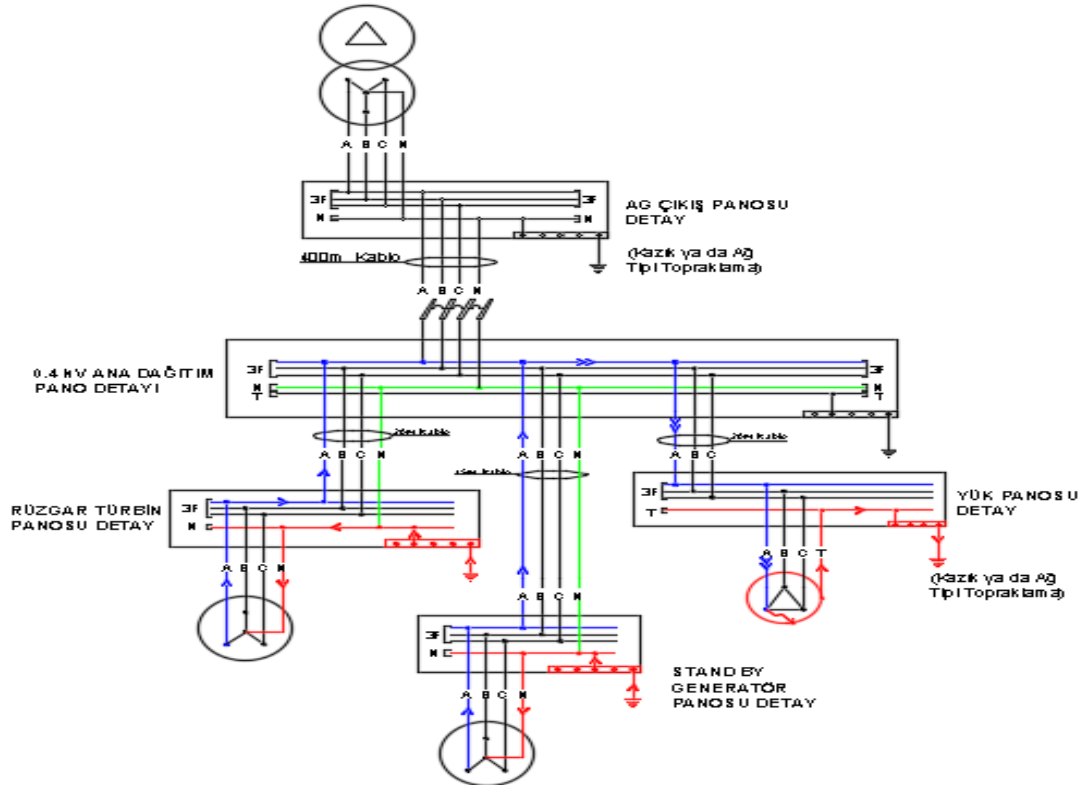
Çizelge 8.12: TT sistem gövde kaçağı kısa devre sonuçları.

	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TT	230	3,153	73	220

Çizelge 8.12 de TT sistemde, yükte meydana gelen gövde kaçağı kısa devre akımı, eş değer göz empedansı ve dokunma gerilimi değerleri görülmektedir. TT sistemde cihaz üzerinden yapılan 3 ohmluk topraklama nedeniyle, eşdeğer empedans TN sistemlere göre daha büyük çıkmıştır. 77 amper kısa devre akımı, yük üzerinde 220 voltluk dokunma gerilimi meydana getirmiştir.



Şekil 8.4: TT sistem gövde kaçak akım yolu-1.

