

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARININ ARSİN TRAFO MERKEZİ VE  
RADYAL DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Alkan AKSOY**

**HAZİRAN 2016  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARININ ARSİN TRAF0 MERKEZİ VE RADYAL  
DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ**

**Alkan AKSOY**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**"ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 / 05 / 2016**

**Tezin Savunma Tarihi : 03 / 06 / 2016**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU**

**Trabzon 2016**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında  
Alkan AKSOY Tarafından Hazırlanan**

**DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARININ ARSİN TRAFÖ MERKEZİ VE RADYAL  
DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17 / 05 / 2016 gün ve 1653 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Doç. Dr. Ayşen BASA ARSOY** .....

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU** .....

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan KAHVECİ** .....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Trabzon Arsin Trafo Merkezi ve ona bağlı fiderler, yükler, dağıtım hatları ve trafoların DIGSILENT Powerfactory programında modellenerek şebekenin gerilim profili ve kısa devre hata akımlarının hesaplanmasını, şebekenin 2020 ve 2025 yıllara ait yaklaşık gerilim profilinin elde edilmesini, bölgedeki dağıtılmış üretim kaynaklarının gerilim profiline ve kısa devre hata akımlarına etkisinin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenen, tecrübe ve bilgi birikimini benimle paylaşan ve bu konuda araştırma yapmam için beni teşvik eden, karşılaştığım sorunlarda bana çözüm bulan, yol gösteren, her türlü desteğini değerli vaktini ayırarak benden esirgemeyen, hatalarıma sabır ve güler yüz gösteren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU'na minnettarım.

Çalışmamda şebekeye ait teknik bilgileri edinmemde yardımcı olan ÇORUH EDAŞ Müdürü Sn. Ahmet ATMACA'ya, işletme grup yöneticisi Sn. Emre AKYÜZ'e, Sn. Rasim KANDEMİR'e ve kurum çalışanlarına, TEDAŞ Çoruh Bölge Koordinatörlüğü Elektrik Mühendisi Sn. Mahmut ÇOLAK'a, Arsin OSB teknik sorumlusu Elektrik Mühendisi Sn. Ali Osman AYDOĞDU'ya, üretim santrallerin işletme yetkililerine ve çalışanlarına, TEİAŞ 14.Bölge Müdür Yardımcısı Sn. Yüksel YAVUZ'a ve kurum çalışanlarına, modelleme yapabilmemiz için gerekli Powerfactory programını "DIG-CP-12856 / DIG-PF-12856-11126" sayılı protokol ile bize sağlayan DIGSILENT firması ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca manevi ve maddi desteklerini esirgemeyen anneme, babama, kardeşlerime ayrıca çalışmamda bana sabır ve müsamaha gösterdiği için eşime ve oğluma sevgilerimi sunarım.

Alkan AKSOY

Trabzon 2016

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARININ ARSİN TRAFO MERKEZİ VE RADYAL DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/06/2016

Alkan AKSOY

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tez Çalışmasının Konusu ve Amacı .....	2
1.3. Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Tanımı ve Yararları .....	3
1.4. Modelleme Hakkında Bilgiler ve Powerfactory Yazılımının Özellikleri .....	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA.....	5
2.1. Modellenen Şebekenin Teknik Bilgileri .....	5
2.1.1. Arsin Trafo Merkezi Teknik Bilgileri .....	5
2.1.2. Arsin Fiderinin Teknik Bilgileri.....	7
2.1.3. Arsin OSB Fiderinin Teknik Bilgileri .....	8
2.1.4. Araklı-II Fiderinin Teknik Bilgileri .....	9
2.1.4.1. DÜK- I Teknik Bilgileri.....	11
2.1.5. Sürmene Fiderinin Teknik Bilgileri .....	13
2.2. Modellemeler .....	15
2.2.1. Arsin Trafo Merkezinin Modellenmesi.....	15
2.2.2. Arsin Fiderinin Modellenmesi .....	16
2.2.3. Arsin OSB Fiderinin Modellenmesi.....	16
2.2.4. Araklı-II Fiderinin Modellenmesi .....	16
2.2.4.1. DÜK -I 'in Modellenmesi.....	17
2.2.5. Sürmene Fiderinin Modellenmesi .....	19
2.2.5.1 DÜK -II 'nin Modellenmesi.....	20
2.3. Gerilim Profili Analizi .....	23

