

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VAN M8 DAĞITIM MERKEZİNİN MODELLENMESİ VE POWER WORLD
PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Murat ÖZKAN
DANIŞMAN : Doç. Dr. Muzaffer ATEŞ

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VAN M8 DAĞITIM MERKEZİNİN MODELLENMESİ VE POWER WORLD
PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Murat ÖZKAN

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından No'lu
proje olarak desteklenmiştir (Tez Projesi ise bu ifade İç Kapakta yazılacaktır)

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Muzaffer ATEŞ danışmanlığında Murat ÖZKAN tarafından sunulan “ Van M8 Dağıtım Merkezinin Modellenmesi ve Power World Programı ile Simülasyonu” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 08/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

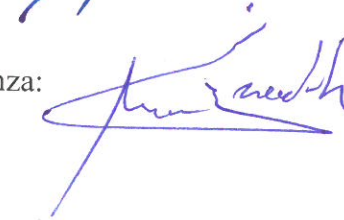
Doç. Dr. Muzaffer ATEŞ

İmza 

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN

İmza: 

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Alı MAMIZADEH

İmza: 

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16./08/2019 tarih ve 2019/44-F sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza 
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mustafa ENSOY
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Murat ÖZKAN

ÖZET

VAN M8 DAĞITIM MERKEZİNİN MODELLENMESİ VE POWER WORLD PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU

ÖZKAN, Murat

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muzaffer ATEŞ

Ağustos 2019, 51 sayfa

Gelişen teknoloji, yükselen yaşam düzeyi ve artan nüfusla birlikte enerjiye olan gereksinim her geçen gün büyük ölçüde artmaktadır. Bu çerçevede üretilen enerjinin verimli kullanılması ve güç sistemlerindeki kayıpların azaltılması önem kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye bağlı Van İl İşletme Müdürlüğü'nün sorumluluk alanındaki 30.5 kV gerilim seviyesindeki Van M8 dağıtım merkezi ve bu dağıtım merkezini besleyen enerji nakil hatları incelenmiştir. Power world programı kullanılarak farklı yük aktarımları neticesinde gözlenen akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümlerine yönelik simülasyon yapılmıştır. Simülasyonda elde edilen veriler ile bir dağıtım merkezine gelen enerjinin kayıp durumu incelenmiş ve güç optimizasyonu yapılmıştır.

Van M8 dağıtım merkezinin giriş ve çıkış fiderlerinde kapalı xlpe kablo ile çelik özlü alüminyum iletken karşılaştırılması yapılmıştır. Bu dağıtım merkezinde kapalı alüminyum xlpe kablo, uzun vadede daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Güç analizi, Kayıp, Newton Raphson metot, Power world simülasyon programı, Van M8 dağıtım merkezi.



ABSTRACT

VAN M8 DISTRIBUTION CENTER MODELING AND SIMULATION WITH POWER WORLD PROGRAM

ÖZKAN, Murat

M.Sc. Thesis., Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Muzaffer ATEŞ

August 2019, 51 pages

With the developing technology, rising life level and increasing population, the need for energy is increasing day by day. In this context, the efficient use of the energy produced and the reduction of the losses in the power systems are gaining importance.

In this thesis, Vangölü Electricity Distribution Inc. the Van M8 distribution center and the power transmission lines that feed this distribution center were examined at the 30.5 kV voltage level. Using the power world program, current-voltage variations, short-circuit currents and voltage drops are simulated for different load transfers. With the data obtained in the simulation, the loss status of the energy coming to a distribution center was examined and power optimization was made

The closed xlpe cable and the steel core aluminum conductor are compared in the inlet and outlet feeders of the Van M8 distribution center. It has been found that the closed xlpe cable in the distribution center is more suitable in the long run. The effects of capacitor cells on voltage change and loss analysis were investigate

Keywords: Loss, Newton Raphson method, Power, Power world simulation program, Van M8 distribution center.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Muzaffer ATEŞ ' e teşekkür ederim. Ayrıca maddi ve manevi olarak hep yanımda olan eşime ve yıllardır üzerinde emekleri olan canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

2019

Murat ÖZKAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Materyal	5
3.1.1. Van M8 dağıtım merkezi	5
3.1.2. İletkenler ve kablolar.....	9
3.2. Yöntem	15
3.2.1. Newton-Raphson metodu	15
3.2.2. Yük akış analizi	31
3.2.3. Power world programı, eklenti araçları ve diğer tanımlar.....	32
3.2.4. Sistemin power world programında çizimi ve çalıştırılması.....	35
4. BULGULAR	41
4.1. Newton Raphson Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar	41
4.2. Power World Programı ile Elde Edilen Sonuçlar	43
4.3. Newton Raphson Yöntemi ile Power World Programının Karşılaştırması	45
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	47

	Sayfa
KAYNAKLAR.....	49
ÖZ GEÇMİŞ.....	51



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3. 1. Van M8 dağıtım merkezinin akım ve güç değerleri.....	8
Çizelge 3. 2. Çelik özlü alüminyum iletkenlerin akım ve güç değerleri Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 3. 3. İletkenlerin direnç ve reaktans değerleri (İriz ve Turgut, 2014) .. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 3. 4. Bakır kabloların elektriksel özellikleri (HES Kablo)..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 3. 5. Alüminyum kabloların elektriksel özellikleri (HES Kablo)..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 3. 6. Bara tipleri (Yalçın, 2013)..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 4. 1. Newton Raphson yöntemi ile elde edilen veriler Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 4. 2. Newton Raphson yöntemi ile power world programının karşılaştırması Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3. 1. Van M8 dağıtım merkezinin mimari yapısı.	5
Şekil 3. 2. Van M8 dağıtım merkezindeki metal mahfazalı hücreler.	6
Şekil 3. 3. Van M8 dağıtım merkezinin tek hat şeması.	7
Şekil 3. 4. İletkenlerin (dx) sonsuz hat parametreleri (Yalçın, 2013).	9
Şekil 3. 5. Bakır xlpe kabloların yapısı (HES, 2016).	11
Şekil 3. 6. Alüminyum xlpe kabloların yapısı (HES, 2016).	13
Şekil 3. 7. Van TEİAŞ 380 A trafosunun etiket bilgileri.	18
Şekil 3. 8. Van TEİAŞ 380 B trafosunun etiket bilgileri.	19
Şekil 3. 9. Birinci İterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.	20
Şekil 3. 10. İkinci iterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.	24
Şekil 3. 11. Üçüncü iterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.	27
Şekil 3. 12. Dördüncü iterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.	30
Şekil 3. 13. Baraların simülasyon programında çizilmesi.	35
Şekil 3. 14. Trafoların simülasyon programında çizilmesi.	36
Şekil 3. 15. Yüklerin simülasyon programında çizilmesi.	37
Şekil 3. 16. İletim hatlarının simülasyon programında çizilmesi.	38
Şekil 3. 17. Sistemin Full Newton'a göre çalıştırılması.	39
Şekil 4. 1. Dördüncü iterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.	42
Şekil 4. 2. Van M8 dağıtım merkezinin power world programında analizi.	43

Şekil 4. 3. Simülasyon programında baraların gerilim durumu.	44
Şekil 4. 4. Simülasyon programında yüklerin durumu.....	44



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

V

Gerilim

I

Akım

P

Aktif güç

Q

Reaktif güç

S

Görünür güç

R

Omik direnç

X

Reaktans

Z

Empedans

U

Fazlar arası gerilim

J

Jacobian matris

B

Suseptans

Kısaltmalar

Açıklama

DM

Dağıtım Merkezi

TM

Trafo Merkezi

OG

Orta Gerilim

AG

Alçak Gerilim

PVQV

Gerilim Yeterliliği ve Kararlılık Aracı

OPF

Optimal Güç Akışı Aracı

SCOPF

Güvenlik Kısıtlı Optimal Güç Akışı Aracı

OPFR

Optimal Güç Akışı Rezervleri

ATC

Aktarım Kabiliyeti Analizi Aracı

TS

Geçici Kararlılık



1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Gelişen teknoloji, yükselen yaşam düzeyi ve artan nüfusla birlikte enerjiye olan gereksinim her geçen gün büyük ölçüde artmaktadır. Bu önemli talebin istenen miktar ve kalitede, ekonomik olarak karşılanabilmesi için yapılan/yapılacak faaliyetler ekonomik sorunların yanında çevresel etkiler de oluşturmaktadır. Ancak üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin kurulması, işletilmesi, izlenilmesi ve kontrol edilmesindeki kolaylıkların yanında temiz oluşu ve istenen enerji şekline istenen yerde, istenilen miktarda dönüştürülebilme imkânlarından dolayı her zaman tercih edilir olmuştur (Yıldız, 2006). Bu tercihle beraber hızla kurulan şebekeler, enterkonnekte sistemleri meydana getirmektedir. Bu şebekelerdeki baraların gerilim şiddeti, faz açısı ve kararlı çalışma durumu açısından güç akışı analizini yapmak önemlidir. Aksi halde aşırı yüklenmiş bir sistemin bazı bölümlerinde zayıf gerilimler ve aşırı gerilimler meydana gelebilir.

Elektrik enerjisi sistemlerinde reaktif güç optimizasyonu yöntemi ile güç kayıpları azaltılabilir. Elektrik sistemlerinde yapılan reaktif güç optimizasyonu ile aktif güç kayıplar azaltılarak, reaktif güç değerleri elektrik güç sistemlerine yerleştirilen kapasitör grupları ile düzeltilebilir (Yapıcı, 2013).

Güç akışı çalışması için kullanılan matematiksel model, bir baradaki güç değerini korumayı ifade eden doğrusal olmayan cebirsel denklemlerin kümesidir. Polar formdadır. Bu denklemlerin elde edilmesinde kullanılan ağ matrisi genel olarak Ybus matrisidir, ancak Z veri yolu matrisini kullanan teknikler de vardır. Seyrek yapısı ve etkin programlama teknikleri kullanarak hızlı çözümler sağladığı için Ybus tercih edilir. Doğrusal olmayan cebirsel denklem kümesini çözmek için kullanılan matematiksel teknikler Gauss-Seidel veya Newton'un metodudur. Çözüm teknikleri, varsayılan bir tahminle başlayarak tekrarlanır. Gauss -Seidel yöntemi, sistem boyutuna bağlı olarak çok sayıda yineleme alırken, Newton'un yöntemi üç ile dört yineleme arasında birleşir (Pai, 2006).

Büyük yapıdaki güç sistemlerinin analizi için bilgisayara dayalı çözüm tekniklerine gereksinim duyulur. Pratik, teorik ve eğitim amaçlı kullanımlarda güç sistemlerinin sayısal analizinde bilgisayar destekli programlara ihtiyaç her geçen gün artmaktadır (Berry ve DiPiazza, 2003).

Güç analiz problemlerinin bilgisayarda çözümü 1950'li yıllarda başlamıştır. Bilgisayarlarda yük akış analizi ile uygulamalar yapılması güç sistemleri adına büyük faydalar sağlamıştır (Tosun, 2008). Bu faydalar vasıtasıyla güç sistemlerini birçok yönden inceleyebilen paket programlar geliştirilmiş olup kişisel bilgisayarlarda kullanıma hazır hale getirilmiştir. Örneğin: Mathcad, Mathematica, Matpower, Neplan, Pscad, Etap, Power world, Uwpflow, Gyte, VST, ATP/EMTP ve PSpice gibi programlarla güç sistemlerinin değişik işletme ve çalışma şekillerine göre analizleri yapılabilmektedir. Söz konusu programların hemen hemen hepsinde sonuçlar ya görsel olarak sunulmakta ya da ara işlemler gösterilmeden sadece istenen sayısal sonuçlar kullanıcıya aktarılmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar karmaşık yapıdaki güç sistemlerinin analizinin yapılmasında mühendislere, operatörlere ve teknik elemanlara sistem hakkında ön bilgiler vermektedir. Kullanılan paket programlar, güç sistemleri üzerinde gerçekleştirilecek işlemlerin bilinçli ve kontrollü bir şekilde yapılmasına imkân tanır (Koçyiğit, 2008).

Bu tez çalışmasında, Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye bağlı Van İl İşletme Müdürlüğü'nün sorumluluk alanındaki 30.5 kV gerilim seviyesinde M8 dağıtım merkezi ve bu dağıtım merkezini besleyen enerji nakil hatları incelenmiştir. Power World programı kullanılarak farklı yük aktarımları neticesinde gözlenen akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümlerine yönelik simülasyon yapılmıştır. Simülasyonda elde edilen veriler ile bir dağıtım merkezine gelen enerjinin kayıp durumu incelenmiş ve uygun iletken-kablo seçimi yapılmıştır.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Power world simülasyon programı, 1990'ların başında, Illinois Üniversitesi'nden Profesör Thomas Overbye tarafından kendi öğrencilerinin büyük ölçekli güç sistemleri çalışmalarını anlamalarına yardımcı olmak için oluşturuldu. O zaman ki yazılımlar daha fazla yorumlama ve açıklama gerektiren çizelgelere dayanıyordu. Eksiklik, kolayca anlaşılabilir görsel bir deneyimdi. Bu program 1996 yılında Profesör Overbye ve güç ve enerji sistemleri araştırma alanındaki doktora öğrencisi Mark Laufenberg tarafından kuruldu.

Geçmişten günümüze kadar bilim adamları güç analizi üzerine birçok çalışma yapmışlar. Bu çalışmalarını yaparken farklı metotlar kullanmışlar. Ayrıca güç analizi üzerine birçok yüksek lisans, doktora tezleri olmasına rağmen power world programı kullanılarak bir dağıtım merkezinde kullanılacak iletken ve kablo karşılaştırması ile ilgili herhangi bir simülasyon çalışması yapılmamıştır. Yapılan benzer çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

26-28 Eylül Malatya otomatik kontrol ulusal toplantısında power world programı hakkında bilgi verilmiş ve yenilenebilir kaynakları içeren güç sistemlerinin power world programı ile analizi yapılmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisinin sistem yük akışına ve iletim hatlarının yüklenmesine olan etkisi konularında örnekler verilerek karşılaştırmalı tartışılmıştır.

Bharati Vidyapeeth Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Prof. Kulkarni tarafından power world yazılımı ile iletim hatlarında hata analizi üzerine bir bildiri yayınlanmıştır. Bu bildiride simetrik olmayan arızaların analizi karşılaştırılmıştır.

Elektrik mühendisliği Amerikan eğitim derneği tarafından power world programı kullanılarak bir güç sisteminin animasyonu şeklinde öğrencilere bir eğitim verilmiştir (Pietryga, 2006). Bu eğitimde power world programının görsel ve grafiksel özelliklerinden faydalanılmıştır.

Uluslararası enerji ve akıllı şebeke dergisinde yenilenebilir enerji kaynakları ve mikro şebekenin sürekliliği matlab ve power programlarında analiz edilmiştir (Kaygusuz ve Nuri, 2016). Bu çalışmada yenilemeli yöntemler olmadan yük akışının olduğu görülmüştür.

Ege üniversitesi elektrik-elektronik mühendisliği bölümü ve Türkiye TEİAŞ batı Anadolu yük tevzi işletme müdürlüğünün bildiriminde İzmir ili ve çevresine ait güç sisteminin geleneksel güç akış algoritması ve power world programları yardımıyla gerçek verilerle uyumlu modelleri oluşturulmuştur.

16-17 Aralık 2015 tarihinde diyalda üniversitesi mühendislik fakültesi dergisinde bir sistemin arıza koşulları altındaki davranışını analiz edilmiştir. Bu davranışların hata türleri değerlendirilmiş ve 30 baralı sistem power world programında simülasyon yapılmıştır.

2006 tarihinde Skvarenina tarafından bir güç sistemi üzerine bir makale yazılmıştır. Bu makalede öğrencilerin güç üzerine yaptığı maliyet çalışmalarını desteklemek, görselleştirmek ve karşılaştırmak için power world programı kullanılmıştır.

(Tinney ve Clifford,1967), önceki çalışmalara alternatif olarak daha az sayıda iterasyon (5 adet) ile sonuca yakınsayan yeni bir Newton yöntemi geliştirmişlerdir.

Elektrik dağıtım hatlarında güç optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ve bir elektrik dağıtım bölgesine uygulanması yüksek lisans tezinde Yapıcı (2013)'e göre 5 ve 30 baralı gerçek bir elektrik dağıtım şebekesinde, genetik algoritma ve Newton-Raphson yöntemleri ile reaktif güç optimizasyonu yapılarak bu iki yöntem arasındaki farklar incelenmiştir.

Boğaziçi Elektrik dağıtım Anonim Şirketi Beyoğlu İşletme bölgesi 34.5 kV bir besleme hattının simülink ile modellenmesi yüksek lisans tezinde Dursun (2006) 'a göre gerçek bir elektrik dağıtım şebekesi incelenmiş ve Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin Beyoğlu İşletme bölgesindeki 34.5 kV bir fiderin, simülink kullanılarak farklı yük aktarımları neticesinde gözlenen akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümleri analizini yapılmıştır.

Elektrik dağıtım sistemlerinde elektrik enerjisinde kalitenin yükseltilmesi yüksek lisans tezinde Yıldız (2006) 'a göre harmonik üreten elemanlar, harmoniklerin meydana getirdiği etkiler ve bu etkileri azaltmak için yapılacak işlemler incelenmiştir.

(Kurban ve Filik, 2007) çalışmalarında Türkiye'deki 22 baralı termik santrallerden müteşekkil yük sisteminin kayıplı ve kayıpsız durumlardaki ekonomik dağıtım analizini, Newton Raphson yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında materyal olarak Van M8 dağıtım merkezi, çelik özlü alüminyum iletken, bakır xlpe kablo ve alüminyum xlpe kablo kullanılmıştır.

3.1.1. Van M8 dağıtım merkezi

Van M8 dağıtım merkezi, Van-380 trafo merkezindeki trafo-A ve trafo-B' den enerji alan yüksek gerilim hattının sonunda fider çoğaltma, hat ayırma, kumanda, koruma ve ölçme yapmak amacıyla kurulmuş bir dağıtım merkezidir. Trafo merkezinden gelen 4 adet giriş fiderini 9 adet çıkış fiderine dönüştüren bir düğüm noktasıdır.