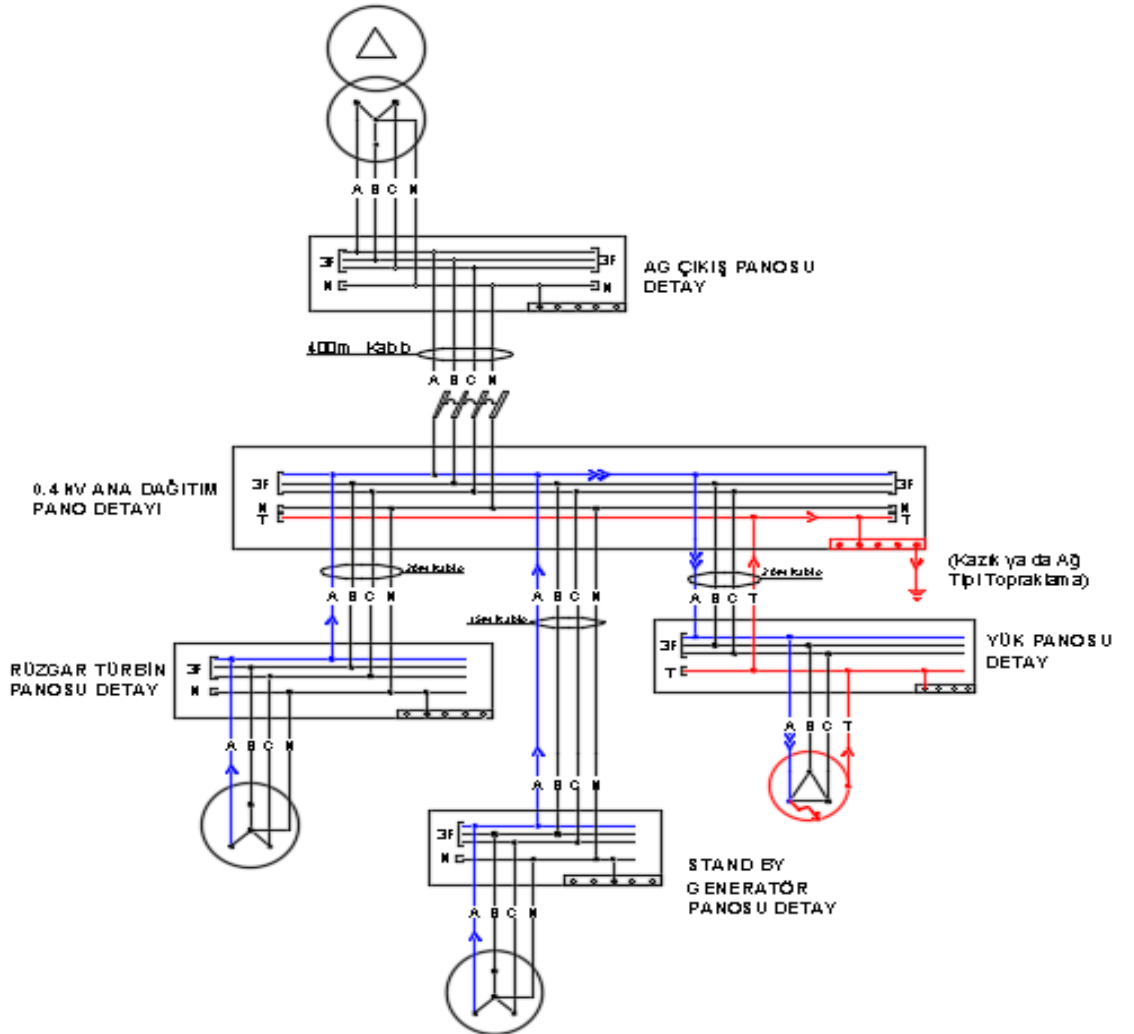


Şekil 8.5: TT sistem gövde kaçak akım yolu-2.

8.2.5 IT sistem

IT sistemde işletme topraklaması olmadığı için arıza akımının kaynağına geri dönmesi söz konusu değildir. Koruma topraklaması, ekipmanların aktif olmayan bütün noktalarının toprak ile bağlantısı kurularak yapılır. Ekipman topraklamalı TT şebekede olduğu gibi ayrı ayrı yapılabileceği gibi, ortak tek bir noktadan da yapılabilir. Bu durum oluşabilecek ikinci arıza durumunda sistemin TT ya da TN topraklama şekillerinden birine dönüşmesinde etkilidir.

Şekil 8.6’da mavi ile belirtilen hatlar arızayı besleyen fazları gösterirken, kırmızı ile belirtilen hat gövde kaçığının izlediği yolu göstermektedir. Yükte oluşan bir gövde kaçığı ana dağıtım panosunda yapılan topraklama ile toprağa aktarılır.