2.3.1.	Yük Akışları .....	24
2.3.2.	Yük Akışı - I .....	25
2.3.3.	Yük Akışı - II .....	28
2.3.4.	Yük Akışı - III .....	32
2.3.4.1.	DÜK'lerin Aşırı Uyarma Bölgesinde Çalışma Durumu .....	34
2.3.4.2.	DÜK'lerin Zayıf Uyarma Bölgesinde Çalışma Durumu .....	37
2.3.5.	Yük Akışı - IV .....	40
2.4.	Kısa Devre Analizi .....	46
2.4.1.	Kısa Devrenin Tanımı .....	46
2.4.2.	Kısa Devre Analiz Türleri .....	50
2.4.3.	Faz-Toprak Kısa Devre Analizi .....	52
2.4.4.	Üç Faz Kısa Devre Analizi .....	54
3.	SONUÇLAR .....	56
4.	ÖNERİLER .....	57
5.	KAYNAKLAR .....	58
6.	EKLER .....	61
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARININ ARSİN TRAFİ MERKEZİ VE RADYAL  
DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ

Alkan AKSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU  
2016, 60 Sayfa, 19 Sayfa Ek

Nüfus artışı ve sanayinin gelişmesiyle Türkiye'de elektrik enerjisine talep artmaktadır. Bu talebin bir kısmını karşılamak için son yıllarda birçok dağıtılmış üretim kaynağı tesis edilmiştir. Bu amaç için Karadeniz Bölgesinde de çok sayıda nehir tipli hidroelektrik santral işletmeye alınmıştır. Bu santraller enerji kaynağına yakın yerde kurulmuş ve bölgedeki mevcut dağıtım hatlarına bağlanmıştır. Bu tezde DÜK'lerin dağıtım şebekesinin gerilim profiline ve kısa devre arıza akımına nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bütün benzetimlerde DIgSILENT GmbH firmasından DIG-CP-12856 / DIG-PF-12856-11126" protokol numarası ile ücretsiz edinilen Powerfactory 15.2.5 programı kullanılmıştır.

Yapılan analizler sonucu, DÜK'lerin özellikle yoğun güç tüketiminin olduğu saatlerde şebeke gerilim profiline iyileştirdiği, Güç trafolarının aşırı yüklenmesini engellediği, ancak güç bağlantı noktalarına yakın bölgelerde tek faz ve üç faz arıza akımlarını önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** DIgSILENT Powerfactory, Dağıtılmış üretim kaynağı, Gerilim profili, Üç fazlı kısa devre, Faz-toprak kısa devresi,



Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECTS OF DISTRIBUTED GENERATIONS  
ON ARSIN SUBSTATION AND RADIAL DISTRIBUTION NETWORK

Alkan AKSOY

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assistant Prof. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU  
2016, 60 Pages, 19 Pages Appendix

Demand for energy is increasing due to Population growth and development of industry. In the recent years, many distributed generation sources has been established to supply this demand in Turkey. Therefore, a lot of river type hydropower plant was established in the Black Sea Region. These plants are built near the energy sources and the generation of electrical power which is coupled to the distribution lines located it's nearby. In this thesis, distributed generators effects on the voltage profile and short circuit current value of the network was investigated. Powerfactory 15.2.5 free version is used in thesis by the permission of DIgSILENT GmbH. The software protocol key is DIG-CP-12856 / DIG-PF-12856-11126.

Simulation shown that mains voltage is improved in times of peak power consumption, prevents overloading of the power transformer but significantly increase the single phase and three phase fault current on power connection nodes and it's nearby areas by distributed generation

**Key Words:** DIgSILENT Powerfactory, distributed generation source, voltage profile, three-phase short-circuit, phase-to-ground short circuit,