Şekil 3. 1. Van M8 dağıtım merkezinin mimari yapısı.

Van M8 dağıtım merkezinin mimari yapısı mod-5B'dir. Bina'nın boyu 17.56 metre, eni ise 7.09 metredir (Şekil 3. 1). Bina'nın alt katında bodrum bulunmaktadır. Bina'nın bodrum katında, kabloların geçişi için raflar bulunmaktadır.

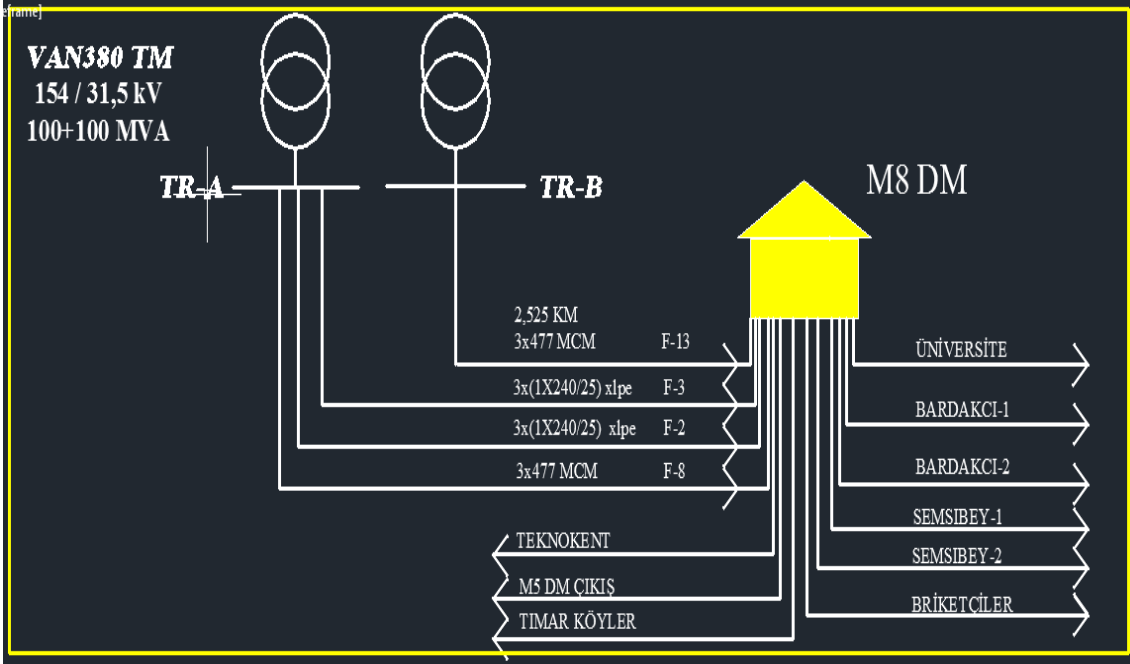


Şekil 3. 2. Van M8 dağıtım merkezindeki metal mahfazalı hücreler.

Van M8 dağıtım merkezi binasının içinde 11 adet kesicili giriş-çıkış hücresi, 2 adet kuplaj hücresi, 1 adet gerilim hücresi, 1 adet trafo koruma hücresi bulunmaktadır (Şekil 3. 2).

SF6 gazı ile yalıtılmış metal mahfazalı modüler hücreler, her bir giriş ve çıkış fiderleri için dağıtım merkezlerinin yüksek gerilim bölümlerinde kullanılmaktadır. Yalıtılmış bu modüler hücreler, tesisin işletilmesi bakımından açık şalt tesislerine göre daha güvenlidir. Güvenli olması kaza riski azaltmıştır.

Çevresindeki aboneleri ve sokak aydınlatmaları beslemek için ayrıca 50 kVA gücünde bir dağıtım transformatörü de Van M8 dağıtım merkezinde yer almaktadır.



Şekil 3. 3. Van M8 dağıtım merkezinin tek hat şeması.

Van M8 dağıtım merkezinde 4 adet giriş fideri bulunmaktadır. Bu fiderler F-3, F-2, F-13, F-8 olarak adlandırılmaktadır. F-3 ve F-2 hatlarındaki enerji 1x240+25 bakır xlpe kablo ile taşınırken, F-13 ve F-8 hatlarındaki enerji ise 477 MCM iletken ile taşınmaktadır.

Van M8 dağıtım merkezinde 9 adet çıkış fideri bulunmaktadır. Bu fiderler teknokent, M5 DM, tımar köyler, üniversite, bardakçı1, şemsibey1, bardakçı2, şemsibey2 ve briketçiler çıkışlarıdır.

Çizelge 3. 1. Van M8 dağıtım merkezinin akım ve güç değerleri

FİDER ADI	15.01.2018 tarihinde ölçülen veriler				
	Faz A Akımı	Faz B Akımı	Faz C akımı	GÜÇ(MW)	GÜÇ(Mvar)
F-8	197	193	186	10.131	0.485
Timar köyler	130	128	126	6.754	0.320
Üniversite	34	34	31	1.741	0.084
Bardakçı 1	31	28	28	1.530	0.073
Bardakçı 2	0	0	0	0.000	0.000
F-13	123	123	128	6.578	0.533
Şemsibey 1	44	43	44	2.304	0.201
Şemsibey 2	0	0	0	0.000	0.000
Briketçiler	75	69	63	3.641	0.320
F-2	26	24	22	1.266	0.067
Teknokent	24	24	22	1.231	0.062
F-3	436	432	431	22.847	4.300
M5 DM	417	424	432	22.390	4.180

15.01.2018 tarihinde Vangölü elektrik dağıtım anonim şirketinin scada biriminden ve Van 380 trafo merkezi tablolarından Van M8 dağıtım merkezinin gerçek akım, aktif ve reaktif güç değerleri alınmıştır (Çizelge 3. 1).

Bardakçı 2 'de yük olmama sebebi bu çıkışın yedek olarak kullanılmasıdır.

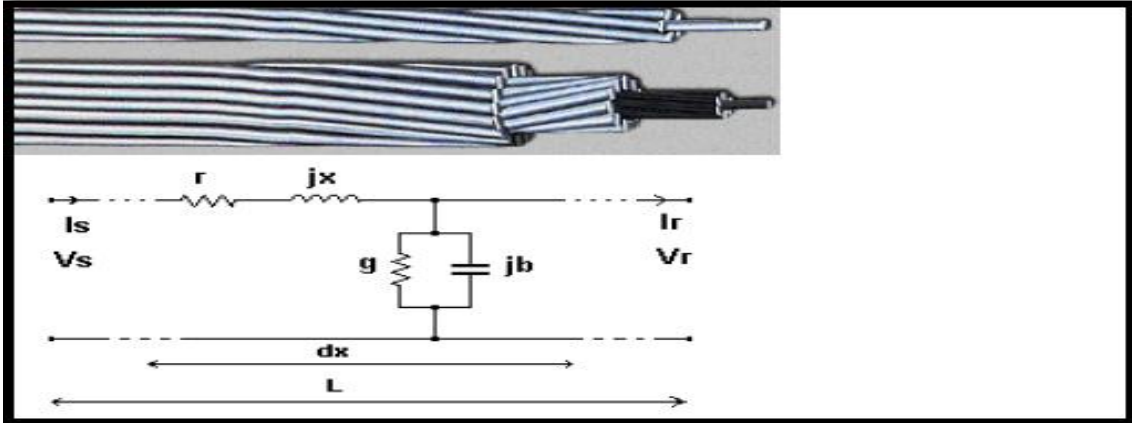
3.1.2. İletkenler ve kablolar

Yüksek gerilim iletim hatlarında çelik özlü alüminyum iletken, bakır xlpe kablo ve alüminyum xlpe kablo kullanılmaktadır.

3.1.2.1. Çelik özlü alüminyum iletkenler

İletkenler, gerek montaj gerekse kangal şekline getirilerek taşınması için bükülgen olmalıdır. Kesit büyüdükçe bükülgeni kaybolacağından YG de kullanılan iletkenler örgülü olarak imal edilirler. İletkenin yorulmasını ve kopmasını önlemek, skin effect olayının önüne geçmek için aynı ya da farklı metalin yedi ve daha fazla sayıda daire şeklindeki telin birbiri üzerine spiral şeklinde sarımı ile oluşurlar. Endüktansın artışı azaltmak için her kat birbirinin tersi yönde yapılarak spiral sarım elde edilir. Kanada standardı olarak tüm dünyada kuş isimleri karakteristik adları bilinen AWG veya MCM ölçekleriyle anılan kesitlere sahiptirler.

İletkende seri olarak tel direnci ve manyetik alandan doğan reaktans ile şönt olarak elektrik alandan doğan toprak kapasitesi mevcuttur. Kısa İletim hatlarında kaçak iletkenlik (kondüktans) ve kaçak kapasite (suseptants) oluşmaz (Şekil 3. 4).



Şekil 3. 4. İletkenlerin (dx) sonsuz hat parametreleri (Yalçın, 2013).

- r: seri direnç (rezistans),
- x: seri endüktif direnç (reaktans)
- g: kaçak iletkenlik (kondüktans)
- b: kaçak kapasite (suseptants),
- L: Hat boyu

Yüksek gerilim dağıtım hatlarında kullanılan çelik özlü alüminyum iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri ve taşıyabilecekleri güç değerleri verilmiştir (Çizelge 3. 2). Bu güç değerlerine göre iletkenlerin farklı kullanım alanları vardır. Örneğin 33kV gerilimde 477 kesitteki iletken 37.485 kVA güç taşırken, swallow iletkeni 6.994 kVA güç taşımaktadır.

Çizelge 3. 2. Çelik özlü alüminyum iletkenlerin akım ve güç değerleri

KESİT (mm ²)	AZAMI AKIM (A)	TAŞIYABİLECEĞİ GÜÇ (KVA)		
		6.3 KV	15.8 KV	33 KV
Swallow	125	1.335	3.338	6.994
1/0	230	2.457	6.161	12.868
3/0	300	3.204	8.036	16.784
266.800	460	4.913	12.322	25.736
477.000	670	7.156	17.948	37.485

Yüksek gerilim dağıtım hatlarında kullanılan çelik özlü alüminyum iletkenlerin direnç ve reaktans değerleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 3. 3).

Kesit artıka iletken ile taşınabilen güç değerleri artar, direnç ve reaktans değerleri azalır. Yani aynı miktardaki enerji, swallow yerine hawk ile taşındığında daha az enerji kaybına uğrar.

Çizelge 3. 3. İletkenlerin direnç ve reaktans değerleri (İriz ve Turgut, 2014)

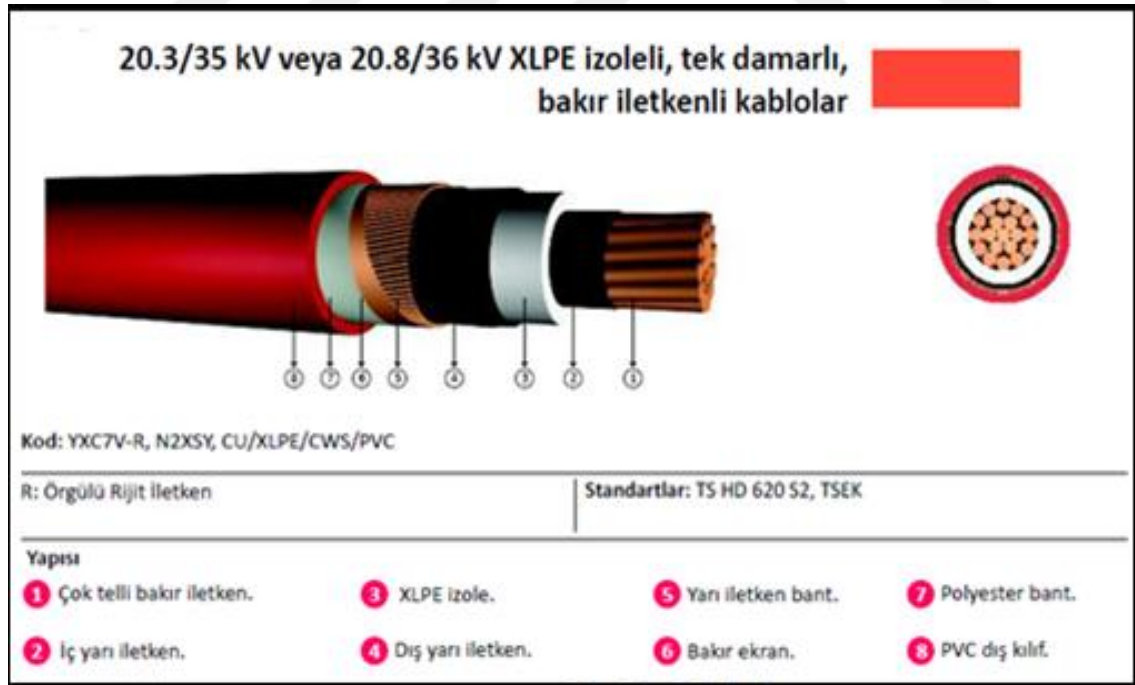
KESİT (mm ²)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
Swallow	1.267	0.4644
1/0	0.67	0.4619
3/0	0.4329	0.4433
266.800	0.239	0.3626
477.000	0.1341	0.3427

2.1.2.2. Xlpe (cross-linked polyethylene) kablolar

Yüksek gerilim dağıtım hatlarında bakır xlpe kablolar ve alüminyum xlpe kablolar kullanılır. Xlpe yalıtkanın en önemli üstünlüğü yüksek termik dayanıklılığıdır. Büyük sıcaklık farklılıklarında dahi mekanik ve elektriksel değerleri hemen hemen sabit kalır. Bu nedenle xlpe yalıtkanlı kablolarda, devamlı işletme için iletken sıcaklığı 90°C ye kadar izin verebilir. Dielektrik kayıp faktörü xlpe yalıtkanında göre daha büyük olduğundan özellikle YG kablolarında xlpe yalıtkan kullanılmaktadır. Xlpe kablonun yoğunluğu daha az, izolasyon direnci yüksektir.

2.1.2.2.1. Bakır xlpe (cross-linked polyethylene) kablolar

Dielektrik kayıpları çok düşük olan bakır kablolar, güç merkezlerinde, salt ve endüstri tesislerinde, yerel enerji dağıtımında güç kablosu olarak **mekanik hasar riskinin yüksek olduğu yerlerde** toprak altında veya kablo kanallarında kullanılır (Şekil 3. 5).



Şekil 3.5. Bakır xlpe kabloların yapısı (HES, 2016).

Bakır xlpe kablolar tabaka olarak üst kısımdan alt kısma doğru pvc dış kılıf, polyester bant, bakır ekran, yarı iletken bant, dış yarı iletken, xlpe izole, iç yarı iletken, çok telli bakır iletken bulunmaktadır. İç yarı iletken tabaka olmazsa, herhangi bir küçük iniş çıkış, elektriksel alan şiddetinin dağılması yüzünden küçük arklar oluşmasına, zaman içerisinde ise izole malzemenin bozularak kablo arızasına neden olabilir. Bu katman kendinden sonra gelen izole malzemesine tamamen yapışmıştır. Yarı iletken tabakalarda, yarı iletkenlik polimer malzemeye karbon siyahı yükleyerek sağlanır. Dolayısıyla bu malzemeler natürel olarak siyahtır.

Çizelge 3. 4. Bakır kabloların elektriksel özellikleri (HES Kablo)

BOYUT VE AĞIRLIKLAR				ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER						Akım Taşıma Kapasitesi (A)			
Normal Kesit	Dış Çap	Net Ağırlık	Sevk uzunluğu	İletken DC 20 °C Max	İletken DC 90 °C Max	Çalışma İndüktansı	İşletme Kapasitesi						
mm ²	mm	kg/km	m	ohm/km	ohm/km	mH/km	mH/km	uF/km	Toprakta 20 °C	Havada 30 °C			
									
1x185/25	44.5	3200	1000	0.0991	0.1268	0.551	0.365	0.191	503	468	615	536	
1x240/25	47.5	3800	1000	0.0754	0.0965	0.531	0.351	0.209	576	541	718	630	
1x300/25	49.5	4500	1000	0.0601	0.0769	0.514	0.341	0.226	641	608	812	717	
1x400/35	53	5650	500	0.0470	0.0602	0.493	0.328	0.252	697	684	904	823	
1x500/35	56	6700	500	0.0366	0.0468	0.477	0.318	0.274	768	762	1011	929	
1x630/35	60	8000	500	0.0283	0.0362	0.460	0.308	0.300	858	847	1128	1043	

Bakır xlpe kabloların 20 °C'deki omik direnci ($R_{20^{\circ}\text{C}}$) ve çalışma indüktansı (L) yukarıda verilmiştir (Çizelge 3. 4). Çalışma indüktansı belli olan bakır bir kablonun reaktans değeri "Eş.3. 1" ile hesaplanır.