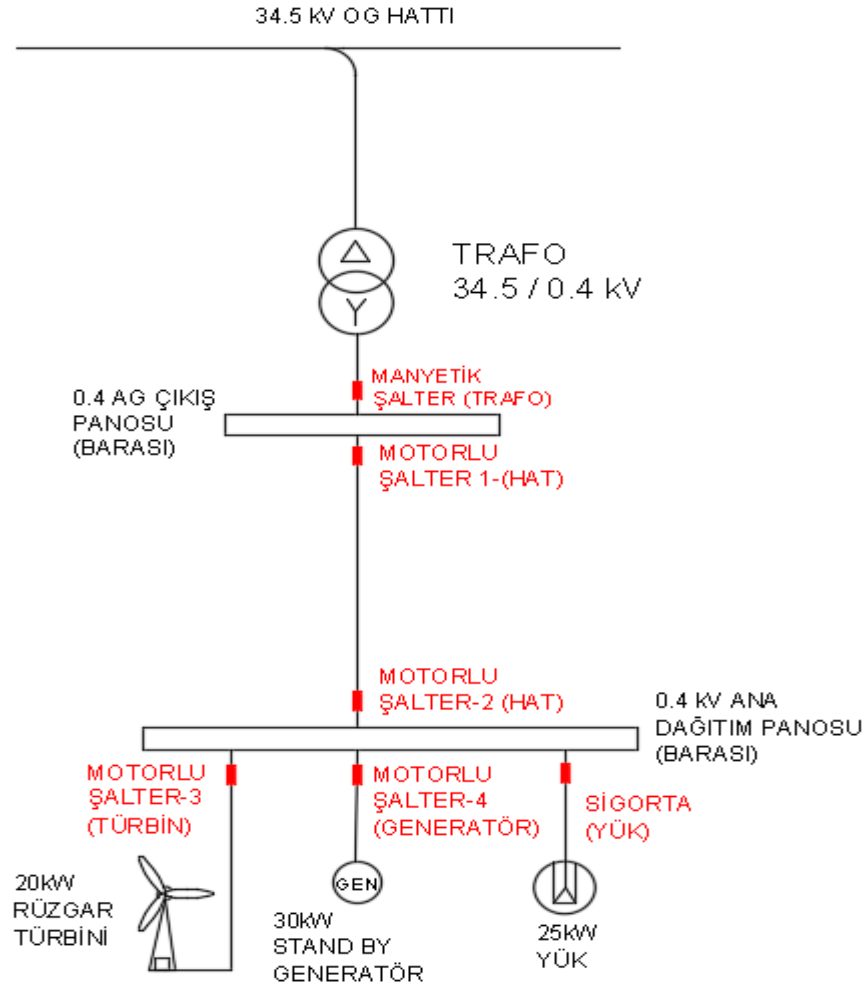


Şekil 8.6: IT sistem gövde kaçak akım yolu.



9. AG MİKRO ŞEBEKELERE KORUMA SİSTEMİ TASARIMI ve KOORDİNASYONU

Paralel ve izole çalışma koşulları göstermiştir ki, mikro şebekelerin çeşitli noktalarında kısa devreler meydana gelmektedir. Bu kısa devreler içinde en çok görüleni, yük barasında (panosunda) gerçekleşen tek faz toprak kısa devresidir. Simülasyon sonuçlarında analiz edilen kısa devreler incelendiğine, şekil 9.1’de belirtilen yerlere çeşitli koruma cihazları yerleşimi yapılmalıdır.



Şekil 9.1: Mikro şebeke modeli ve koruma cihazlarının yerleştirilmesi.

Manyetik şalter trafo AG panosunun hemen girişine yerleştirilmiştir. Trafo içinde yaşanan herhangi bir arızada ilk olarak bu şalterin açması beklenmektedir. Pano çıkışına 400 metrelik hattı koruma amacıyla hem hattın başına hem hattın sonuna motorlu şalter-1 ve motorlu şalter-2 yerleştirilmiştir. Şalterin motorlu seçilme nedeni, açık hale gelen şalterin tekrar kapalı hale getirilmesini sağlamaktır. Ayrıca hat üzerinde yaşanan bir arıza durumunda, hattın enerjisinin kesilmesi için motorlu şalter-1'in açması sağlanmalıdır. Buna ek olarak, motorlu şalter-2 ye yerleştirilen bir multi-metre ile akım ve gerilim değerleri sürekli izlenmeli, şebekeden gelen enerji kesildiği anda, motorlu şalter-2'nin açması sağlanmalı ve mikro şebekenin ada çalışma koşulu başlamalıdır.