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Dünyada, 2010-2040 yılları arasında enerji türlerine talep ve artış miktarları [7]..	2
Şekil 2. Doğu Karadeniz havzasının iller bazındaki hidroelektrik kurulu gücü [10].....	3
Şekil 3. Arsin TM tek hat şeması [38].....	7
Şekil 4. Arsin fiderinin ocak ayına ait güç değerleri .....	8
Şekil 5. Arsin OSB'nin ocak ayına ait güç değerleri .....	9
Şekil 6. Araklı-II fiderinin ocak ayına ait güç değerleri.....	10
Şekil 7. (a) Yanbolu Deresi (b) Regülâtör havuzu (c) Cebri boruları (d) Türbin [25]...	12
Şekil 8. Sürmene fiderinin ocak ayına ait güç değerleri.....	14
Şekil 9. (a) Türbinin önden görünüşü (b) DÜK-II'ye ait generatör [31]. .....	15
Şekil 10. Arsin TM'nin modellenmesi.....	15
Şekil 11. DÜK-I'in modellenmesi .....	17
Şekil 12. DÜK-I 'in nominal değerleri .....	17
Şekil 13. DÜK-I'in kısa devre parametreleri .....	18
Şekil 14. DÜK-I'in reaktans bilgileri.....	18
Şekil 15. DÜK-I'in reaktans bilgilerinin modellenmesi .....	19
Şekil 16. DÜK-I'e ait yükseltici trafonun modellenmesi.....	19
Şekil 17. DÜK-II 'nin nominal değerlerinin modellenmesi.....	20
Şekil 18. DÜK-II reaktans bilgilerinin modellenmesi.....	20
Şekil 19. DÜK-II'nin kısa devre parametreleri.....	21
Şekil 20. DÜK-II'nin nötr direncinin modellenmesi .....	21
Şekil 21. DÜK-II'ye ait yükseltici trafonun modellenmesi .....	22
Şekil 22. Modellemede kullanılan trafoların bağlantı gruplarının sargı şekilleri [39]. .....	22
Şekil 23. Bara değişkenleri.....	23
Şekil 24. YA-I de DÜK'ler devrede değilken yük akışı bilgileri .....	26
Şekil 25. YA-I'de DÜK-I-II devredeyken yük akışı bilgileri .....	26
Şekil 26. YA-I'de Arsin fiderinin gerilim profili.....	27
Şekil 27. YA-I'de Arsin OSB fiderinin gerilim profili .....	27
Şekil 28. YA-I'de Araklı – II fiderinin gerilim profili.....	28
Şekil 29. YA-II'de DÜK'ler bağlı değilken yük akışı bilgileri .....	29
Şekil 30. YA-II'de sadece DÜK II bağlıyken yük akışı bilgileri.....	29
Şekil 31. YA-II'de Arsin fiderinin gerilim profili .....	30

Şekil 32. YA-II'de Arsin OSB fiderinin gerilim profili.....	31
Şekil 33. YA-II'de Araklı-II fiderinin gerilim profili .....	31
Şekil 34. Generatörün çalışma durumları (stator direnci ihmal edilmiştir) [34].....	32
Şekil 35. Generatör çalışma eğrisi [35]. .....	33
Şekil 36. Trafo merkezinin yük akışı (DÜK'ler devrede değil).....	35
Şekil 37. Trafo merkezinin yük akışı (DÜK'ler aşırı uyarma bölgesinde) .....	35
Şekil 38. Arsin fiderinin gerilim profili (DÜK'ler aşırı uyarma bölgesinde) .....	36
Şekil 39. Arsin OSB'nin gerilim profili (DÜK'ler aşırı uyarma bölgesinde) .....	36
Şekil 40. Araklı-II fiderinin gerilim profili (DÜK'ler aşırı uyarma bölgesinde).....	36
Şekil 41. Trafo Merkezinin yük akışı (DÜK'ler devrede değil) .....	38
Şekil 42. Trafo Merkezinin yük akışı (DÜK'ler zayıf uyarma bölgesinde çalışma) .....	38
Şekil 43. Arsin fiderinin gerilim profili (DÜK'ler zayıf uyarma bölgesinde) .....	39
Şekil 44. Arsin OSB'nin gerilim profili (DÜK'ler zayıf uyarma bölgesinde) .....	39
Şekil 45. Araklı-II fiderinin gerilim profili (DÜK'ler zayıf uyarma bölgesinde).....	39
Şekil 46. 2015 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devrede değilken) .....	41
Şekil 47. 2015 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devredeyken) .....	41
Şekil 48. 2020 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devrede değilken) .....	42
Şekil 49. 2020 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devredeyken) .....	42
Şekil 50. 2025 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devrede değilken) .....	43
Şekil 51. 2025 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devredeyken) .....	43
Şekil 52. YA-IV için Arsin fiderinin gerilim profili .....	44
Şekil 53. YA-IV için Arsin OSB fiderinin gerilim profili.....	44
Şekil 54. YA-IV için Araklı-II fiderinin gerilim profili .....	45
Şekil 55. Arsin TM'nin kısa devre güçleri.....	48
Şekil 56. Kısa devre analiz türleri .....	50
Şekil 57. Arsin TM'ye ait faz-toprak kısa devre analizi .....	51
Şekil 58. Arsin TM'ye ait üç faz kısa devre analizi .....	51
Şekil 59. Arsin fiderinde oluşan faz-toprak kısa devre akımının değişimi .....	53
Şekil 60. Arsin OSB fiderinde oluşan faz-toprak kısa devre akımının değişimi.....	53
Şekil 61. Araklı-II fiderinde oluşan faz-toprak kısa devre akımının değişimi .....	53
Şekil 62. Arsin fiderinde oluşan üç faz kısa devre akımının değişimi .....	55
Şekil 63. Arsin OSB fiderinde oluşan üç faz kısa devre akımının değişimi .....	55
Şekil 64. Araklı-II fiderinde oluşan üç faz kısa devre akımının değişimi.....	55