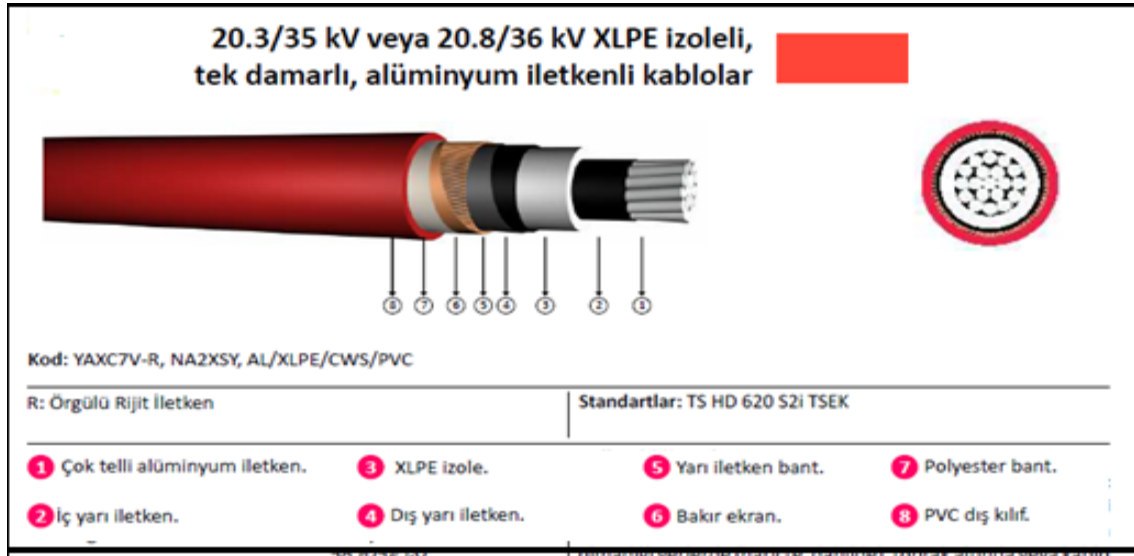
$$X_{20} = 2 * \pi * f * L = 2 * (3.14) * 50 * (0.531) = 0.167 \Omega/\text{km} \quad (3.1)$$

1x240+25 bakır xlpe kablonun 20°C sıcaklığındaki iletken direnci çizelgeden alınmıştır-(Bkz. Çizelge3.4). 1x240+25 bakır xlpe kablonun 20°C sıcaklığındaki iletken empedansı değeri ise "Eş.3. 1" örneği kullanılarak "Eş.3. 2" gibi hesaplanmıştır.

$$Z_{20} = 0.0754 + j0.167 \Omega/\text{km} \quad (3.2)$$

2.1.2.2.2. Alüminyum xlpe (cross-linked polyethylene) kablolar

Dielektrik kayıpları çok düşük olan bakır kablolar, güç merkezlerinde, salt ve endüstri tesislerinde, yerel enerji dağıtımında güç kablosu olarak mekanik **hasar riskinin olmadığı** yerlerde toprak altında veya kablo kanallarında kullanılır (Şekil 3. 6).



Şekil 3. 6. Alüminyum xlpe kabloların yapısı (HES, 2016).

İzole malzemesi, gerilim altındaki iletkeni, toprak potansiyelinde bulunan dış ekrandan izole eder. İzole malzemesinin kalınlığı geçici hallerde ve tanımlı çalışma koşullarında elektriksel alana dayanabilecek kalınlıkta olmalıdır.

Dış yarı iletken tabakanın işlevi iç yarı iletken tabakaya benzer. İzolasyon ortamından topraklanmış metalik ekrana düzgün bir geçiş sağlar. Bu tabaka, yaklaşık 1mm kalınlığındaki siyah çapraz bağlı yarı iletken bileşenden oluşur ve ya izoleye yapışık şekilde ya da elle sıyrılabilecek şekilde üretilir. Kablolarda bağlantı veya sonlandırma yapılırken, bu dış yarı iletken tabakanın bir kısmının çıkarılması gerekmektedir. Tamamen yapışık şekilde üretilmiş ise, siyah yarı iletken tabakayı izole malzemesine zarar vermeden çıkarabilmek için derinliği önceden ayarlanmış özel döner bıçaklı bir sıyırma aleti kullanılması gerekmektedir.

Çizelge 3. 5. Alüminyum kabloların elektriksel özellikleri (HES Kablo)

BOYUT VE AĞIRLIKLAR				ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER						Akım Taşıma Kapasitesi (A)			
Normal Kesit	Dış Çap	Net Ağırlık	Sevk uzunluğu	İletken DC 20 °C Max	İletken DC 90 °C Max	Çalışma İndüktansı	İşletme Kapasitesi						
mm ²	mm	kg/km	m	ohm/km	ohm/km	mH/km	mH/km	uF/km	Toprakta 20 °C	Havada 30 °C			
									
1x185/25	44.5	2050	1000	0.164	0.2099	0.575	0.365	0.191	400	366	485	418	
1x240/25	47.5	2350	1000	0.125	0.1600	0.506	0.351	0.209	461	426	572	494	
1x300/25	49.5	2600	1000	0.100	0.1280	0.490	0.341	0.226	516	479	649	564	
1x400/35	53	3150	1000	0.0788	0.1009	0.471	0.328	0.252	572	545	737	654	
1x500/35	56	3600	1000	0.0605	0.0774	0.456	0.318	0.274	638	614	835	747	
1x630/35	60	4150	1000	0.0469	0.0600	0.440	0.308	0.300	728	690	950	851	

Alüminyum xlpe kabloların 20 °C'deki omik direnci ($R_{20^{\circ}\text{C}}$) ve çalışma indüktansı (L) yukarıda verilmiştir (Çizelge 3. 5). Çalışma indüktansı belli olan alüminyum bir kablonun reaktans değeri "Eş.3. 3" ile hesaplanır.

$$X_{20} = 2 * \pi * f * L = 2 * (3.14) * 50 * (0.506) = 0.158 \Omega/\text{km} \quad (3.3)$$

1x240+25 alüminyum xlpe kablonun 20°C sıcaklığındaki iletken direnci çizelgeden alınmıştır-(Bkz. Çizelge3.5). 1x240+25 alüminyum xlpe kablonun 20°C sıcaklığındaki iletken empedansı değeri ise "Eş.3. 3" örneği kullanılarak "Eş.3. 4" gibi hesaplanmıştır.

$$Z_{20} = 0.125 + j0.158 \Omega/\text{km} \quad (3.4)$$

1x400+35 alüminyum xlpe kablonun 20°C sıcaklığındaki iletken direnci çizelgeden alınmıştır-(Bkz. Çizelge 3. 5). 1x400+35 alüminyum xlpe kablonun 20°C sıcaklığındaki iletken empedansı değeri ise "Eş.3. 5" örneği kullanılarak "Eş.3. 6" gibi hesaplanmıştır.

$$X_{20} = 2 * \pi * f * L = 2 * (3.14) * 50 * (0.471) = 0.148 \Omega/\text{km} \quad (3.5)$$

$$Z_{20} = 0.0788 + j0.148\Omega/\text{km} \quad (3.6)$$

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında Newton-Rapson yöntemi kullanılarak Van M8 dağıtım merkezinin yük akışı hesaplanmış ve simülasyonu yapılmıştır. Simülasyondan elde edilen veriler ile bir dağıtım merkezine gelen enerjinin kayıp durumu incelenmiş ve uygun iletken-kablo seçimi yapılmıştır.

3.2.1. Newton-Raphson metodu

Newton-Raphson yöntemi, güç akışı problemlerini kısa sürede ve az iterasyonla çözebilmektedir. Modern güç akış programları her zaman bu yöntemi kullanırlar. Bu metotta, fonksiyonla ilişkilendirilmiş bağımsız değişken için hata düzeltmesi yapılarak fonksiyondaki düzeltme sıfıra götürülür. Hatanın sıfıra gitmesi için fonksiyon x_0 civarında Taylor serisine açılır. Fonksiyonların Taylor serisine açılımı “Eş.3. 7” örneği gibidir.

$$y = f(x_i) + f'(x_i) \cdot (x_{i+1} - x_i) + \frac{f''(x_i) \cdot (x_{i+1} - x_i)^2}{2!} + \dots \quad (3.7)$$

Newton yöntemi, Taylor serisinin ilk iki terimini alır ve birinci dereceden büyük olan kısmi türevler ihmal edilir. Bu denklemden x_{i+1} bilinmeyeni çekildiğinde “Eş.3. 8” elde edilir.

$$x_{i+1} = x_i + [f'(x_i)]^{-1} \cdot (f(x_{i+1}) - f(x_i)) \quad (3.8)$$

Aşağıdaki $J(i)$ matrisi, Jacobian matrisi olarak bilinir ve “Eş.3. 9” gibi tanımlanır.

$$[J_i] = f'(x_i) = \left[\frac{df}{dx} \Big|_{x=x_i} \right] = \begin{bmatrix} \frac{df_1}{dx_1} & \dots & \dots & \dots & \frac{df_1}{dx_N} \\ \frac{df_N}{dx_1} & \dots & \dots & \dots & \frac{df_N}{dx_N} \end{bmatrix}_{x=x_i} \quad (3.9)$$

Jacobian matris “Eş.3. 8” deki denkleminin yerine koyulduğunda “Eş.3.10” örneği gibi oluşur.

$$x_{i+1} = x_i + [J_i]^{-1} \cdot [f(x_{i+1}) - f(x_i)] \quad (3.10)$$

Matris tersi almak yerine lineer denklem sistemi çözümü tercih edilmesi “Eş.3.10”dan elde edilen denklem aşağıdaki iterasyon bağıntısı şekline dönüştürülür.

$$[J_i] \cdot \Delta x_i = \Delta y_i \quad (3.11)$$

Bu denklemden Δx_i bilinmeyen vektörü hesaplanarak yeni x_{i+1} değeri “Eş.3.13”den bulunur.

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i \quad (3.12)$$

Çözümde, başlangıç değerleri x_0 seçilir ve iterasyona “Eş.3.13” gibi durma kriteri sağlanıncaya kadar devam edilir.

$$|\Delta y_i| = |\Delta V_i| < \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots \dots \dots N \quad (3.13)$$

Bu tez çalışmasında Newton-Raphson yöntemi kullanılarak gerilim değerlerinin iterasyonu yapılmıştır. İterasyon durumlarına göre yüklerin direnç ve reaktans değerleri hesaplanmıştır. Başlangıç koşulu olarak aşağıdaki değerler seçilmiştir.

$$V_{FF}^{(0)} = 30.5 \text{ kV} \text{ ise } V_{FN}^{(0)} = \frac{30.5}{\sqrt{3}} = 17.609 \text{ kV}$$

$$V_1^{(0)} = V_2^{(0)} = V_3^{(0)} = V_4^{(0)} = V_5^{(0)} = V_6^{(0)} = V_7^{(0)} = V_8^{(0)} = 17.609 \text{ kV}$$

$$\Delta V_5^{(0)} = \Delta V_8^{(0)} = 0 \text{ ve } \varepsilon = 0.040 \text{ kV}$$

$$S_1 = P_1 = 3MW = \frac{3MW}{3} = 1MW$$

$$S_3 = P_3 + jQ_3 = 10.03 + j0.477 = \frac{10.03+j0.477}{3} = 3.347 \angle 2.73 \text{ MVA}$$

$$S_5 = P_5 + jQ_5 = 22.39 + j4.18 = \frac{22.39+j4.18}{3} = 7.592 \angle 10.57 \text{ MVA}$$

$$S_7 = P_7 + jQ_7 = 1.231 + j0.062 = \frac{1.231+j0.062}{3} = 0.410 \angle 2.88 \text{ MVA}$$

$$S_8 = P_8 + jQ_8 = 37 + j7.514 = \frac{37+j7.514}{3} = 12.5851 \angle 11.48 \text{ MVA}$$

$$S_{10} = P_{10} + jQ_{10} = 5.95 + j0.524 = \frac{5.95+j0.524}{3} = 1.991 \angle 5.03 \text{ MVA}$$

1. İterasyon

$$Z_1^{(1)} = R_1^{(1)} = \frac{(V_1^{(0)})^2}{S_1} = \frac{(17.609)^2}{1} = 310.077 \Omega$$

$$I_1^{(1)} = \frac{V_1^{(0)}}{Z_1} = \frac{17609}{310.077} = 56.789 \text{ A ve } V_1^{(1)} = V_5^{(1)}$$

$$Z_3^{(1)} = \frac{(V_2^{(0)})^2}{S_3} = \frac{(17.609)^2}{3.347 \angle -2.73} = 92.643 \Omega$$

$$I_2^{(1)} = \frac{V_2^{(0)}}{Z_3} = \frac{17609}{92.643 \angle 2.73} = 190.074 \text{ A}$$

$$Z_2 = 0.33525 + j0.85675 = 0.920 \angle 68.63 \Omega$$

$$\Delta V_2^{(1)} = I_2 * Z_2 = (190.074 \angle -2.73) * (0.920 \angle 68.63) = 174.869 \angle 65.87 \text{ V}$$

$$V_2^{(1)} = V - \Delta V_5^{(0)} - \Delta V_2^{(1)} = 17609 - 0 - 174.869 \angle 65.87 = 17538.238 \angle -0.52 \text{ V}$$

$$|V_2^{(0)} - V_2^{(1)}| = |17609 - 17538.238 \angle -0.52| = |174.485 \angle 65.81|$$

174.485 > ε iterasyon devam eder.

$$Z_5^{(1)} = \frac{(V_3^{(0)})^2}{S_5} = \frac{(17.609)^2}{7.592} = 40.843 \Omega$$

$$I_3^{(1)} = \frac{V_3^{(0)}}{Z_5} = \frac{17609}{40.843 \angle 10.57} = 431.139 \angle -10.57 \text{ A}$$

$$Z_4 = 0.1885 + j0.4175 = 0.458 \angle 65.70 \Omega$$

$$\Delta V_3^{(1)} = I_3 * Z_4 = (431.139 \angle -10.57) * (0.458 \angle 65.70) = 197.462 \angle 55.13 \text{ V}$$

$$V_3^{(1)} = V - \Delta V_5^{(0)} - \Delta V_3^{(1)} = 17609 - 197.462 \angle 55.13 = 17496.858 \angle -0.53 \text{ V}$$

$$|V_3^{(0)} - V_3^{(1)}| = |17609 - 17496.858 \angle -0.53| = |197.330 \angle 55.10|$$

197.330 > ε iterasyon devam eder.

$$Z_7^{(1)} = \frac{(V_4^{(0)})^2}{S_7} = \frac{(17.609)^2}{0.410 \angle -2.88} = 756.285 \Omega$$

$$I_4^{(1)} = \frac{V_4^{(0)}}{Z_7} = \frac{17609}{756.285 \angle 2.88} = 23.283 \angle -2.88 \text{ A}$$

$$Z_6 = 0.1885 + j0.4175 = 0.458 \angle 65.70 \Omega$$

$$\Delta V_4^{(1)} = I_4 * Z_6 = (23.283 \angle -2.88) * (0.458 \angle 65.70) = 10.663 \angle 62.82 \text{ V}$$

$$V_4^{(1)} = V - \Delta V_5^{(0)} - \Delta V_4^{(1)} = 17609 - 0 - 10.663 \angle 62.82 = 17604.132 \angle -0.03 \text{ V}$$

$$|V_4^{(0)} - V_4^{(1)}| = |17609 - 17604.132 \angle -0.03| = |10.425 \angle 62.15|$$

$$10.425 < \varepsilon$$

Van 380 Trafo merkezinde 2 adet Areva markalı 100 MVA trafo bulunmaktadır. Bu trafoların empedans değerleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır.

$$V_{\text{Baz}} = 30.5 \text{ kV}$$

$$S_{\text{Baz}} = 100 \text{ MVA}$$

$$Z_{\text{Baz}} = \frac{(V_{\text{Baz}})^2}{S_{\text{Baz}}} = \frac{(30.5)^2}{100} = 9.3025$$

2010 yılında imal edilen Van 380 A trafosunun etiket değerinde % Uk değeri 13.22 yazmaktadır (Şekil 3. 7).

Van 380 Trafo A için

$$Z_{\text{gerçek}} = Z_{11} = X_{11} = pu * Z_{\text{baz}} = 0.1322 * 9.3025 = j1.2298 \Omega$$

TIP	TLSN 8052	SERVIS	SUREKLİ
SERİ NO	317758	FREKANS	50 Hz
IMAL YILI	2010	SOĞUTMA ŞEKLİ	ONAN / ONAF
TURU	GÜÇ TRAFOSU	BAĞLANTI GRUBU	YNyn0
IMALAT STANDARDI	TS 267, IEC 76	FAZ ADEDİ	3
ANMA GÜCÜ (kVA)	ANMA GERİLİMİ (V)		POZ.1/YG
	YG	AG	
ONAN 80000	154000	33600	352,8
ONAF 100000	154000	33600	441,1
KISA DEVRE GERİLİMİ (%) (BAZ 100000 kVA)			
POZ.	1	13	25
ZYG	11,52	12,44	13,22

Şekil 3. 7. Van TEİAŞ 380 A trafosunun etiket bilgileri.

2010 yılında imal edilen Van 380 B trafosunun etiket değerinde % Uk değeri 13.15 yazmaktadır (Şekil 3. 8).

Van 380 Trafo B için

$$Z_{\text{gerçek}} = Z_{12} = X_{12} = pu * Z_{\text{baz}} = 0.1315 * 9.3025 = j1.2232 \Omega$$

TIP	TLSN 8052	SERVİS	SÖRE
SERİ NO	317759	FREKANS	50
İMAL YILI	2010	SOĞUTMA ŞEKLİ	ONAN / O
TÜRÜ	GÜÇ TRAFOSU	BAĞLANTI GRUBU	YN
MALAT STANDARDI	TS 267, IEC 76	FAZ ADEDİ	
ANMA GÜCÜ (kVA)	ANMA GERİLİMİ (V)		POZ
	YG	AG	
ONAN 8000	154000	33600	35
ONAF 10000	154000	33600	44
KISA DEVRE GERİLİMİ (%) (BAZ 100000 kVA)			
POZ	1	13	25
ZYG	11.45	12.35	13.15

Şekil 3. 8. Van TEİAŞ 380 B trafosunun etiket bilgileri.

$$I_5^{(1)} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 56.789 + (190.074 \angle - 2.73) + (431.139 \angle - 10.57) + (23.283 \angle - 2.88) = 699.449 \angle - 7.34 \text{ A}$$

$$\Delta V_5^{(1)} = I_5 * Z_{11} = (699.449 \angle - 7.34) * (j1.2298) = 860.182 \angle 82.66 \text{ V}$$

$$V_5^{(1)} = V - \Delta V_5^{(1)} = 17609 - 860.182 \angle 82.66 = 17519.890 \angle - 2.79 \text{ V}$$

$$|V_5^{(0)} - V_5^{(1)}| = |17609 - 17519.890 \angle - 2.79| = |859.839 \angle 82.66|$$

859.839 > ε iterasyon devam eder.

$$Z_8^{(1)} = \frac{(V_6^{(0)})^2}{S_8} = \frac{(17.609)^2}{12.585 \angle - 11.48} = 24.638 \Omega$$

$$I_6^{(1)} = \frac{V_6^{(0)}}{Z_8} = \frac{17609}{24.638 \angle 11.48} = 714.709 \angle - 11.48 \text{ A}$$

$$V_6^{(1)} = V_8^{(1)}$$

$$Z_{10}^{(1)} = \frac{(V_7^{(0)})^2}{S_{10}} = \frac{(17.609)^2}{1.991 \angle - 5.03} = 155.739 \Omega$$

$$I_7^{(1)} = \frac{V_7^{(0)}}{Z_{10}} = \frac{17609}{155.739 \angle 5.03} = 113.067 \angle - 5.03 \text{ A}$$

$$Z_7 = 0.33525 + j0.85675 = 0.92 \angle 68.63 \Omega$$

$$\Delta V_7^{(1)} = I_7 * Z_7 = (113.067 \angle - 5.03) * (0.92 \angle 68.63) = 104.021 \angle 63.60 \text{ V}$$

$$V_7^{(1)} = V - \Delta V_8^{(0)} - \Delta V_7^{(1)} = 17609 - 104.021 \angle 63.60 = 17562.996 \angle - 0.30 \text{ V}$$

$$|V_7^{(0)} - V_7^{(1)}| = |17609 - 17562.996 \angle - 0.30| = |102.932 \angle 63.30|$$

102.932 > ε iterasyon devam eder.