Motorlu şalter-3 ile rüzgar türbini aşırı akımlara karşı korunmaktadır. Motorlu şalter-4 mikro şebeke paralel çalışma durumunda iken açık olmalı, motorlu şalter-2 açıldığı anda devreye girecek şekilde senkron edilmelidir. Motorlu şalter 4'ün devreye girmesi için dağıtım panosu üzerine, şalter motorunu harekete geçirmesi için batarya yerleştirilmesi uygundur. Yüke yerleştirilen sigorta 1 ile yük, aşırı akımlara karşı korunmaktadır.

Alçak gerilim mikro şebeke üzerinde yerleri belirlenen aşırı akım koruma elemanlarının seçim işlemleri, yapılan simülasyon sonuçları dikkate alınarak yapılmalıdır. Çizelge 9.1'de trafo, generatör, rüzgar türbini ve yükün ETAP yük akışı sonucu elde edilen akım değerleri görülmektedir. Paralel çalışmada trafodan 26 amper çekilirken, rüzgar türbininden 27 amper çekilmektedir. Ada çalışmada generatör devreye girmekte ve mikro şebekeye 26 amper akım göndermektedir. Yük her iki durumda da 40 amper çekmektedir.

Çizelge 9.1: Mikro şebeke elemanları çalışma akım değerleri.

	ÇALIŞMA AKIM (A) DEĞERLERİ	
	PARALEL ÇALIŞMA	ADA ÇALIŞMA
TRAFO	26	-
RÜZGAR TÜRBİNİ	27	27
GENERATÖR	-	26
YÜK	40	40

Bitirme tezinin 6. bölümünde elde edilen kısa devre simülasyon sonuçları çizelge 9.2 ve 9.3 de toplu halde verilmiştir. Nominal akımlar ve kısa devre akım değerleri göz önüne alınarak koruma cihazlarının ayar değerleri seçilmelidir.

Çizelge 9.2: Doğrudan topraklı sistem kısa devre akımları.

DOĞRUDAN TOPRAKLI SİSTEM				
PARALEL ÇALIŞMA KISA DEVRE AKIMLARI				
YÜK PANOSU				
	3 FAZ	FAZ-FAZ	FAZ-FAZ-TOPRAK	FAZ-TOPRAK
TRAFO	1708	1487	1576	1057
RÜZGAR TÜRBÜNİ	165	120	135	108
GENERATÖR	-	-	-	-
YÜK	1992	1697	1802	1189
TRAFO AG PANOSU				
	3 FAZ	FAZ-FAZ	FAZ-FAZ-TOPRAK	FAZ-TOPRAK
TRAFO	9618	8600	9928	9880
RÜZGAR TÜRBÜNİ	165	121	145	120
GENERATÖR	-	-	-	-
YÜK	180	160	160	120
ADA ÇALIŞMA KISA DEVRE AKIMLARI				
YÜK PANOSU				
	3 FAZ	FAZ-FAZ	FAZ-FAZ-TOPRAK	FAZ-TOPRAK
TRAFO	-	-	-	-
RÜZGAR TÜRBİNİ	182	130	161	131
GENERATÖR	291	266	413	418
YÜK	664	551	705	692

Çizelge 9.2’de doğrudan topraklı sisteme ait kısa devre akımları görülmektedir. Paralel ve ada çalışma durumlarında, yük panosu ve trafo alçak gerilim panosunda 4 farklı arıza çeşidi analiz edilmiş ve tabloda verilen kısa devre akımları elde edilmiştir. Doğrudan topraklı sistemlerde, trafo alçak gerilim panosunda meydana gelen kısa

devre akımları yük panosunda meydana gelen kısa devre akımlarından çok daha büyük olmuştur.