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Arsin TM'ye ait güç trafoların bilgileri.....	6
Tablo 2. Modellenen fiderlerin üretim ve tüketim özellikleri .....	6
Tablo 3. Modelleme için seçilen tarihlerdeki güç değerleri .....	6
Tablo 4. Fider enerji hatlarının özellikleri.....	6
Tablo 5. Arsin fiderinin trafo sayıları ve güçleri .....	8
Tablo 6. Arsin OSB fiderinin trafo sayıları ve güçleri .....	9
Tablo 7. Araklı-II fiderinin trafo sayıları ve güçleri.....	10
Tablo 8. DÜK-I türbin bilgileri .....	11
Tablo 9. DÜK-I'in senkron generatör bilgileri .....	11
Tablo 10. DÜK-I'in reaktans ve zaman sabitleri .....	11
Tablo 11. DÜK- I'e ait nötr direnç bilgileri.....	12
Tablo 12. DÜK- I'e ait yükseltici trafo bilgileri .....	13
Tablo 13. DÜK-I'e ait trafo nötr direnç bilgileri .....	13
Tablo 14. DÜK-II'nin türbin bilgileri .....	13
Tablo 15. DÜK-II'nin senkron generatör bilgileri.....	13
Tablo 16. DÜK-II'nin reaktans bilgileri .....	14
Tablo 17. DÜK-II'nin nötr direnç bilgileri .....	14
Tablo 18. DÜK-II'in yükseltici trafo bilgileri.....	14
Tablo 19. YA-I'de kullanılan TM, Fider ve DÜK'lere ait güç bilgileri .....	25
Tablo 20. YA-I'de DÜK'lerin gerilim profiline etkileri (p.u.).....	27
Tablo 21. Fiderlerin ve DÜK'lerin güç bilgileri .....	28
Tablo 22. Fiderlerin gerilim değerleri (p.u.).....	30
Tablo 23. DÜK-I için en büyük reaktif güç bilgileri.....	32
Tablo 24. DÜK-II için en büyük reaktif güç bilgileri.....	32
Tablo 25. YA-III analizi için seçilen güç bilgileri.....	33
Tablo 26. Güç bilgileri yeri ve işareti.....	34
Tablo 27. Şebekeye ait bara gerilimleri p.u. (DÜK'ler aşırı uyarda çalışıyor) .....	34
Tablo 28. Şebekeye ait bara gerilimleri (DÜK'ler zayıf uyarda çalışıyor).....	37
Tablo 29. YA-IV analizi için seçilen güç değerleri.....	40

Tablo 30. Gelecek on yıla ait fiderlerin gerilim profili ve DÜK'lerin etkisi .....	44
Tablo 31. Üretim merkezlerinin nötr direnç değerleri.....	49
Tablo 32. DÜK'lere ait üretilen en büyük güç bilgileri.....	49
Tablo 33. Farklı zamanlara ait kısa devre akımları .....	49
Tablo 34. Trafoların %uk ve X/R değerleri.....	50
Tablo 35. Arsin TM'ye ait faz-toprak kısa devre hata akımına DÜK'lerin etkisi (kA) .....	52
Tablo 36. Arsin TM'ye ait üç faz kısa devre akımlarına DÜK'lerin etkisi (kA) .....	54