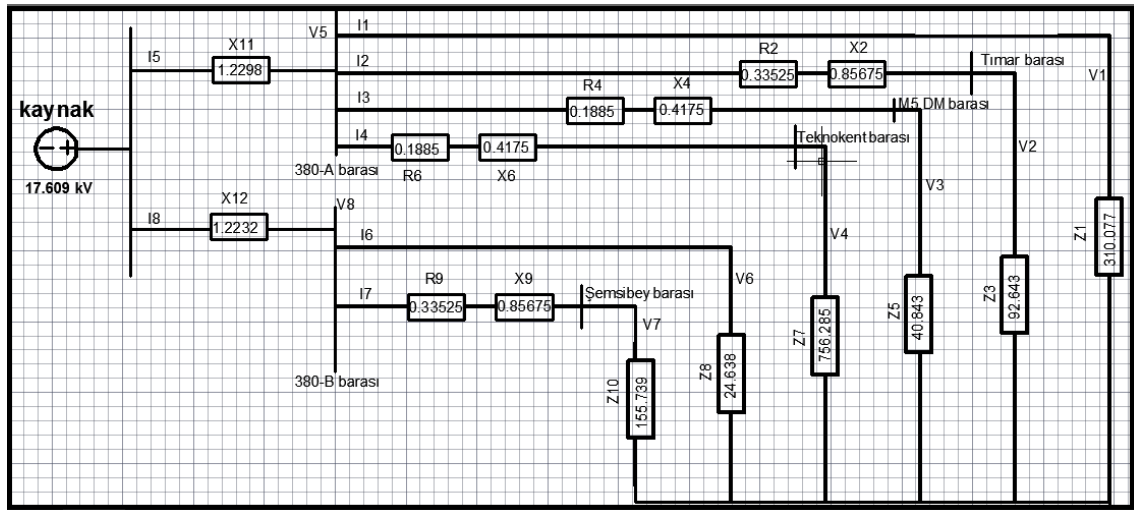
$$I_8^{(1)} = I_6 + I_7 = 714.709 \angle - 11.48 + 113.067 \angle - 5.03 = 827.157 \angle - 10.60 \text{ A}$$

$$\Delta V_8^{(1)} = I_8 * Z_{12} = (827.157 \angle - 10.60) * (j1.2232) = 1011.779 \angle 79.40 \text{ V}$$

$$V_8^{(1)} = V - \Delta V_8^{(1)} = 17609 - 1011.779 \angle 79.40 = 17451.243 \angle - 3.27 \text{ V}$$

$$|V_8^{(0)} - V_8^{(1)}| = |17609 - 17451.243 \angle - 3.27| = |1012.7 \angle 79.40|$$

1012.7 > ε iterasyon devam eder.



Şekil 3. 9. Birinci İterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.

2. Iterasyon

$$V_1^{(1)} = V_5^{(1)} = 17519.890 \angle -2.79 \text{ V}$$

$$V_2^{(1)} = 17538.238 \angle -0.52 \text{ V}$$

$$V_3^{(1)} = 17496.858 \angle -0.53 \text{ V}$$

$$V_4^{(1)} = 17604.132 \angle -0.03 \text{ V}$$

$$V_7^{(1)} = 17562.996 \angle -0.30 \text{ V}$$

$$V_6^{(1)} = V_8^{(1)} = 17451.243 \angle -3.27 \text{ V}$$

$$\Delta V_5^{(1)} = 860.182 \angle 82.66 \text{ V}$$

$$\Delta V_8^{(1)} = 1011.779 \angle 79.40 \text{ V}$$

$$S_1 = P_1 = 3\text{MW} = \frac{3\text{MW}}{3} = 1\text{MW}$$

$$S_3 = P_3 + jQ_3 = 10.03 + j0.477 = \frac{10.03 + j0.477}{3} = 3.347 \angle 2.73 \text{ MVA}$$

$$S_5 = P_5 + jQ_5 = 22.39 + j4.18 = \frac{22.39 + j4.18}{3} = 7.592 \angle 10.57 \text{ MVA}$$

$$S_7 = P_7 + jQ_7 = 1.231 + j0.062 = \frac{1.231 + j0.062}{3} = 0.410 \angle 2.88 \text{ MVA}$$

$$S_8 = P_8 + jQ_8 = 37 + j7.514 = \frac{37 + j7.514}{3} = 12.5851 \angle 11.48 \text{ MVA}$$

$$S_{10} = P_{10} + jQ_{10} = 5.95 + j0.524 = \frac{5.95 + j0.524}{3} = 1.991 \angle 5.03 \text{ MVA}$$

$$Z_1^{(2)} = R_1^{(2)} = \frac{(V_1^{(1)})^2}{S_1} = \frac{(17.519)^2}{1} = 306.946 \Omega$$

$$I_1^{(2)} = \frac{V_1^{(1)}}{Z_1} = \frac{17519.890 \angle -2.79}{306.946} = 57.078 \angle -2.79 \text{ A}$$

$$V_1^{(2)} = V_5^{(2)}$$

$$Z_3^{(2)} = \frac{(V_2^{(1)})^2}{S_3} = \frac{(17.538)^2}{3.347} = 91.90 \Omega$$

$$I_2^{(2)} = \frac{V_2^{(1)}}{Z_3} = \frac{17538.238 \angle -0.52}{91.9} = 190.840 \angle -0.52 \text{ A}$$

$$Z_2 = 0.33525 + j0.85675 = 0.92 \angle 68.63 \Omega$$

$$\Delta V_2^{(2)} = I_2 * Z_2 = (190.840 \angle - 2.21) * (0.92 \angle 68.63) = 175.529 \angle 66.42 \text{ V}$$

$$V_2^{(2)} = V - \Delta V_5^{(1)} - \Delta V_2^{(2)} = 17609 - 860.182 \angle 82.66 - 175.529 \angle 66.42 = 17458.361 \angle - 3.33 \text{ V}$$

$$|V_2^{(1)} - V_2^{(2)}| = |(17538.238 \angle - 0.52) - (17458.361 \angle - 3.33)| = |861.804 \angle 82|$$

861.804 > ε iterasyon devam eder.

$$Z_5^{(2)} = \frac{(V_3^{(1)})^2}{S_5} = \frac{(17.496858 \angle - 0.53)^2}{7.592 \angle - 10.57} = 40.324 \Omega$$

$$I_3^{(2)} = \frac{V_3^{(1)}}{Z_5} = \frac{17496.858 \angle - 0.53}{40.324 \angle 9.51} = 433.907 \angle - 10.04 \text{ A}$$

$$Z_4 = 0.1885 + j0.4175 = 0.458 \angle 65.70 \Omega$$

$$\Delta V_3^{(2)} = I_3 * Z_4 = (433.907 \angle - 10.04) * (0.458 \angle 65.70) = 198.729 \angle 55.66 \text{ V}$$

$$V_3^{(2)} = V - \Delta V_5^{(1)} - \Delta V_3^{(2)} = 17609 - 860.182 \angle 82.66 - 198.729 \angle 55.66 = 17416.733 \angle - 3.35 \text{ V}$$

$$|V_3^{(1)} - V_3^{(2)}| = |17496.858 \angle - 0.53 - (17416.733 \angle - 3.35)| = |862.833 \angle 82.7|$$

862.833 > ε iterasyon devam eder.

$$Z_7^{(2)} = \frac{(V_4^{(1)})^2}{S_7} = \frac{(17.604.132 \angle - 0.03)^2}{0.410 \angle - 2.88} = 755.867 \Omega$$

$$I_4^{(2)} = \frac{V_4^{(1)}}{Z_7} = \frac{17604.132 \angle - 0.03}{755.867 \angle 2.82} = 23.289 \angle - 2.85 \text{ A}$$

$$Z_6 = 0.1885 + j0.4175 = 0.458 \angle 65.70 \Omega$$

$$\Delta V_4^{(2)} = I_4 * Z_6 = (23.289 \angle - 2.85) * (0.458 \angle 65.70) = 10.666 \angle 62.85 \text{ V}$$

$$V_4^{(2)} = V - \Delta V_5^{(1)} - \Delta V_4^{(2)} = 17609 - 860.182 \angle 82.66 - 10.666 \angle 62.85 = 17515.493 \angle - 2.82 \text{ V}$$

$$|V_4^{(1)} - V_4^{(2)}| = |(17604.132 \angle - 0.03) - (17515.493 \angle - 2.82)| = |859.565 \angle 82.7|$$

859.565 > ε iterasyon devam eder.

$$I_5^{(2)} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 57.078 \angle - 2.79 + 190.84 \angle - 2.21 + 433.907 \angle - 10.04 + 23.289 \angle - 2.85 = 700.647 \angle - 8.6 \text{ A}$$

$$\Delta V_5^{(2)} = I_5 * Z_{11} = (700.647 \angle - 8.6) * (j1.2298) = 861.656 \angle 81.4 \text{ V}$$

$$V_5^{(2)} = V - \Delta V_5^{(2)} = 17609 - 861.656 \angle 81.4 = 17500.901 \angle - 2.79 \text{ V}$$

$$|V_5^{(1)} - V_5^{(2)}| = |(17519.890 \angle - 2.79) - (17500.901 \angle - 2.79)| = |18.989 \angle - 2.8|$$

$18.989 < \varepsilon$

$$Z_8^{(2)} = \frac{(V_8^{(1)})^2}{S_8} = \frac{(17.451 \angle - 3.27)^2}{12.585 \angle - 11.48} = 24.199 \Omega$$

$$I_6^{(2)} = \frac{V_6^{(1)}}{Z_8} = \frac{17451.243 \angle - 3.27}{24.199 \angle 4.94} = 721.156 \angle - 8.21 \text{ A}$$

$$V_6^{(2)} = V_8^{(2)}$$

$$Z_{10}^{(2)} = \frac{(V_7^{(1)})^2}{S_{10}} = \frac{(17.562 \angle - 0.30)^2}{1.991 \angle - 5.03} = 154.927 \Omega$$

$$I_7^{(2)} = \frac{V_7^{(1)}}{Z_{10}} = \frac{17562.996 \angle - 0.30}{154.927 \angle 4.43} = 113.363 \angle - 4.73 \text{ A}$$

$$Z_7 = 0.33525 + j0.85675 = 0.92 \angle 68.63 \Omega$$

$$\Delta V_7^{(2)} = I_7 * Z_7 = (113.363 \angle - 4.73) * (0.92 \angle 68.63) = 104.293 \angle 63.9 \text{ V}$$

$$V_7^{(2)} = V - \Delta V_8^{(1)} - \Delta V_7^{(2)} = 17609 - (1011.779 \angle 79.40) - 104.293 \angle 63.9 = 17411.037 \angle - 3.58 \text{ V}$$

$$|V_7^{(1)} - V_7^{(2)}| = |(17562.996 \angle - 0.30) - (17411.037 \angle - 3.58)| = |1012 \angle 79.4|$$

$1012 > \varepsilon$ iterasyon devam eder.

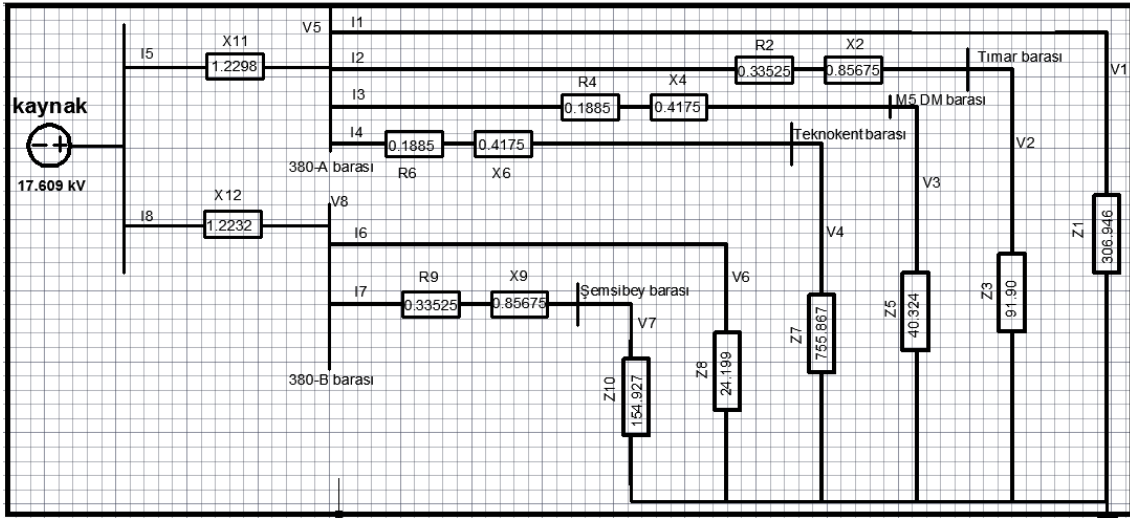
$$I_8^{(2)} = I_6 + I_7 = 721.156 \angle - 8.21 + 113.363 \angle - 4.73 = 833.839 \angle - 13.26 \text{ A}$$

$$\Delta V_8^{(2)} = I_8 * Z_{12} = (833.839 \angle - 13.26) * (j1.2232) = 1019.952 \angle 76.7 \text{ V}$$

$$V_8^{(2)} = V_6^{(2)} = V - \Delta V_8^{(2)} = 17609 - 1019.952 \angle 76.7 = 17402.691 \angle - 3.26 \text{ V}$$

$$|V_8^{(1)} - V_8^{(2)}| = |(17451.243 \angle - 3.27) - 17402.691 \angle - 3.26| = |48.647 \angle - 6.85|$$

$48.647 > \varepsilon$ iterasyon devam eder.



Şekil 3. 10. İkinci iterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.

3. iterasyon

$$V_1^{(2)} = V_5^{(2)} = 17500.901 \angle - 2.79 \text{ V}$$

$$V_2^{(2)} = 17458.361 \angle - 3.33 \text{ V}$$

$$V_3^{(2)} = 17416.733 \angle - 3.35 \text{ V}$$

$$V_4^{(2)} = 17515.493 \angle - 2.82 \text{ V}$$

$$V_7^{(2)} = 17411.037 \angle - 3.58 \text{ V}$$

$$V_8^{(2)} = V_6^{(2)} = 17402.691 \angle - 3.26 \text{ V}$$

$$\Delta V_5^{(2)} = 861.656 \angle 81.4 \text{ V}$$

$$\Delta V_8^{(2)} = 1019.952 \angle 76.7 \text{ V}$$

$$S_1 = P_1 = 3 \text{ MW} = \frac{3 \text{ MW}}{3} = 1 \text{ MW}$$

$$S_3 = P_3 + jQ_3 = 10.03 + j0.477 = \frac{10.03 + j0.477}{3} = 3.347 \angle 2.73 \text{ MVA}$$

$$S_5 = P_5 + jQ_5 = 22.39 + j4.18 = \frac{22.39 + j4.18}{3} = 7.592 \angle 10.57 \text{ MVA}$$

$$S_7 = P_7 + jQ_7 = 1.231 + j0.062 = \frac{1.231 + j0.062}{3} = 0.410 \angle 2.88 \text{ MVA}$$

$$S_8 = P_8 + jQ_8 = 37 + j7.514 = \frac{37 + j7.514}{3} = 12.5851 \angle 11.48 \text{ MVA}$$

$$S_{10} = P_{10} + jQ_{10} = 5.95 + j0.524 = \frac{5.95 + j0.524}{3} = 1.991 \angle 5.03 \text{ MVA}$$

$$Z_1^{(3)} = R_1^{(3)} = \frac{(V_1^{(2)})^2}{S_1} = \frac{(17.500)^2}{1} = 306.281 \Omega$$

$$I_1^{(3)} = \frac{V_1^{(2)}}{Z_1} = \frac{17500.901 \angle - 2.79}{306.281} = 57.140 \angle - 2.79 \text{ A}$$

$$V_1^{(3)} = V_5^{(3)}$$

$$Z_3^{(3)} = \frac{(V_2^{(2)})^2}{S_3} = \frac{(17.458)^2}{3.347} = 91.064 \Omega$$

$$I_2^{(3)} = \frac{V_2}{Z_3} = \frac{17458.361 \angle - 3.33 \text{ V}}{91.064} = 191.715 \angle - 3.33 \text{ A}$$

$$Z_2 = 0.33525 + j0.85675 = 0.92 \angle 68.63 \Omega$$

$$\Delta V_2^{(3)} = I_2 * Z_2 = (191.715 \angle - 3.33 \text{ A}) * (0.92 \angle 68.63) = 176.378 \angle 65.3 \text{ V}$$

$$V_2^{(3)} = V - \Delta V_5^{(2)} - \Delta V_2^{(3)} = 17609 - 861.656 \angle 81.4 - 176.378 \angle 65.3 = 17435.855 \angle - 3.33 \text{ V}$$

$$|V_2^{(2)} - V_2^{(3)}| = |(17458.361 \angle - 3.33) - 17435.855 \angle - 3.33| = |22.506 \angle - 3.33|$$