Çizelge 9.3: 3 ohm üzerinden topraklı sistem kısa devre akımları.

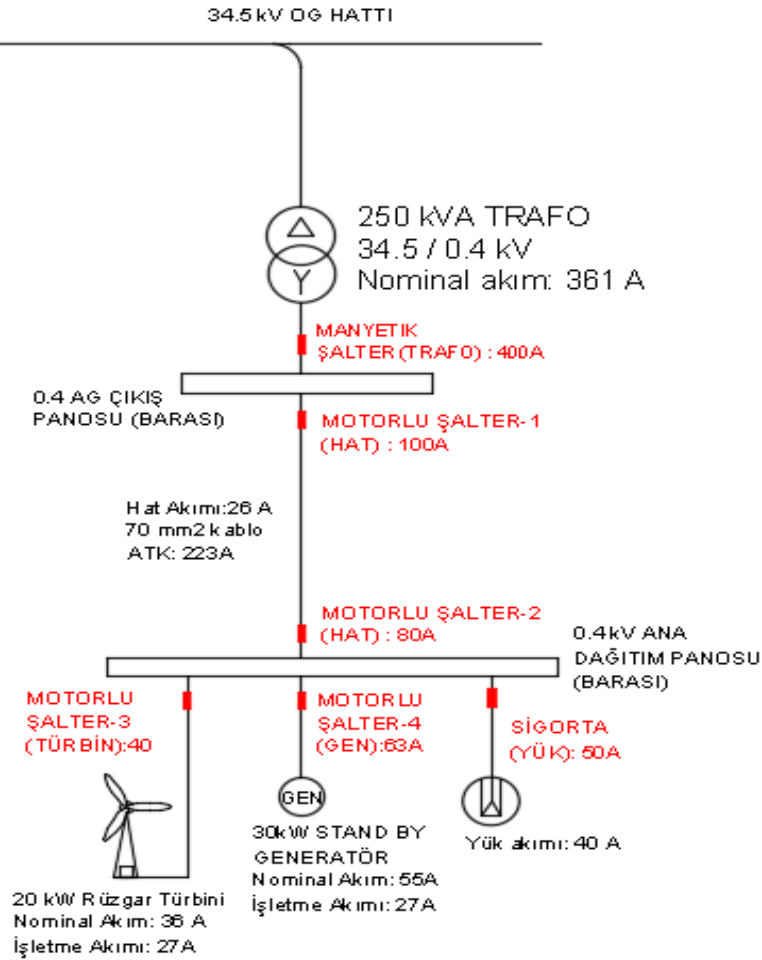
3 OHM ÜZERİNDEN TOPRAKLI SİSTEM				
PARALEL ÇALIŞMA KISA DEVRE AKIMLARI				
YÜK PANOSU				
	3 FAZ	FAZ-FAZ	FAZ-FAZ-TOPRAK	FAZ-TOPRAK
TRAFO	1708	1487	1495	108
RÜZGAR TÜRBÜNİ	165	120	131	29
GENERATÖR	-	-	-	-
YÜK	1992	1697	1711	143
TRAFO AG PANOSU				
	3 FAZ	FAZ-FAZ	FAZ-FAZ-TOPRAK	FAZ-TOPRAK
TRAFO	9618	8600	8629	150
RÜZGAR TÜRBÜNİ	165	121	131	25
GENERATÖR	-	-	-	-
YÜK	180	160	158	2
ADA ÇALIŞMA KISA DEVRE AKIMLARI				
YÜK PANOSU				
	3 FAZ	FAZ-FAZ	FAZ-FAZ-TOPRAK	FAZ-TOPRAK
TRAFO	-	-	-	-
RÜZGAR TÜRBİNİ	182	130	143	43
GENERATÖR	291	266	271	69
YÜK	664	551	587	142

Çizelge 9.3’de 3 ohm üzerinden topraklanmış sisteme ait kısa devre akımları görülmektedir. Toprakla ilişkisi olmayan arıza türleri olan 3 faz ve faz-faz arızalarında sistemin kaç ohm üzerinden topraklandığının önemi olmadığı görülmektedir. Faz-toprak kısa devre akımları, kaynaklara yerleştirilen 3 ohm direnç ile büyük ölçüde küçültülmüştür.