## SEMBOLLER DİZİNİ

$a$	: Kompleks operatör
$E_f$	: Endüklenen gerilim [Volt]
$f$	: Frekans [Hertz]
$i$	: Akım [A]
$I_f$	: Uyarma akımı [A]
$I_{(1,2,0)}$	: Akımın, doğru, ters ve sıfır bileşenleri [ohm]
$I_k''$	: Başlangıç kısa devre akımı [kA]
$I_k$	: Sürekli kısa devre akımı [kA]
$i_p$	: Kısa devre tepe akımı [kA]
$L$	: Endüktans [H]
$P$	: Aktif güç [MW]
p.u.	: Per-unit
$Q$	: Reaktif güç [MVA]
$R$	: Direnç [ohm]
$R_s$	: Stator direnci [ohm]
$S$	: Görünür güç [MVA]
$S_k''$	: Başlangıç kısa devre akım gücü [MVA]
$t$	: Zaman
$T_d''$	: Subtransient (Başlangıç) zaman sabiti [sn]
$T_d'$	: Transient (geçiş) zaman sabiti [sn]
$U_n$	: Nominal gerilim [kV]
$\omega$	: Açısal frekans [rad/sn]
$X$	: Reaktans [ohm]
$X_L$	: Hattın endüktif reaktansı [ohm/km]
$X_d$	: Generatörün senkron reaktansı [ohm]
$X_d'$	: Generatörün geçici reaktansı [ohm]
$X_d''$	: Alt geçici reaktans [ohm]
$X_s$	: Senkron reaktans [ohm]
$Z$	: Empedans [ohm]
$Z_f$	: Kısa devre empedansı [ohm]

$Z_{(1,2,0)}$	: Empedansın,doğru,ters ve sıfır bileşenleri [ohm]
$\phi$	: Faz açısı [derece]
$\psi$	: İç güç açısı [derece]
AC	: Alternatif akım
ATO	: Akım trafosu dönüştürme oranı
AU	: Aşırı uyartım bölgesi
BIL	: Basic insulation level ( Temel yalıtım seviyesi)
BN	: Bağlantı noktası
CIM	: Ortak veri modeli
DC	: Doğru akım
DIN	: Alman Norm Enstitüsü
DPF	: DIgSILENT PowerFactory
DÜ	: Dağıtılmış üretim
DÜK	: Dağıtılmış üretim kaynakları
EDAŞ	: Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
ENTSO-e	: Avrupa Elektrik Şebekesi İletim Sistemi İşleticileri
GMR	: Geometrik ortalama yarıçap
IEA	: Uluslararası Enerji Enstitüsü
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
KD	: Kısa devre
KÖK	: Kesici ölçü kabini
ONAN	: Doğal yağ ve hava soğutmalı (Oil Natural Air Natural)
ONAF	: Doğal yağ, cebri hava soğutmalı (Oil Natural Air Forced)
OG	: Orta gerilim
OGe	: Omik generatör
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TM	: Trafo merkezi
TR	: Trafo
UCTE	: Elektrik iletim birliği
VDE	: Alman Elektroteknik Birliği
YA	: Yük akışı
YG	: Yüksek gerilim
ZU	: Zayıf uyartım bölgesi