22.506 < ε

$$Z_5^{(3)} = \frac{(V_3^{(2)})^2}{S_5} = \frac{(17.416733)^2}{7.592} = 39.960 \Omega$$

$$I_3^{(3)} = \frac{V_3^{(2)}}{Z_5} = \frac{17416.733 \angle - 3.35}{39.960} = 439.816 \angle - 3.35 \text{ A}$$

$$Z_4 = 0.1885 + j0.4175 = 0.458 \angle 65.70 \Omega$$

$$\Delta V_3^{(3)} = I_3 * Z_4 = (439.816 \angle - 3.35) * (0.458 \angle 65.70) = 201.436 \angle 62.35 \text{ V}$$

$$V_3^{(3)} = V - \Delta V_5^{(2)} - \Delta V_3^{(3)} = 17609 - 861.656 \angle 78.9 - 201.436 \angle 62.35 = 17379.823 \angle - 3.35 \text{ V}$$

$$|V_3^{(2)} - V_3^{(3)}| = |(17416.733 \angle - 3.35) - (17369.40 \angle - 3.37)| = |47.72 \angle 70.0|$$

47.72 > ε iterasyon devam eder.

$$Z_7^{(3)} = \frac{(V_4^{(2)})^2}{S_7} = \frac{17.515^2}{0.410} = 748.27 \Omega$$

$$I_4^{(3)} = \frac{V_4^{(2)}}{Z_7} = \frac{17515.493 \angle - 2.82}{748.27} = 23.407 \angle - 2.82 \text{ A}$$

$$Z_6 = 0.1885 + j0.4175 = 0.458 \angle 65.70$$

$$\Delta V_4^{(3)} = I_4 * Z_6 = (23.407 \angle - 2.82) * (0.458 \angle 65.70) = 10.72 \angle 62.88 \text{ V}$$

$$V_4^{(3)} = V - \Delta V_5^{(2)} - \Delta V_4^{(3)} = 17609 - 861.656 \angle 81.4 - 10.72 \angle 62.88 = 17496.488 \angle - 2.82 \text{ V}$$

$$|V_4^{(2)} - V_4^{(3)}| = |(17515.493 \angle - 2.82) - (17496.488 \angle - 2.82)| = |19.005 \angle - 2.82|$$

$$19.005 < \varepsilon$$

$$I_5^{(3)} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$= 57.14 \angle - 2.79 + (191.715 \angle - 3.33) + (439.816 \angle - 3.35) + (23.407 \angle - 2.82)$$

$$= 712.075 \angle - 3.28 \text{ A}$$

$$\Delta V_5^{(3)} = I_5 * Z_{11} = (712.075 \angle - 3.28) * (j1.2298) = 875.709 \angle 79.72 \text{ V}$$

$$V_5^{(3)} = V - \Delta V_5^{(3)} = 17609 - (875.709 \angle 79.72) = 17473.979 \angle - 2.83 \text{ V}$$

$$|V_5^{(2)} - V_5^{(3)}| = |(17500.901 \angle - 2.79) - (17473.979 \angle - 2.83)| = |29.561 \angle 21.58|$$

$$29.561 < \varepsilon.$$

$$V_6^{(3)} = V_8^{(3)}$$

$$Z_8^{(3)} = \frac{(V_6^{(2)})^2}{S_8} = \frac{(17.402691)^2}{12.585} = 24.064 \Omega$$

$$I_6^{(3)} = \frac{V_6^{(2)}}{Z_8} = \frac{17402.691 \angle - 3.26}{24.064} = 723.184 \angle - 3.26$$

$$Z_{10}^{(3)} = \frac{(V_7^{(2)})^2}{S_{10}} = \frac{(17.411037)^2}{1.991} = 152.257 \Omega$$

$$I_7^{(3)} = \frac{V_7^{(2)}}{Z_{10}} = \frac{17411.037 \angle - 3.58}{152.257} = 114.353 \angle - 3.58 \text{ A}$$

$$Z_7 = 0.33525 + j0.85675 = 0.92 \angle 68.63 \Omega$$

$$\Delta V_7^{(3)} = I_7 * Z_7 = (114.353 \angle - 3.58) * (0.92 \angle 68.63) = 105.204 \angle 65.04 \text{ V}$$

$$V_7^{(3)} = V - \Delta V_8^{(2)} - \Delta V_7^{(3)} = 17609 - (1019.952 \angle 76.7) - 105.204 \angle 65.04 = 17364.084 \angle - 3.59 \text{ V}$$

$$|V_7^{(2)} - V_7^{(3)}| = |(17411.037 \angle - 3.58) - (17364.084 \angle - 3.59)|$$

47.050 > ε iterasyon devam eder.

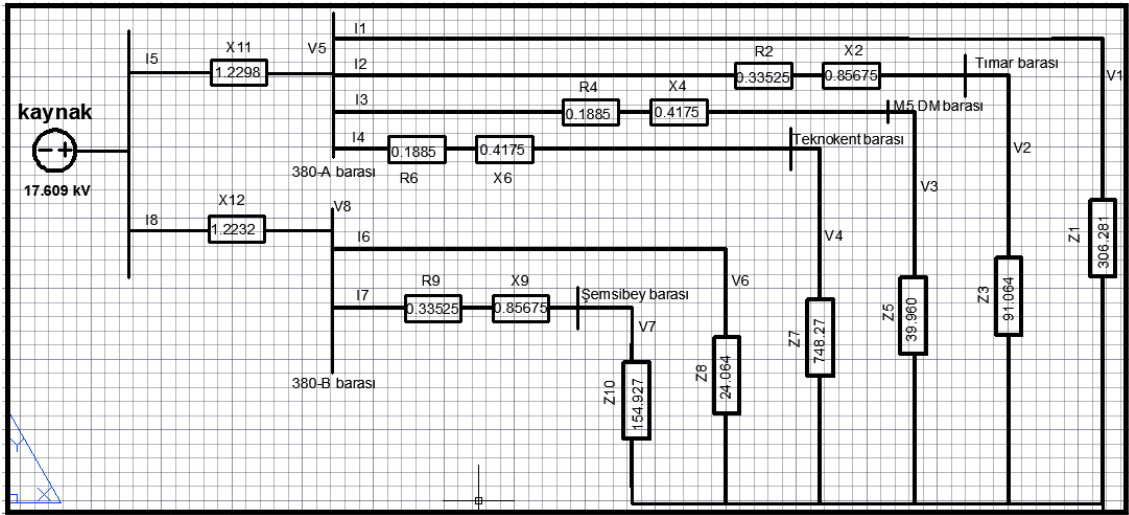
$$I_8^{(3)} = I_6 + I_7 = 723.184 \angle - 3.26 + 114.353 \angle - 3.58 = 837.535 \angle - 3.30 \text{ A}$$

$$\Delta V_8^{(3)} = I_8 * Z_{12} = (837.535 \angle - 3.30) * (j1.2232) = 1024.473 \angle 76.7 \text{ V}$$

$$V_8^{(3)} = V - \Delta V_8^{(3)} = 17609 - 1024.473 \angle 76.7 = 17401.904 \angle - 3.28 \text{ V}$$

$$|V_8^{(2)} - V_8^{(3)}| = |(17402.691 \angle - 3.26) - (17401.904 \angle - 3.28)| = |6.125 \angle 79.3|$$

$$6.125 < \varepsilon$$



Şekil 3. 11. Üçüncü iterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.

4. iterasyon

$$V_1^{(3)} = V_5^{(3)} = 17473.979 \angle - 2.83 \text{ V}$$

$$V_2^{(3)} = 17435.855 \angle - 3.33 \text{ V}$$

$$V_3^{(3)} = 17379.823 \angle - 3.35 \text{ V}$$

$$V_4^{(3)} = 17496.488 \angle - 2.82 \text{ V}$$

$$V_6^{(3)} = V_8^{(3)} = 17401.904 \angle - 3.28 \text{ V}$$

$$V_7^{(3)} = 17364.084 \angle - 3.59 \text{ V}$$

$$\Delta V_5^{(3)} = 875.709 \angle 79.72 \text{ V}$$

$$\Delta V_8^{(3)} = 1024.473 \angle 76.7 \text{ V}$$

$$S_1 = P_1 = 3 \text{ MW} = \frac{3 \text{ MW}}{3} = 1 \text{ MW}$$

$$S_3 = P_3 + jQ_3 = 10.03 + j0.477 = \frac{10.03 + j0.477}{3} = 3.347 \angle 2.73 \text{ MVA}$$

$$S_5 = P_5 + jQ_5 = 22.39 + j4.18 = \frac{22.39 + j4.18}{3} = 7.592 \angle 10.57 \text{ MVA}$$

$$S_7 = P_7 + jQ_7 = 1.231 + j0.062 = \frac{1.231 + j0.062}{3} = 0.410 \angle 2.88 \text{ MVA}$$

$$S_8 = P_8 + jQ_8 = 37 + j7.514 = \frac{37 + j7.514}{3} = 12.5851 \angle 11.48 \text{ MVA}$$

$$S_{10} = P_{10} + jQ_{10} = 5.95 + j0.524 = \frac{5.95 + j0.524}{3} = 1.991 \angle 5.03 \text{ MVA}$$

$$Z_1^{(4)} = R_1^{(4)} = \frac{(V_1^{(3)})^2}{S_1} = \frac{(17.473979)^2}{1} = 305.340 \Omega$$

$$I_1^{(4)} = \frac{V_1^{(3)}}{Z_1} = \frac{17473.979 \angle -2.83}{305.340} = 57.227 \angle -2.83 \text{ A}$$

$$Z_3^{(4)} = \frac{(V_2^{(3)})^2}{S_3} = \frac{(17.435855)^2}{3.347} = 90.83 \Omega$$

$$I_2^{(4)} = \frac{V_2^{(3)}}{Z_3} = \frac{17435.855 \angle -3.33}{90.83} = 191.96 \angle -3.33 \text{ A}$$

$$Z_2 = 0.33525 + j0.85675 = 0.92 \angle 68.63 \Omega$$

$$\Delta V_2^{(4)} = I_2 * Z_2 = (191.96 \angle -3.33) * (0.92 \angle 68.63) = 176.603 \angle 65.3 \text{ V}$$

$$V_2^{(4)} = V - \Delta V_5^{(3)} - \Delta V_2^{(4)} = 17609 - (875.709 \angle 79.72) - (176.603 \angle 65.3) = 17408.955 \angle -3.36 \text{ V}$$

$$|V_2^{(3)} - V_2^{(4)}| = |(17435.855 \angle -3.33) - (17408.955 \angle -3.36)| = |28.41 \angle 15.38|$$

28.41 < ε iterasyon durur.

$$Z_5^{(4)} = \frac{(V_3^{(3)})^2}{S_5} = \frac{(17.379823)^2}{7.592} = 39.786 \Omega$$

$$I_3^{(4)} = \frac{V_3^{(3)}}{Z_5} = \frac{17379.823 \angle -3.35}{39.786} = 436.833 \angle -3.35 \text{ A}$$

$$Z_4 = 0.1885 + j0.4175 = 0.458 \angle 65.70 \Omega$$

$$\Delta V_3^{(4)} = I_3 * Z_4 = (436.833 \angle -3.35) * (0.458 \angle 65.70) = 200.07 \angle 62.35 \text{ V}$$

$$V_3^{(4)} = V - \Delta V_5^{(3)} - \Delta V_3^{(4)} = 17609 - 875.709 \angle 79.72 - 200.07 \angle 62.35 = 17390.933 \angle -3.4 \text{ V}$$

$$|V_3^{(2)} - V_3^{(3)}| = |(17379.823 \angle - 3.35) - (17390.933 \angle - 3.4)| = |21.32 \angle 118.0|$$

21.32 < ε iterasyon durur.

$$Z_7^{(4)} = \frac{(V_4^{(3)})^2}{S_7} = \frac{(17.496488)^2}{0.410} = 746.651 \Omega$$

$$I_4^{(4)} = \frac{V_4^{(3)}}{Z_7} = \frac{17496.488 \angle - 2.82}{746.651} = 23.433 \angle - 2.82 \text{ A}$$

$$Z_6 = 0.1885 + j0.4175 = 0.458 \angle 65.70$$

$$\Delta V_4^{(4)} = I_4 * Z_6 = (23.433 \angle - 2.82) * (0.458 \angle 65.70) = 10.732 \angle 62.88 \text{ V}$$

$$V_4^{(4)} = V - \Delta V_5^{(3)} - \Delta V_4^{(4)} = 17609 - 875.709 \angle 79.72 - 10.732 \angle 62.88 = 17469.567 \angle - 2.85 \text{ V}$$

$$|V_4^{(3)} - V_4^{(4)}| = |(17496.488 \angle - 2.82) - (17469.567 \angle - 2.85)| = |28.434 \angle - 21.6|$$

28.434 < ε iterasyon durur.

$$I_5^{(4)} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$57.227 \angle - 2.83 + 191.96 \angle - 3.33 + 436.833 \angle - 3.35 + 23.433 \angle - 2.82$$

$$709.450 \angle - 3.29 \text{ A}$$

$$\Delta V_5^{(4)} = I_5 * Z_{11} = (709.450 \angle - 3.29) * (j1.2298) = 872.482 \angle 79.51 \text{ V}$$

$$V_5^{(4)} = V - \Delta V_5^{(4)} = 17609 - (872.482 \angle 78.71) = 17471.228 \angle - 2.81 \text{ V}$$

$$|V_5^{(3)} - V_5^{(4)}| = |(17473.979 \angle - 2.83) - (17471.228 \angle - 2.81)| = |6.69 \angle - 68.5|$$

6.69 < ε iterasyon durur.

$$Z_8^{(4)} = \frac{(V_6^{(3)})^2}{S_8} = \frac{(17.401904)^2}{12.5851} = 24.062 \Omega$$

$$I_6^{(4)} = \frac{V_6^{(3)}}{Z_8} = \frac{17401.904 \angle - 3.28}{24.062} = 723.211 \angle - 3.28 \text{ A}$$

$$V_6^{(4)} = V_8^{(4)}$$

$$Z_{10}^{(4)} = \frac{(V_7^{(3)})^2}{S_{10}} = \frac{(17.364084)^2}{1.991} = 151.437 \Omega$$

$$I_7^{(4)} = \frac{V_7^{(3)}}{Z_{10}} = \frac{17364.084 \angle -3.59}{151.437} = 114.662 \angle -3.59 \text{ A}$$

$$Z_7 = 0.33525 + j0.85675 = 0.92 \angle 68.63 \Omega$$

$$\Delta V_7^{(4)} = I_7 * Z_7 = (114.662 \angle -3.59) * (0.92 \angle 68.63) = 105.489 \angle 65.04 \text{ V}$$

$$V_7^{(4)} = V - \Delta V_8^{(3)} - \Delta V_7^{(4)} = 17609 - (1024.473 \angle 76.7) - (105.489 \angle 65.04) = 17363.218 \angle -3.61 \text{ V}$$

$$|V_7^{(2)} - V_7^{(3)}| = (17401.904 \angle -3.28) - (17363.218 \angle -3.61) = 38 \angle -3.61$$

$38 < \varepsilon$ iterasyon durur.

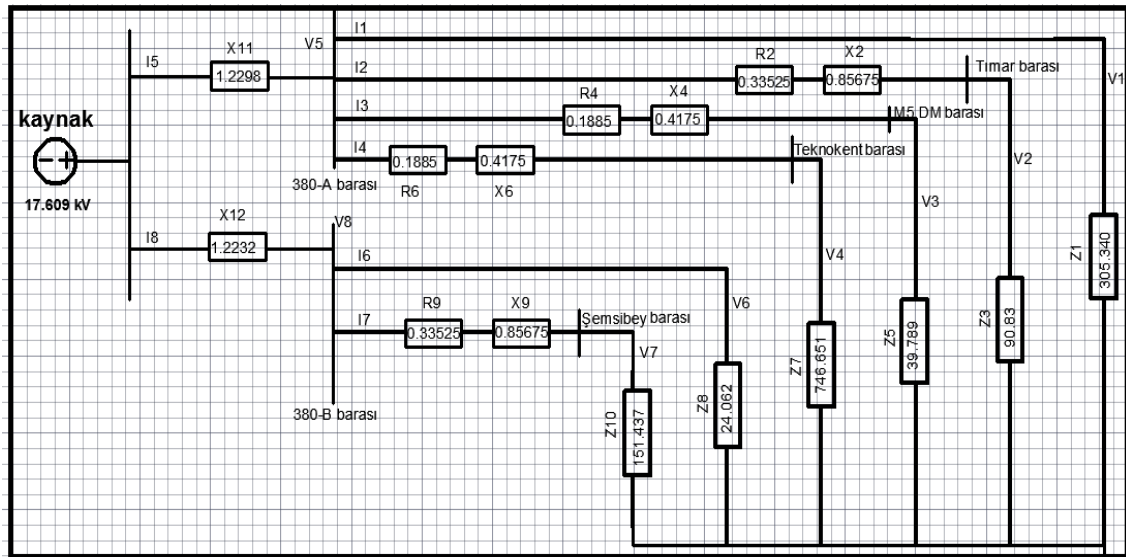
$$I_8^{(4)} = I_6 + I_7 = 723.211 \angle -3.28 + 114.662 \angle -3.59 = 835.414 \angle -13.32 \text{ A}$$

$$\Delta V_8^{(4)} = I_8 * Z_{12} = (835.414 \angle -13.32) * (j1.2232) = 1021.878 \angle 76.13 \text{ V}$$

$$V_8^{(4)} = V - \Delta V_8^{(4)} = 17609 - 1021.878 \angle 76.13 = 17392.353 \angle -3.27 \text{ V}$$

$$|V_8^{(3)} - V_8^{(4)}| = 17401.904 \angle -3.28 - 17392.353 \angle -3.27 = 10.022 \angle -20.91$$

$10.022 < \varepsilon$ iterasyon durur.



Şekil 3. 12. Dördüncü iterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.