Şekil 9.2 de paralel ve ada çalışma koşullarında kısa devre analizleri yapılan alçak gerilim mikro şebekenin, aşırı akımlara karşı koruma elemanları seçimi görülmektedir.

Yük akımı 40 amper olduğu için 50 amperlik sigorta yükü korumak için uygun görülmüştür. Nominal akımı 36 amper olan rüzgar türbini 40 amperlik motorlu şalterle korunurken, nominal akımı 55 amper olan generatör 63 amperlik motorlu şalter ile korunmuştur.

400 metrelik hattı korumak ve yük kısmına yedek koruma oluşturmak için 100 amperlik motorlu şalter hattın başına, 80 amperlik motorlu şalter de hattın sonuna yerleştirilmiştir. 361 amper nominal akıma sahip trafo çıkışına ise 400 amperlik manyetik şalter konulmuştur.



Şekil 9.2: Mikro şebeke modeli ve koruma cihazları akım değerleri.

Doğrudan topraklı sistemlerin kısa devre sonuçları incelendiğinde, açma değerleri seçilen ve yerleşimleri yapılan koruma elemanlarının gerekli korumayı sağladığı görülmektedir.

3 ohm üzerinden topraklı sistemlerde, çizelge 9.3’de yer alan paralel çalışma simülasyon sonuçları incelendiğinde, faz-toprak arızalarının, aşırı akım koruma

cihazları ile algılanamadığı görülmektedir. Yük panosunda meydana gelen faz toprak arızası sonucu rüzgar türbinindeki 29 amper kısa devre akımı, 32 amperlik şalteri açmayacaktır. Benzer şekilde trafo ag panosunda meydana gelen kısa devre sonucu yükü koruyan 50 amper ve rüzgar türbinini koruyan 32 amperlik şalterler istenilen kesme işlemini yapmayacaktır. Bu gibi durumların ortadan kaldırılması için gerilimler dikkate alınarak bir koruma oluşturulması gerekmektedir.

3 ohm üzerinden topraklı sistemlerde, çizelge 9.3’de yer alan ada çalışma simülasyon sonuçları incelendiğinde, kısa devre akımlarının çalışma koşullarındaki akımlara çok yakın olduğu görülmektedir. Çizelge 8.8 incelendiğinde sağlam fazlardaki gerilimlerin faz-faz değerlerine (400V) yükseldiği görülmektedir. Ada çalışma koşullarında da, paralel çalışma koşullarındaki gibi gerilim değerlerini inceleyen bir koruma sisteminin, alçak gerilim mikro şebekeler için kullanılması gerekmektedir.

Çizelge 9.4: Paralel çalışma gövde kaçağı kısa devre sonuçları.

PARALEL ÇALIŞMA				
	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TN-S	230	0,176	1313	77
TN-C	230	0,163	1421	64
TN-C-S	230	0,176	1313	77
TT	230	3,107	74	223

Çizelge 9.4’te, paralel çalışma durumunda, gövde kaçağı sonucu oluşan kısa devre sonuçları görülmektedir. TT sistemde pano topraklamasında kullanılan 3 ohm koruma topraklaması direnci nedeniyle, kısa devre akımları TN sistemlere göre daha düşük çıkmıştır. 3 ohm’dan daha yüksek bir koruma topraklaması direncinin kullanılması, kısa devre akımının, aşırı akım koruma cihazları ile algılanmamasına neden olabilecektir. Paralel çalışma sırasında, TN ve TT sistemde dokunma gerilimi olarak ortaya çıkan değerler, temas geriliminde sınır kabul edilen 50V’tan yüksek olduğu için canlılar için tehlike arz etmektedir.

Çizelge 9.5: Ada çalışma gövde kaçağı kısa devre sonuçları.

ADA ÇALIŞMA				
	Faz-Nötr Gerilimi	Eşdeğer Göz Empedansı (ohm)	Kısa Devre Akımı (A)	Dokunma Gerilimi (V)
TN-S	230	0,643	359	15
TN-C	230	0,642	360	14
TN-C-S	230	0,643	359	15
TT	230	3,153	73	220

Çizelge 9.5 ‘te ada çalışma durumunda, gövde kaçağı sonucu oluşan kısa devre sonuçları görülmektedir. TT sistemde TN sistemlere göre daha düşük bir kısa devre akımı oluşmuşken, daha yüksek dokunma gerilimi ortaya çıkmıştır. TN sistemlerde oluşan 14-15 volt düzeyindeki dokunma gerilimleri sınır kabul edilen 50V’tan düşük olduğu için tehlike arz etmemektedir. Arızalı faz üzerinden akan kısa devre akım değerleri, yük üzerinde bulunan 50 amperlik sigortayı açacağı için arıza anında oluşacak gerilimlerinden canlılar korunacaktır.



10. SONUÇLAR ve GELECEK ÇALIŞMALAR

Mikro şebekeler yapıları gereği, farklı karakteristiklere sahip çok sayıda elektrik enerji sistemi elemanı bulundurulur. Sistemin doğru şekilde çalıştığından emin olmak için, elemanlara ait parametrelerden ve bu elemanların işleyiş şekilleri hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bu bitirme tezinde şebeke, trafo, kablo, yük, rüzgar türbini ve generatör içeren bir alçak gerilim mikro şebeke üzerinde modelleme ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Referans alınan kaynaktan yola çıkarak, özgün bir alçak gerilim mikro şebeke tasarlanmış, öncelikli olarak paralel ve ada çalışma koşulları altında çeşitli yük akışı sonuçları alınmıştır. Farklı yerlerde meydana getirilen arızalara ilişkin akım ve gerilim analizleri yapılmıştır. Daha sonra, arıza analizi çalışmalarından hareketle alçak gerilim mikro şebekesi için topraklama (işletme) ve buna bağlı olarak koruma sistemi tasarımı yapılmıştır.

Literatür çalışmalarında sıklıkla karşılaşılan doğrudan topraklama teriminin, uygulamada pek de mümkün olmadığı görülmüştür. Trafoların yıldız noktalarına yapılan ağ ya da kazayağı topraklama sistemleri ile 1-5 ohm arasında çeşitli topraklama direnç değerleri ile karşılaşılmaktadır. Dengesiz arıza durumlarına karşı koruma önlemleri alınması için, sistemin işletme topraklama değeri hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

Toprak arıza çalışmaları, toprak teması olan kısa devre akımlarının devrelerini işletme topraklaması üzerinden tamamladığını göstermiştir. Ayrıca, kaynaklara ait işletme topraklaması direnç değerleri, kısa devre akım ve gerilim büyüklükleri konusunda doğrudan etkilidir. TN ve TT sistemleri aynı tip toprak arızalarında benzer sonuçları verdiği görülmüştür. İşletme topraklamasının düşük dirençli olduğu sistemlerde (3ohm) kısa devre akımlarının düşük olması nedeniyle, akıma dayalı koruma cihazları bu tip arızaları çok geç algılamaktadır ya da çoğu kez algılayamamaktadır. IT sistemlerde arıza akımı devresini tamamlayamadığı için aynı durum burada da geçerlidir. Ancak böyle durumlarda arıza olmayan fazlarda gerilim yükselmesi olduğundan, bu arızaların algılanması için yüksek gerilim röleleri kullanılabilir.

Canlı hayatını riske sokan gövde kaçağı durumlarında ise, TN sistemlerde kısa devre akımı devresini tamamlaması için PE ya da PEN adı verilen toprak iletkenini, TT sistemde ise yük üzerinde bulunan koruma topraklamasını kullanmaktadır. Ayrıca işletme topraklamasının TN sistemlerin ana unsuru olmadığı görülürken, TT sistemlerin koruma topraklamaları ile birlikte topraklamanın ana unsuru olduğu belirlenmiştir. Paralel çalışma sonuçları göstermiştir ki TN sistemlerde karşılaşılan düşük empedas değerleri, sistemin genelinde daha yüksek kısa devre akımları akıtırken, TT sistemlerde daha düşük kısa devre akımları akıtmaktadır. Simülasyon sonuçlarına göre, TT şebekelerde, TN şebekelere göre cihaz üzerinde daha yüksek dokunma gerilimleri olduğu hesaplanmıştır. Mikro şebekelerdeki işletme ve koruma toprak değerlerinin doğru şekilde bilinmesi ile, göz empedans değerleri bulunmalı; buna bağlı olarak hesaplanan kısa devre akımlarının, koruma cihazlarını açıp açmayacağı kontrol edilmelidir. TT şebekelerde kullanılan yüksek direnç değerleri ile kısa devre akımları, koruma elemanlarının açmayacak seviyelere kadar düşebilmektedir. Bu sebeple, mikro şebekelerde, topraklama sistemine bakılmaksızın canlı korumasının doğru şekilde sağlanması için gerilimi izleyen düşük yüksek gerilim rölelerinin kullanılması önerilmektedir.