3.2.2. Yük akış analizi

Enerji dağıtım sistemleri, genellikle dengeli üç fazlı sistemler olarak ele alınır ve iletim hatları pozitif dizi ile gösterilir. Bu diziyi temsil eden elemanlar, yük akışında kullanılmak amacıyla, doğrudan bara admitans matrisini oluşturmada kullanılırlar. İletim hatlarının dışında, baralara bağlı jeneratörler ve yükler de sisteme akım enjekte eden elemanlar olarak ele alınırlar. Burada esas, akan akım yönün sisteme doğru pozitif alınmasıdır. İletim hatları ve hatların şönt kapasiteleri, kullanılan bara admitans matrisinin temel elemanlardır. Ancak, özellikle uzun hatlarda işletim zorunlulukları nedeniyle seri ve şönt kompanzasyon yapılması halinde, bu elemanların admitanslarının da bara admitans matrisine katılması gerekir. Bunun dışında, yük akışının kullanım amacına göre baralara bağlı diğer elemanlar da (örneğin yükler) bu matrise katılabilirler (Yalçın, 2013).

Çizelge 3. 6. Bara tipleri (Yalçın, 2013)

Bara Tipi	Kontrol değişkenleri (Bilinenler)	Durum değişkenleri (İstenenler)	Bara sayısı
P-Q Barası	P_y, Q_y	$ V_y , \delta_y$	pq
P-V Barası	$P_{\bar{u}}, V_{\bar{u}} , Q_{min}, Q_{max}$	$Q_{\bar{u}}, \delta_{\bar{u}}$	pv
Salınım Barası	$ V_{\bar{u}} , \delta_{\bar{u}}$	$P_{\bar{u}}, Q_{\bar{u}}$	1
Toplam Bara Sayısı			pq+pv+1=N

Yük akışındaki baralar; yük baraları, üretim baraları ve salınım barası olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır.

Yük Baraları (P-Q bara)

Bu baralarda, sistemden çekilen aktif ve reaktif güçler (P_y, Q_y) belli olup, gerilimlerin genlikleri ve yük açıları (V_y, δ_y) hesaplanır (Yalçın, 2013).

Üretim baraları (P-V bara)

Bu tip baralarda ise üretilen aktif güç ve bara geriliminin genliği ($P_{\bar{u}}, V_{\bar{u}}$) bellidir. Reaktif güç üretiminde ise kısıtlamalar vardır. Üretim, minimum ve maksimum sınırlar $Q_{\min} < Q_{\min} < Q_{\min}$ arasında iken bara gerilimin genliği sabit bir değerde tutulur. Reaktif güç üretimi çeşitli zorunluklar nedeniyle bu limitlerin dışına çıktığı zaman, bu güç, $Q_{\bar{u}} = Q_{\max}$ veya $Q_{\bar{u}} = Q_{\min}$ olarak sabit bir üretim olarak ele alınır ve bu bara, bir yük barasına dönüştürülür. Bu durumda bara gerilimi de değişecektir. Bu durum, yapılan bu çalışma açısından gereklidir. Zira baraların kritik değerlerinin hesaplanmasında yüklenmeler her zaman maksimum değerlere çıkacağından, jeneratörlerin reaktif güç sınırlarına ulaşması daima olasıdır. Yük akışı analizi yapılırken reaktif güç sınırlarına ulaşıldığında P-V bara P-Q baraya dönüştüğü gibi işlemler sırasında reaktif güç sınırlarının altına inilirse ilgili baranın tekrar P-V baraya dönüşmesi gereklidir (Yalçın, 2013).

Salınım Barası

İletim sisteminde, hat kayıplarının önceden bilenememesi nedeniyle, yük akışı sonunda belirlenen bu kayıplar, genellikle bir üretim barasının güçlerine eklenir. Dolayısı ile bu baranın sadece bara gerilimi ve açısı belli ve sabittir. Sistemin çeşitli yük ve üretim durumları için, bu baradan sisteme gönderilen güçler farklı olacaktır. Bunun nedeni de, yukarıda açıklandığı gibi bu baranın güçlerinin yük akışı sonunda belirlenmesidir (Yalçın, 2013).

3.2.3. Power world programı, eklenti araçları ve diğer tanımlar

Simülasyon programı, güç sistemini görsel ve grafiksel olarak kullanıcıya sunan, yüksek voltajlı güç sisteminin çalışmasını simüle eden bir pakettir. Simülasyon, birkaç entegre üründen oluşur. 100.000 veriye kadar sistemleri etkin bir şekilde çözebilen bir güç akış çözüm motorudur. Diğer güç akış paketlerinin aksine, sistemi yakınlaştırma ve kaydırma özelliğine sahiptir. Program tam renkli animasyonlu oneline diyagramlarını

kullanır ve görselleştirir. Sistem modelleri, anında değiştirilebilir veya sıfırdan oluşturulabilir. Grafik ve animasyon kullanımı, sistemdeki problemlerin nasıl düzeltileceği hakkında büyük fayda sağlar. Temel pakette entegre ekonomik sevkiyat, alan işlem ekonomik analizi, güç aktarım dağıtım faktörü hesaplaması, kısa devre analizi ve beklenmedik durum analizi için gerekli tüm araçlar bulunur. Temel paketinin özelliklerine ek olarak, çeşitli eklenti araçları da mevcuttur(Anonim, 2009). Bu programdaki eklenti araçları aşağıda belirtilmiştir.

Gerilim yeterliliği ve kararlılık aracı, bir sistemdeki voltaj kararlılık özelliklerinin kullanıcı tarafından analiz edilmesini sağlar. Simülatör, bir Newton-Raphson güç akışı algoritması kullanarak güç akışı denklemlerini çözer. PVQV eklentisinin amacı, gerçek bir güç aktarımı arttıkça veya seçilen veri yollarına reaktif güç enjekte edildikçe, sistem voltajlarını veya diğer kullanıcı tarafından belirlenen parametreleri izlemektir. PVQV işlevine, PV ve QV Eğrileri ana menü öğesi kullanılarak erişilir. Bu menüdeki komutlar, Refine Model, PV Curves ve QV Curvestir (Anonim, 2009).

Optimal güç akışı aracı, güç dengesi kısıtlarını ve çeşitli çalışma sınırlarını modellemek için kullanılan eşitlik ve eşitsizlik ilkelerine göre farklı sistem kontrollerini değiştirerek maliyet işlevini en aza indirmektir. Doğrusal Programlama OPF algoritması, standart bir güç akışını çözmek ve sistem kontrollerini değiştirmek için lineer bir çözüm yapar. Böylece sınır ihlallerini ortadan kaldırmak arasında en uygun çözümü belirler. Tüm OPF komutlarına ve seçeneklerine LP OPF ana menü öğesi kullanılarak erişilir (Anonim, 2009).

Güvenlik kısıtlı optimal güç akışı aracı, sistemin çalışması sırasında ortaya çıkabilecek durumları göz önüne alır ve yönetilemez bir acil durum ihlalin oluşmamasını sağlar. Bununla birlikte, bir güç sisteminin güvenli bir şekilde işletilmesi de sağlanmış olur (Anonim, 2009).

Optimal güç akışı rezervleri, yan hizmetler yedek piyasalarını simüle etmek için kullanılan bir araçtır. Güç sistemleri normal çalışma sırasında, beklenmedik olaylarda yükün kopması veya stabilite kaybını önlemek için yeterli seviyede rezerv ile çalışmalıdır. Rezerv, sistemin ve elektrik piyasasının başarılı bir şekilde işletilmesi için

ihtiyaç duyulan yardımcı bir hizmettir. Rezervler Piyasasında jeneratörler ve yükler, talep edilme kabiliyetini hızlı bir şekilde satma teklifinde bulunurlar (Anonim, 2009).

Mevcut aktarım kabiliyeti analizi, bir güç sisteminin iki parçası arasında belirtilen herhangi bir sınırı ihlal etmeden mümkün olan maksimum artımlı MW aktarımını belirler. Bu aktarım, sistemdeki iki alan arasındadır. Ancak belirli sistem cihaz gruplarına göre özelleştirilebilir (Anonim, 2009).

Topoloji işleme, topoloji modellerini sayısal olarak şeffaf bir şekilde çözümlenize olanak sağlayan bir simülatör eklentisidir. Planlamacılar tarafından kullanılan simülatör uygulamaları, genişletilerek işlemlerin gerçek zamanlı bir ortamda çalışmasını sağlar.

Güç akışı, beklenmedik durum analizi ve hassasiyet hesaplamaları ile birlikte OPF, SCOPF, Geçici Stabilité, ATC ve PVQV eklentilerine tamamen entegredir (Anonim, 2009).

Geçici kararlılık analizi, sistemdeki bir hataya sistem dinamik yanıtının analizini sağlar. Sistemin bozulmasını izleyen ilk birkaç saniyede, üretim kaybı, hat değiştirme işlemleri, arızalar ve ani yük değişimleri gibi durumları analiz eder. Geçici Kararlılık Analizi iletişim kutusu, tüm seçeneklere ve sonuçlara erişim sağlar ve analizi kontrol eder. Stabilité durum bilgisi menüsü, stabilité modellerine erişim sağlar ve modellerin içe aktarılmasını ve kaydedilmesini yapar (Anonim, 2009).

İndirici merkez, enterkonnekte şebekeden alınan enerjiyi daha küçük seviyeli iletim şebekelerine dönüştüren transformatör merkezleridir (Anonim, 2007).

Fider, kaynak tesislerinden çıkan ve üzerlerine bağlanmış belirli sayıda ve belirli toplam güçte dağıtım trafolarını besleyen yeterli akım veya güç taşıma kapasitesinde, belirli koruma cihaz ve sistemleriyle korunan hava hattı veya yeraltı kablosu şeklinde yüksek gerilim devrelerdir. Fider ifadesi sadece yüksek gerilim şebekesi için kullanılır (Anonim, 2007).

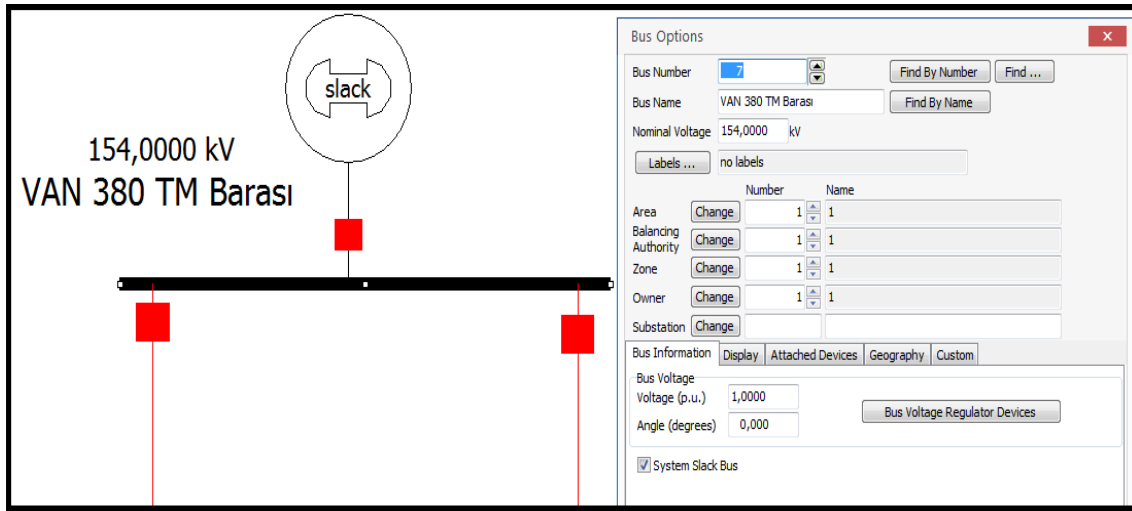
Dağıtım merkezi, bir iletim hattı gibi görev yapan YG hattının sonunda, fider çoğaltmak, hat ayırma, kumanda, koruma ve ölçme yapmak amacıyla kurulmuş şalt tesisidir. Ölçü merkezi, ayırma merkezi, kesici ölçü kabini olarak da anılmaktadır (Anonim, 2007).

Dağıtım şebekesi, iletilerek tüketilecek bölgeye taşınmış olan enerjiyi, tüketiciye kadar götüren şebekedir (Anonim, 2007).

3.2.4. Sistemin power world programında çizimi ve çalıştırılması

3.2.4.1. Baraların çizimi

Bu tez çalışmasında Van 380 TM, Van 380-A, Van 380-B, teknokent, M5 DM, tımar, şemsibey olmak üzere 7 adet bara çizilmiştir.



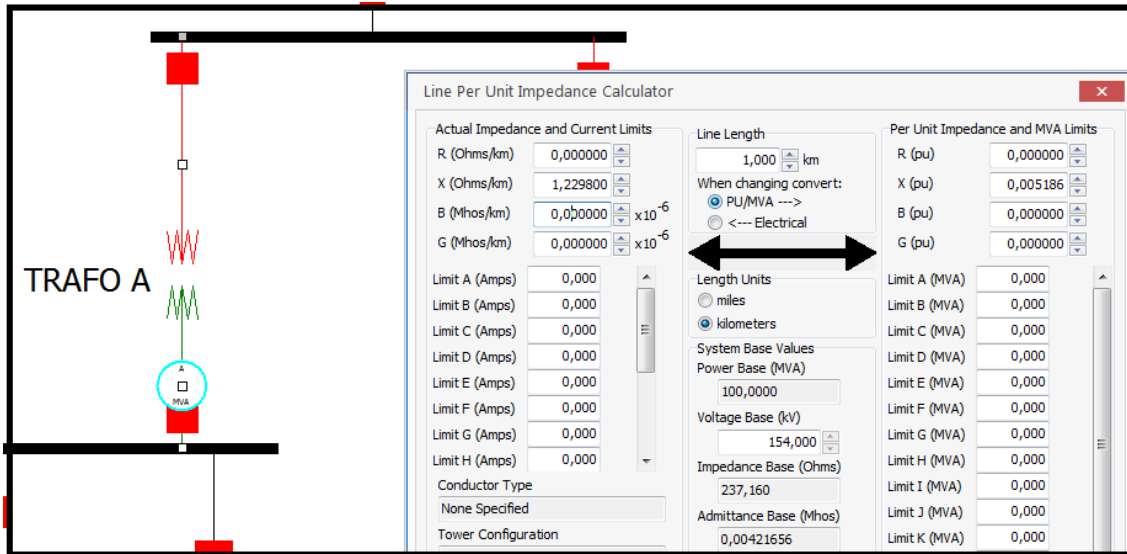
Şekil 3. 13. Baraların simülasyon programında çizilmesi.

Programda bulunan bara simgesi seçildikten sonra yukarıdaki menü ekrana gelir (Şekil 3.13). Bu menüdeki bara numarası, bara ismi ve nominal gerilim kullanıcı tarafından girilir. Eğer sistemdeki bara referans barası ise system slack bus kutucuğu mutlaka işaretlenmelidir. Çünkü referans baralarda gerilim değeri 1 (p.u.), gerilim açısı ise 0 derece olarak alınır.

Bu menüde bulunan display sekmesindeki right, up, down ve left kutucukları baranın çizim esnasındaki yönünü, size ise baranın ölçüsünü ifade eder. Kullanıcı bu menüdeki bütün verileri girdikten sonra ok ve save botunlarına basar ve çizmiş olduğu barayı kaydeder.

3.2.4.2. Trafoların çizimi

Bu tez çalışmasında trafo-A ve trafo-B olmak üzere 2 adet trafo çizilmiştir. Programda bulunan trafo simgesi seçildikten sonra aşağıdaki menü ekrana gelir (Şekil 3.14). Bu menüde bulunan direnç, reaktans ve limit akımının gerçek değerleri kullanıcı tarafından girilir. Program, bu verilerin baz ve per unit değerlerini kendisi hesaplar.



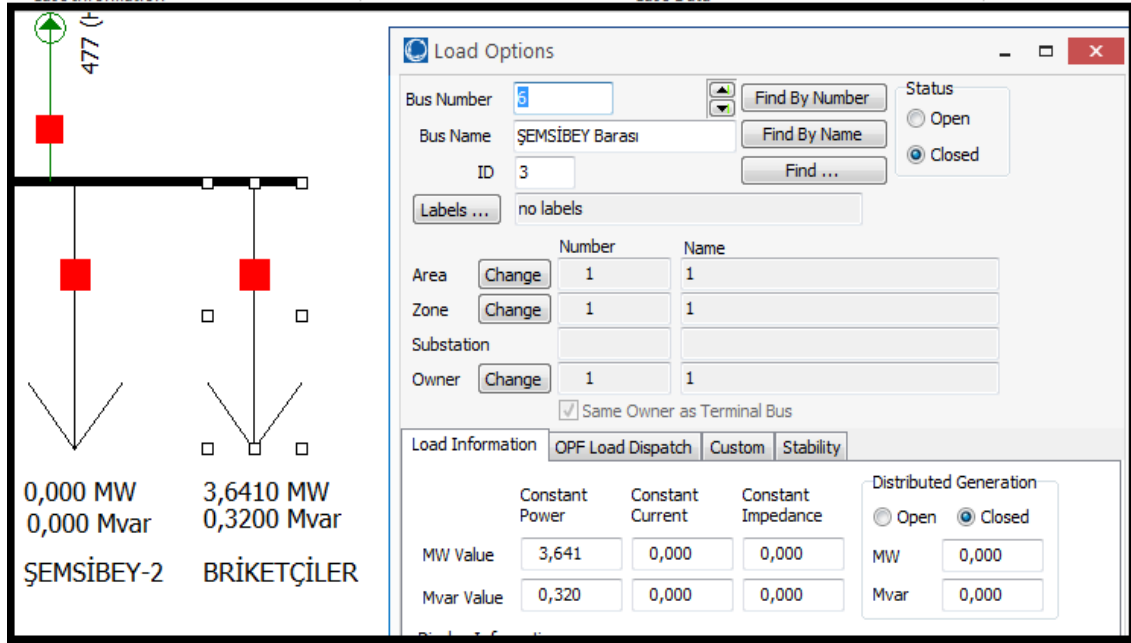
Şekil 3. 14. Trafoların simülasyon programında çizilmesi.

Bu menüde display, parametre, trafo kontrol, bölge ve kararlılık sekmeleri bulunmaktadır. Kullanıcı bu menülerdeki bütün verileri girdikten sonra ok ve save botunlarına basar ve çizmiş olduğu trafoyu kaydeder.

Örneğin daha önce hesaplanmış olan trafonun gerçek reaktans değeri 1.2298 Ohm programa girilmiştir.