Gelecekte, orta gerilime bağlanmış, büyük güçteki rüzgar türbinleri üzerinde benzer çalışmalar yapılmak istenmektedir. Ayrıca alçak gerilime bağlı mikro şebekelerde enerji depolamak için kullanılacak bataryaların, arızalar üzerinde ne gibi etkilerinin olacağı araştırılmak istenen bir diğer başlıktır. Mevcut çalışma, eklenecek farklı güçteki yükler ve birden fazla kaynak ile zenginleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Türkay B.** (2009, 28 Ekim). *Dağıtılmış Enerji Kaynakları İçeren Şebeke Tasarım Önerisi*, EMO İzmir Şubesi, (s.28-30).
- [2] **Şimşek B.** (2011, 23 Aralık). *Lisanssız Elektrik Üreticilerinin Elektrik Dağıtım Sistemi Bağlantı Usul ve Esasları ile ilgili Teknik Sorunlar Semineri*, İTÜ Maçka Sosyal Tesisleri Konferans Salonu, İstanbul.
- [3] **Nigim A. K., Lee W.J.**, (2007), Microgrid Integration Opportunities and Challenges, *Power Engineering Society General Meeting, IEEE*, Tempa, FL, USA, June 24-28.
- [4] **Del Carpio Huayllas T.E. , Ramos D.S., Vasquez-Arnez R.L.**, (2010), Microgrid Systems: Current Status and Challenges, *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America*, Sao Paulo, Brasil, November 8-10.
- [5] **DuPont H.G.**, (2003), *Wind Turbine Generators Gain Acceptance in Distributed Generation Applications*, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Volume 4, (pp.13-17).
- [6] **Grijalva S., Visnesky M.**, (2005), *Assesment of Distributed Generation Programs Based on Transmission Security Benefits*, IEEE Power Engineering Society General Meeting. (pp.1441-1446), June 12-16.
- [7] The U.S. NEC Handbook, (2008) *Two basic Reasons for Grounding AC Electrical Systems*. Article 250.6.
- [8] **Holt M.**, (2011), *Mike Holt's illustrated guide to understanding NEC requirements for Grounding versus Bonding*. USA, Holt Enterprises.
- [9] **Kamel R. M., Chaouachi A., Nagasaka K.**, (2010), Design and Testing of Three Earthing Systems for MicroGrid Protection during Islanding Mode, *Smart Grid and Renewable Energy (1)*, (pp. 132-142).

[10] Shipp D., Angelini F., (1988), Characteristics of Different Power Systems Neutral Grounding Techniques: Fact& Fiction , *Industry Applications Society Technical Conference*, IEEE. Greenville, SC, USA, May 8-9.

[11] IEEE Standard. (1991). *Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*.

[12] Jayawarna N., Jenkins N., Barnes M., Lorentzou M., Papathanassiou S., Hatziaagyrui N., (2005), Safety Analysis of a Microgrid, *Future Power Systems*, Amsterdam, Netherlands, November 18.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Muhsin Alper Mutlu

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 17.03.1992

Adres Bilgileri: Koşuyolu / Üsküdar / İstanbul

İletişim Bilgileri: alpermutlu92@gmail.com

Lisans Eğitimi: İstanbul Teknik Üniversitesi - Elektrik Mühendisliği (Ing) - (2010-2015)

Yüksek Lisans Eğitimi: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı (2015-2017)

Mesleki Deneyim: Elektrik Tasarım Mühendisi-Anel Grup (Ekim 2015-Devam Etmekte)