3.2.4.3. Yüklerin çizimi

Bu tez çalışmasında M8 dağıtım merkezindeki 9 adet çıkışın yük durumu çizilmiştir. Programda bulunan yük simgesi seçildiğinde aşağıdaki menü ekrana gelir (Şekil 3.15).



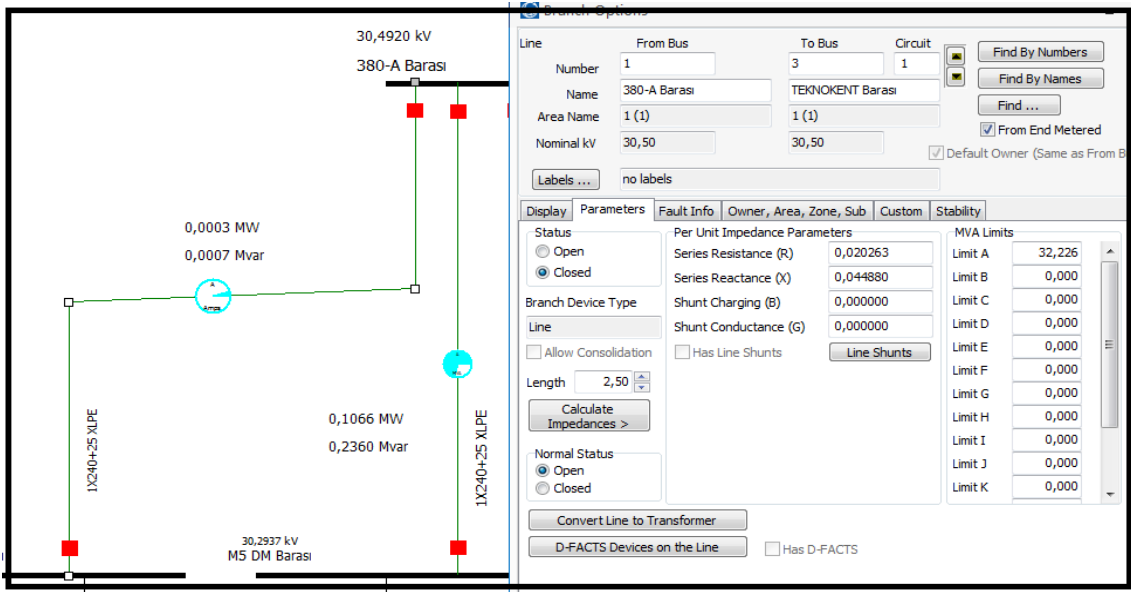
Şekil 3. 15. Yüklerin simülasyon programında çizilmesi

Bu menüde yük bilgisi, OPF ve kararlılık sekmeleri bulunmaktadır. Kullanıcı bu menülerdeki bütün verileri girdikten sonra ok ve save botunlarına basar ve çizmiş olduğu yükü kaydeder

Örneğin briketçiler çıkışının gerçek aktif yük durumu 3.641 MW, gerçek reaktif yük durumu 0.32 Mvar olarak 15.01.2018 tarihinde ölçülmüştür-(Bkz.Çizelge3. 1). Ölçülen bu veriler yukarıdaki menüye girilmiştir.

3.2.4.4. İletim hatlarının çizimi

Bu tez çalışmasında Van M8 dağıtım merkezi ile Van 380 trafo merkezi arasında F-3, F-2, F-13 ve F-8 olmak üzere 4 adet iletim hattı çizilmiştir. Programda bulunan AC hat seçildikten sonra mouse yardımıyla baralar birleştirilir. Birleştirme işleminden sonra ise hat üzerine tıklandığında aşağıdaki menü ekrana gelir (Şekil 3.16).



Şekil 3. 16. İletim hatlarının simülasyon programında çizilmesi.

F-3 ve F-2 hatlarındaki enerji 1x240+25 bakır xlpe kablo ile taşınırken, F-13 ve F-8 hatlarındaki enerji ise 477 MCM iletken ile taşınmaktadır-(Bkz. Şekil2. 3).

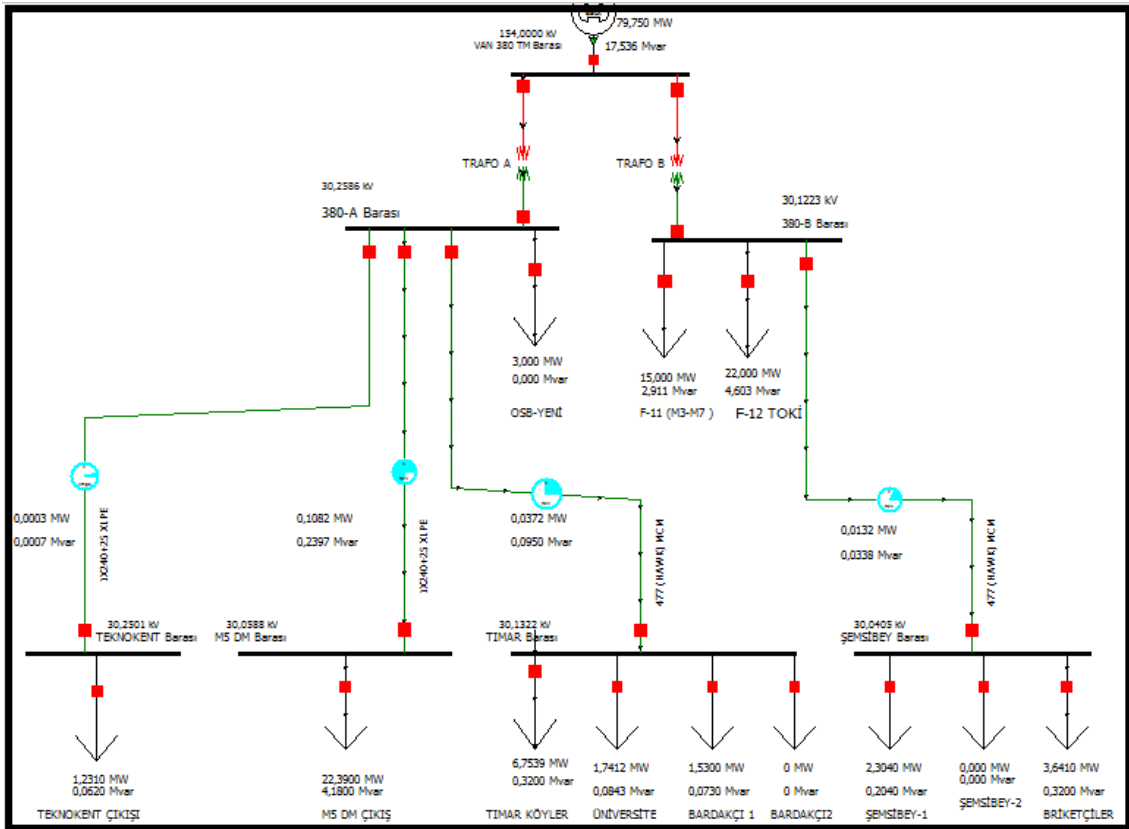
Bu menüdeki bara numarası, bara ismi, nominal gerilim, iletkenlerin direnç ve reaktans değerleri kullanıcı tarafından girilmiştir. Örneğin 1x240+25 bakır xlpe kablonun empedans değeri “Eş.3.2” örneğindeki denklemden alınarak programa girilmiştir.

Hatlardaki direnç, reaktans değerlerin per-unit ve baz empedansı program tarafından otomatik hesaplanmaktadır.

3.2.4.5. Programın çalıştırılması

Power world simülasyon programında gerekli veri analizleri için çözüm sekmesi bulunmaktadır. Çözüm sekmesinde single solution (Full Newton), polar NR ve Gauss Seidel gibi seçenekler mevcuttur. Çizilen sistem single solution durumunda çalıştırıldığında enerji akışı meydana gelir (Şekil 3.17).

Enerji akışı meydana gelirken baralarda, trafolarda ve hatlarda gerilim ve açı değişmektedir. Örneğin 380-A barasındaki 30.2586 kV, teknokent barasına ulaştığında 30.2501 kV'a düşmektedir.



Şekil 3. 17. Sistemin Full Newton'a göre çalıştırılması.



4. BULGULAR

4.1. Newton Raphson Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar

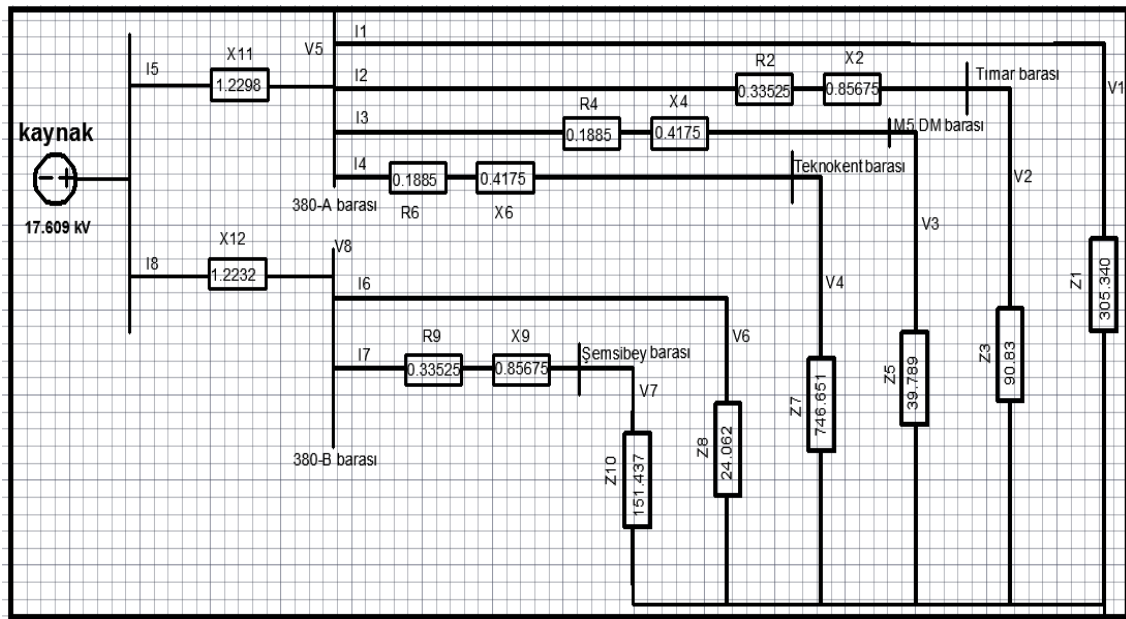
Bu tez çalışmasında 7 adet bara, 12 adet yük, 4 adet iletim hattı ve 2 adet indirici merkez trafosu içeren Van M8 dağıtım merkezinin eşdeğer empedans diyagramı üzerinde yük akışı analizi denklemleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu denklemler, Newton Raphson yöntemi ile çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır (Çizelge 4. 1).

Çizelge 4. 1. Newton Raphson yöntemi ile elde edilen veriler

	1. İterasyon	2. İterasyon	3. İterasyon	4. İterasyon
V₁	17519.890∠-2.79 V	17500.901∠-2.79 V	17473.979∠-2.83 V	17471.228∠-2.81 V
V₂	17538.238∠-0.52 V	17458.361 ∠-3.33 V	17435.855 ∠-3.33 V	17408.955 ∠-3.36 V
V₃	17496.858∠-0.53 V	17416.733∠-3.35 V	17369.40 ∠-3.35 V	17390.933 ∠-3.4 V
V₄	17604.132∠-0.03 V	17515.493∠-2.82 V	17496.488∠-2.82 V	17469.567∠-2.85 V
V₅	17519.890∠-2.79 V	17500.901∠-2.79 V	17473.979∠-2.83 V	17471.228∠-2.81 V
V₆	17451.243∠-3.27 V	17402.691∠-3.26 V	17401.904∠-3.28 V	17392.353∠-3.27 V
V₇	17562.996∠-0.30 V	17411.037∠-3.58 V	17364.084 ∠-3.59 V	17363.218 ∠-3.61 V
V₈	17451.243∠-3.27 V	17402.691∠-3.26 V	17401.904∠-3.28 V	17392.353∠-3.27 V
I₁	56.789 A	57.078∠-2.79 A	57.140∠-2.79 A	57.227 ∠-2.83 A
I₂	190.074∠-2.73 A	190.840∠-2.21 A	191.715 ∠-3.33 A	191.96 ∠-3.33 A
I₃	431.139∠-10.57 A	433.907∠-10.04 A	439.816 ∠-3.35 A	437.087 ∠-3.35 A
I₄	23.283∠-2.88 A	23.289∠-2.85 A	23.407∠-2.82 A	23.433∠-2.82 A
I₅	699.449∠-7.34 A	700.647∠-8.6 A	712.075∠-3.28 A	709.450 ∠-3.29 A
I₆	714.709∠-11.48 A	721.156∠-8.21A	723.184 ∠-3.26 A	723.211 ∠-3.28 A
I₇	113.067∠- 5.03 A	113.363∠-4.73 A	114.353 ∠-3.58 A	114.662 ∠-3.59 A
I₈	827.157∠-10.60 A	833.839∠-13.26 A	837.535∠-3.30 A	835.414 ∠-13.32 A
Z₁	310.077 Ω	306.946 Ω	306.281 Ω	305.340 Ω
Z₃	92.643 Ω	91.90 Ω	91.064 Ω	90.83 Ω
Z₅	40.843 Ω	40.324 Ω	39.960 Ω	39786 Ω
Z₇	756.285 Ω	755.867 Ω	748.27 Ω	746.651 Ω
Z₈	24.638 Ω	24.199 Ω	24.064 Ω	24.062 Ω
Z₁₀	155.739 Ω	154.927 Ω	152.257 Ω	151.437 Ω

Elde edilen denklemlerin Newton Raphson yöntemine göre çözümü, 4. iterasyonda sonlandırılmıştır. Yukarıdaki çizelgeye bakıldığında gerilim ve empedans değerlerinin azaldığı, akım değerlerinin ise arttığı görülmüştür.

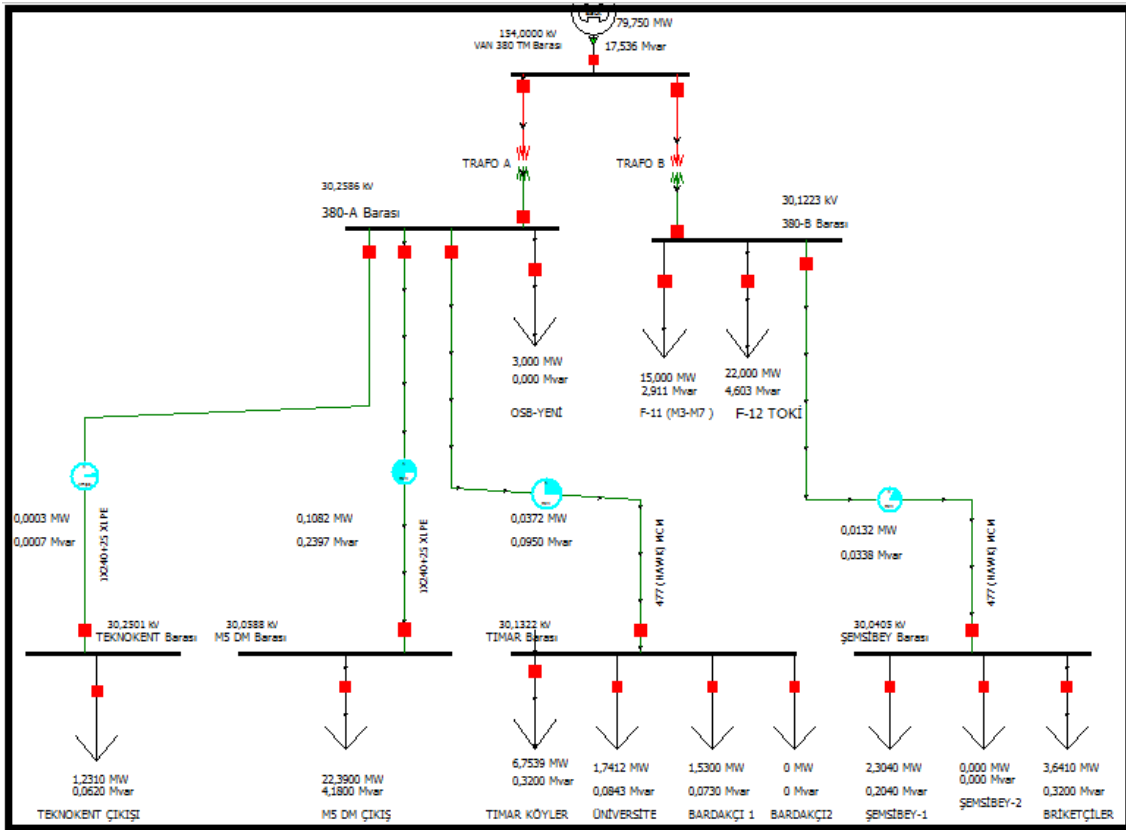
Örneğin Z_1 empedansı 1.iterasyonda 310.077 Ω , 2.iterasyonda 306.946 Ω , 3.iterasyonda 306.281 Ω , 4.iterasyonda 305.340 Ω olarak azalmıştır. I_1 akımı ise 1.iterasyonda 56.789 A, 2.iterasyonda 57.078 A, 3.iterasyonda 57.140 A, 4.iterasyonda 57.227 A olarak artmıştır. 4. İterasyon sonucu oluşan empedans diyagramı aşağıdaki verilmiştir (Şekil 4. 1).



Şekil 4.1. Dördüncü iterasyon sonucu direnç ve reaktans değerleri.

4.2. Power World Programı ile Elde Edilen Sonuçlar

Bu tez çalışmasında 7 adet bara, 12 adet yük, 4 adet iletim hattı ve 2 adet indirici merkez trafosu içeren Van M8 dağıtım merkezi Power world programında çizilmiştir. Power world programında çizilen sistemin yük akışı analizi ve simülasyonu yapılmıştır (Şekil 4. 2).

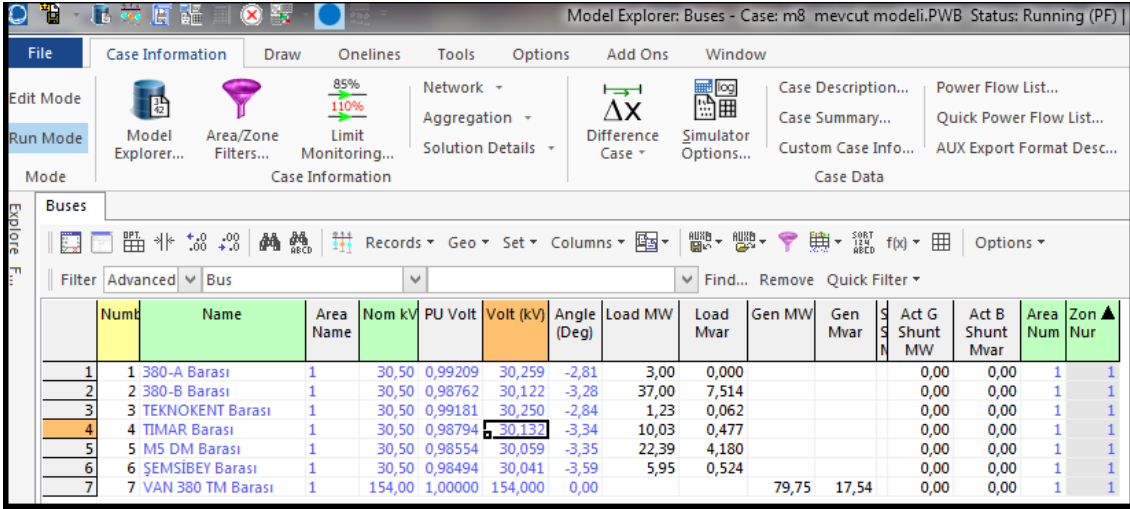


Şekil 4.2. Van M8 dağıtım merkezinin power world programında analizi.

79.750 MW aktif yük ve 17.536 Mvar reaktif yük, Van M8 dağıtım merkezine 2.5 km iletim hatlarıyla iletildiğinde yaklaşık 0.2 MW aktif ve 4,8 Mvar reaktif yükün kaybolduğu tespit edilmiştir. Bu kayıplar incelendiğinde indirici merkezlerde bulunan trafo A' da 1.852 Mvar, trafo B' de ise 2.576 Mvar yük kaybolmaktadır. İletim hatlarında ise 0.2 MW aktif, 0.372 Mvar reaktif yük kaybolmaktadır. İletim hatlarındaki kayıplar yukarıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 4. 2).

4.2.1. Simülasyon sonucu baraların gerilim ve yük durumu

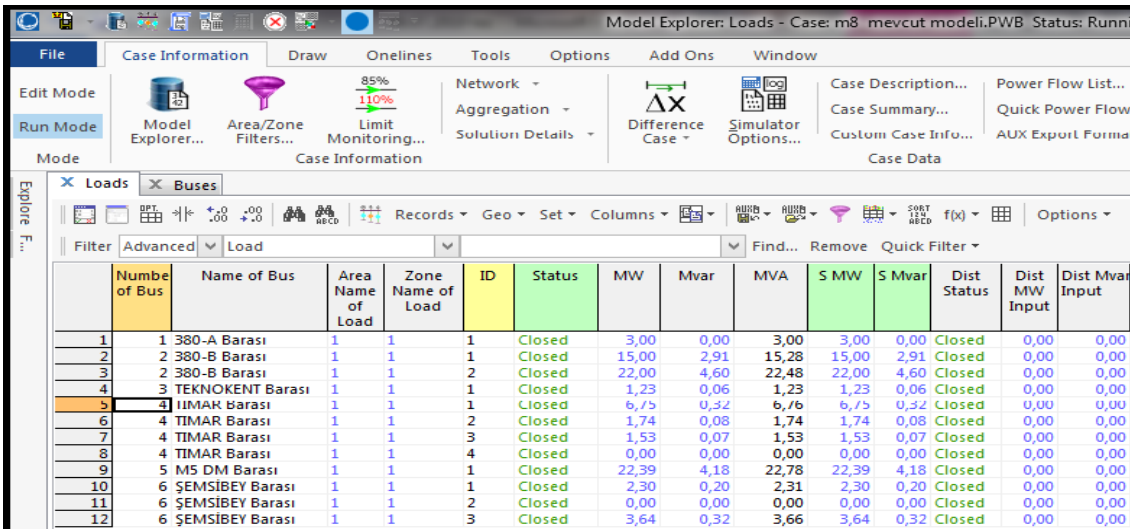
Yük akışı meydana geldiğinde baralardaki gerilimler değişmektedir. Örneğin tınar barasında nominal gerilim 30.5 kV iken yük akışı meydana geldiğinde bu gerilim 30.132 kV olmaktadır. Simülasyon programı, her baranın gerilimini ve açısını otomatik olarak hesaplamaktadır. 7 adet baranın gerilim bilgisi aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 3).



Num	Name	Area Name	Nom kv	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar	Act G Shunt MW	Act B Shunt Mvar	Area Num	Zon Nur
1	380-A Barası	1	30,50	0,99209	30,259	-2,81	3,00	0,000			0,00	0,00	1	1
2	380-B Barası	1	30,50	0,98762	30,122	-3,28	37,00	7,514			0,00	0,00	1	1
3	TEKNOKENT Barası	1	30,50	0,99181	30,250	-2,84	1,23	0,062			0,00	0,00	1	1
4	TINAR Barası	1	30,50	0,98794	30,132	-3,34	10,03	0,477			0,00	0,00	1	1
5	M5 DM Barası	1	30,50	0,98554	30,059	-3,35	22,39	4,180			0,00	0,00	1	1
6	ŞEMSİBEY Barası	1	30,50	0,98494	30,041	-3,59	5,95	0,524			0,00	0,00	1	1
7	VAN 380 TM Barası	1	154,00	1,00000	154,000	0,00			79,75	17,54	0,00	0,00	1	1

Şekil 4.3. Simülasyon programında baraların gerilim durumu.

7 adet baraya bağlı 12 adet yük bilgisi aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 4).



Number of Bus	Name of Bus	Area Name of Load	Zone Name of Load	ID	Status	MW	Mvar	MVA	S MW	S Mvar	Dist Status	Dist MW Input	Dist Mvar Input
1	380-A Barası	1	1	1	Closed	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00	Closed	0,00	0,00
2	380-B Barası	1	1	1	Closed	15,00	2,91	15,28	15,00	2,91	Closed	0,00	0,00
3	380-B Barası	1	1	2	Closed	22,00	4,60	22,48	22,00	4,60	Closed	0,00	0,00
4	TEKNOKENT Barası	1	1	1	Closed	1,23	0,06	1,23	1,23	0,06	Closed	0,00	0,00
5	TINAR Barası	1	1	1	Closed	6,75	0,32	6,76	6,75	0,32	Closed	0,00	0,00
6	TINAR Barası	1	1	2	Closed	1,74	0,08	1,74	1,74	0,08	Closed	0,00	0,00
7	TINAR Barası	1	1	3	Closed	1,53	0,07	1,53	1,53	0,07	Closed	0,00	0,00
8	TINAR Barası	1	1	4	Closed	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Closed	0,00	0,00
9	M5 DM Barası	1	1	1	Closed	22,39	4,18	22,78	22,39	4,18	Closed	0,00	0,00
10	ŞEMSİBEY Barası	1	1	1	Closed	2,30	0,20	2,31	2,30	0,20	Closed	0,00	0,00
11	ŞEMSİBEY Barası	1	1	2	Closed	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Closed	0,00	0,00
12	ŞEMSİBEY Barası	1	1	3	Closed	3,64	0,32	3,66	3,64	0,32	Closed	0,00	0,00

Şekil 4.4. Simülasyon programında yüklerin durumu.

4.3. Newton Raphson Yöntemi ile Power World Programının Karşılaştırması

Bu tez çalışmasında Van M8 dağıtım merkezinin Power world programı ile simülasyonu ve Newton Raphson yöntemi ile çözümü karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, fark gerilimleri ve fark yüzdeleri aşağıdaki çizelgede yazılmıştır (Çizelge 4. 2).

Örneğin V_1 gerilimine bakıldığında Newton Raphson yöntemi ile 4. İterasyon sonucu 30261.055 V, power world program ile analiz edildiğinde sonuç 30258.60 V olmaktadır.

Çizelge 4. 2. Newton Raphson yöntemi ile power world programının karşılaştırması

	Newton Raphson Sonucu	Power World Program sonucu	Fark	Fark Yüzdesi %
V_1	30261,055	30258,600	2,455	0,008
V_2	30153,195	30132,200	20,995	0,070
V_3	30121,980	30058,800	63,180	0,210
V_4	30258,178	30251,100	7,078	0,023
V_5	30261,055	30258,600	2,455	0,008
V_6	30124,439	30122,300	2,139	0,007
V_7	30073,976	30040,500	33,476	0,111
V_8	30124,439	30122,300	2,139	0,007
I_1	57,227	56,260	0,967	1,690
I_2	191,960	192,300	0,340	0,177
I_3	437,087	437,470	0,383	0,088
I_4	23,433	23,520	0,087	0,371
I_5	709,450	708,550	0,900	0,127
I_6	723,211	723,080	0,131	0,018
I_7	114,662	114,700	0,038	0,033
I_8	835,414	837,780	2,366	0,283
Z_1	305,340	306,250	0,910	0,298
Z_3	90,830	90,280	0,550	0,606
Z_5	39,786	39,850	0,064	0,161
Z_7	746,651	747,820	1,169	0,157
Z_8	24,062	24,093	0,031	0,129
Z_{10}	151,437	151,868	0,431	0,285



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Teknolojinin gelişmesi, enerjiye olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu sebeple üretilen enerjinin verimli kullanılması ve güç sistemlerindeki kayıpların azaltılması önem kazanmaktadır. Bu önemle beraber Yapıcı (2013)'e göre Elektrik dağıtım hatlarında güç optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ve bir elektrik dağıtım bölgesine uygulanması yüksek lisans tezinde 5 ve 30 baralı gerçek bir elektrik dağıtım şebekesinde, genetik algoritma ve Newton-Raphson yöntemleri ile reaktif güç optimizasyonu yapılarak bu iki yöntem arasındaki farklar incelenmiştir. Yine Dursun (2006) 'a göre başka bir dağıtım bölgesine ait Boğaziçi Elektrik dağıtım Anonim Şirketi Beyoğlu İşletme bölgesi 34.5 kV bir besleme hattının simülink ile modellenmesi yüksek lisans tezinde gerçek bir elektrik dağıtım şebekesi incelenmiş ve Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin Beyoğlu İşletme bölgesindeki 34.5 kV bir fiderin, simülink kullanılarak farklı yük aktarımları neticesinde gözlenen akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümleri analizini yapılmıştır. 2006 yılında Skvarenina tarafından bir güç sistemi üzerine bir makale yazılmıştır. Bu makalede öğrencilerin güç üzerine yaptığı maliyet çalışmalarını desteklemek, görselleştirmek ve karşılaştırmak için power world programı kullanılmıştır.

Geçmişten günümüze kadar bilim adamları güç analizi üzerine birçok çalışma yapmışlar. Bu çalışmalarını yaparken farklı metotlar da kullanmışlar. Ayrıca güç analizi üzerine birçok yüksek lisans, doktora tezleri olmasına rağmen power world programı kullanılarak Van M8 dağıtım merkezinde kullanılacak iletken ve kablo karşılaştırması ile ilgili herhangi bir simülasyon ve çözüm çalışması yapılmamıştır.

Bu tez çalışmasında Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye bağlı Van İl İşletme Müdürlüğü'nün sorumluluk alanında bulunan 30.5 kV gerilim seviyesindeki Van M8 dağıtım merkezi ve bu dağıtım merkezini besleyen enerji nakil hatları Newton Raphson yöntemi ile çözülmüş, power world programı ile simülasyonu yapılmıştır. Newton Raphson yöntemi ve simülasyon karşılaştırmasına bakıldığında fark yüzdesinin en çok % 1.690 olduğu görülmüştür. % 1.690 olması, power world programının iyi çalıştığının göstergesidir.

Van M8 dağıtım merkezinin simülasyon sonucunda 79.750 MW aktif yük ve 17.536 Mvar reaktif yük, 2.5 km uzaklıktaki bölgeye iletildiğinde yaklaşık 0.2 MW aktif ve 4.8 Mvar reaktif yük yani 4.804 MVA yük kaybolmuştur. Bu kayıpların % 8.792'si iletken ve kabloları meydana gelmiştir. Yani iletken ve kabloların toplamında 0.2 MW aktif, 0. 0.372 Mvar reaktif yük kaybolmaktadır. Aynı yükte ve aynı kilometredeki hawk iletkeni daha fazla kayıp oluşturmaktadır. Bunun sebebi ise hawk iletkenindeki empedans değerinin, kabloları göre fazla olmasıdır.

Sonuç olarak yük akışı analizi, yatırım ve planlama anlamında ciddi önem arz etmektedir. Yük akışının Newton Raphson, Gauss Siedel gibi manuel olarak matematiksel yöntemlerle çözümü ve hesaplanması, hata oranını artırır hem de zaman kaybına sebep olur. Bu bağlamda bu yöntemler yerine Power world programı tercih edilmelidir. Çünkü power world programı görseldir ve hata riskini ortadan kaldırır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2001. Interactive power system simulation, analysis and visualization user's guide. <https://info@powerworld.com> / Erişim tarihi:01.09.2016
- Anonim, 2007. Elektrik dağıtım şebekeleri proje teknik şartnamesi. http://www.tedas.gov.tr/#!/tedas_sartnameler. Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, Ankara. Erişim tarihi: 30.08.2018.
- Anonim, 2016. Enerji kabloları ürün kataloğu. <http://www.hes.com.tr/> Hes Kablo. Kayseri. Erişim tarihi:26.08.2016.
- Anonim, 2017. Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü. **2017 Tedaş Türkiye İstatistik Tabloları**. 15 Nisan 2018, Van. 4-5.
- Berry, F., DiPiazza, P., Sauser, S., 2003. IEEE Transactions on Education, Chap. 4. *The Future of Electrical and Computer Engineering Educatio*. (Editör: Tata McGraw Hill). Hindistan,467-476.
- Dursun, İ., 2006. *Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. Beyoğlu İşletme Bölgesi 34.5 kv'luk Bir Besleme Hattının Simulnk ile Modellenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmış). Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- Ghadban, A., Abdulwahhab, M., 2015. Short Circuit Analysis For Power System Networks. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, **08** (04): 343-354
- İçel, Y., Baran B., Kaygusuz A., Bektaş Ö., Yenilenebilir kaynakları içeren güç Sistemlerinin power world programı ile analizi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*. 26-28 Eylül 2013, Malatya,1-7.
- İriz, T., Turgut, G., 2014. Yüksek gerilim tesislerinde kısa devre hesapları http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=62744&tipi=15&sube=7 Tmmob Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir. Erişim tarihi:30.08.2017
- Kaya, K., 2018. Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü. **2018 Vedaş Scada Verileri**. 15 Nisan 2018, Van. 1-2.
- Kaygusuz, A., Nur, A., 2016. Power Flow study for a Microgrid by using Matlab and Powerworld Simulator.*International Journal of Energy and Smart Grid*,**1**(1):14-21
- Koçyiğit, G., 2008. *Güç Sistemlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi, Analizi ve İnternet Üzerinden Eğitim Amaçlı Programlarının Tasarlanması* (doktora tezi, basılmış). MÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kulkarni, S.U., PowerWorld - A Software Approach to Transmission Line Fault Analysis. *Bharati Vidyapeeth Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bildirisi*. Pune-Hindistan,1-6.
- Paı, M., 2006. Power Flow Studies, Chap. 6. *Computer Techniques in Power System Analysis* (Editör: Tata McGraw Hill), Hindistan.
- Pietryga, F., 2006. Animation of a Power System Using PowerWorld Simulator. *American Society for Engineering Education*.**1-7**
- Skvarenina, T.L., 2006. A Power Systems Analysis Project. **Developing a Department-Wide Learning Assessment Program**.
- Yalçın, 2013. Enerji iletim sistemleri. <http://saelektrikelektronik.blogspot.com/2014/07/enerji-iletim-sistemleri.html>. Sakarya Üniversitesi Ders Notları, Sakarya.

- Yapıcı, H., 2013. *Elektrik Dağıtım Hatlarında Güç Optimizasyonunun Gerçekleştirilmesi ve Bir Elektrik Dağıtım Bölgesine Uygulanması* (yüksek lisans tezi, basılmış). SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yaşar, C., Fadıl, S., Taş, A., Yıldız, T., 2003. Görsel bir program ile yük akışı analizi ve aktif güç optimizasyonu. *Elektrik –Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği 10 Ulusal Kongresi*.18-21 Eylül 2003.İstanbul.
- Yıldız, Ş., 2006. *Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Elektrik Enerjisinde Kalitenin Yükseltilmesi* (yüksek lisans tezi, basılmış). CÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Tosun, İ., 2008. *Güç Sistemleri Eğitimi İçin Matlab GUI Tabanlı Bir Yük Akış Simülatorü* (yüksek lisans tezi, basılmış). FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.



ÖZ GEÇMİŞ

1987 yılında Bitlis'in Güroymak ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tatvan'da tamamladı. 2008 yılında Sakarya yabancı dil hazırlık enstitüsünde İngilizce eğitimini aldı. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Fakültesini bitirdi. 2013 yılında Vangölü Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi'nde işe başladı ve halen aynı şirkette yönetici olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 16/08/2019

Tez Başlığı / Konusu:

**VAN M8 DAĞITIM MERKEZİNİN MODELLENMESİ VE POWER WORLD İLE
SİMÜLASYONU**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 73 sayfalık kısmına ilişkin, 16/08/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından tez intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 (Üç)'dür.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

16/08/2019

Tarih ve İmza

(Handwritten Signature)

Adı Soyadı: Murat ÖZKAN

Öğrenci No: 159101014

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı:

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

**DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR**

(Handwritten Signature)
Doç. Dr. Muzaffer ATEŞ

**ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR**

(Handwritten Signature)
(Unvan, Ad Soyad, İmza)

**Prof. Dr. Mustafa SÖZÜK
Enstitü Müdürü**