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

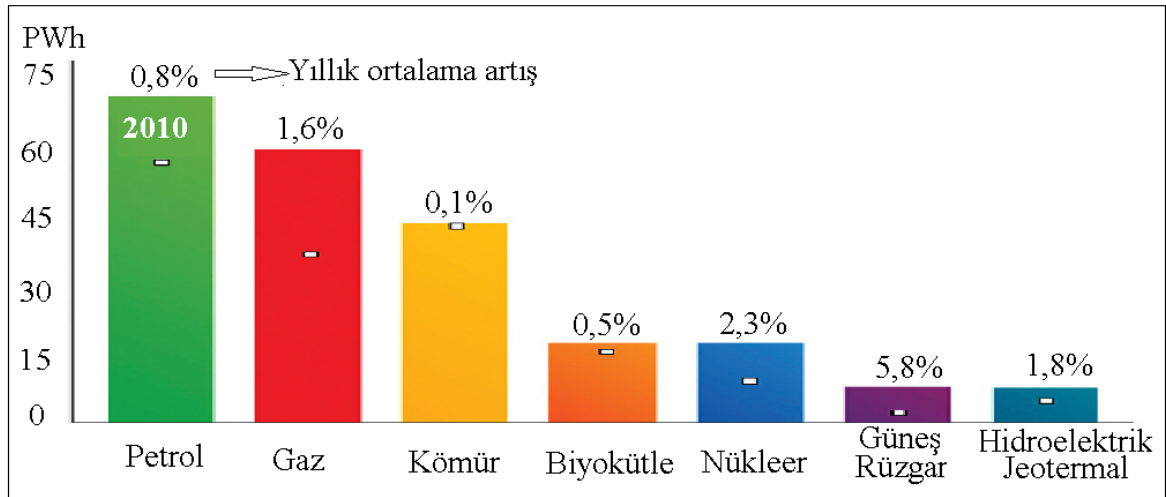
Nikola Tesla'nın dönen manyetik alanı icat etmesiyle elektrik şebekesi farklı bir boyut kazanmıştır. Alternatif gerilim değerinin yükseltilmesiyle şebeke kayıpları azaltılmış, böylece yerleşim yerinden uzakta olup hammadde kaynağına yakın olan santrallerin sayısı artmıştır. Üretilen enerji, uzun elektrik nakil hatlarıyla şalt sahalarına iletilmiş ve buradan dağıtımı yapılmıştır. Dünya, artan enerji ihtiyacını karşılamak için konvansiyonel kaynaklar yanında yenilenebilir kaynaklara son yıllarda daha çok yönelmiş, bilim insanları bu alanda çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Ülkemizde de bu kaynaklara yönelim artmış, yenilenebilir enerjiden elektrik üreten santrallerin sayısı yükselmiştir. Türkiye'de belirli bir gücün altında elektrik üretimi için lisans alma zorunluluğu kalkmış, bu durum birçok dağıtılmış üretim kaynaklarının (DÜK) kurulmasını hızlandırmıştır [1]. Çok sayıda DÜK'ün beraber çalışması ise bazı riskleri artırmış, bu riskleri en aza indirmek için elektrik şebeke güvenilirliğinin en yüksek seviyeye çekilmesi zorunlu olmuştur [2]. Elektrik şebekesinde güvenlik, kontrol ve hesaplama önemlidir. Gözden kaçan küçük bir ayrıntı şebekede öngörülemez durumlara ve ciddi zararlara neden olabilmektedir. Örnek olarak, 1965 yılında Amerika'nın bir bölgesine ait elektrik şebekesinde oluşan basit bir sorun domino etkisi oluşturarak diğer bölgelere yayılmıştır. Geniş bir bölge uzun süre elektrikten yoksun kalmış beraberinde güvenlik açığı meydana gelmiş, yağmalama olayları gerçekleşmiştir. Sonuçta, 25 milyon kişi bu arızadan dolayı veya direkt olarak etkilenmiştir [3]. Bu tarihlerden itibaren şebeke güvenilirliği artırmak için gelişen yazılım ve elektronik sistemlerden yararlanılmaya başlanmıştır.

1970 yıllardan itibaren elektrik iletim ve dağıtım hatlarını modelleyen birçok yazılımlar yapılmıştır. Bu programlar ile elektrik şebekesi modellenmiş, model üzerinde çeşitli arızalar oluşturulmuş, modellenen sistemin hatalara verdiği cevaplar analiz edilmiştir. Böylece modele ait gerçek elektrik şebekesinin kararlılığı artırılmıştır [4]. Güç sistemlerini modelleyen ilk analiz programları büyük elektrik şirketlerinin desteği ile yazılmıştır. Şirketler bu ilk yazılımlarda ticari amaç gütmemiştir. Ancak bu durum birbiri ile uyumsuz birçok yazılımın oluşmasına sebep olmuştur. Günümüzde ise ticari amaçlar içinde yazılan bu tür programların gücü ve aralarındaki veri uyumu artmıştır [5].



## 1.2. Tez Çalışmasının Konusu ve Amacı

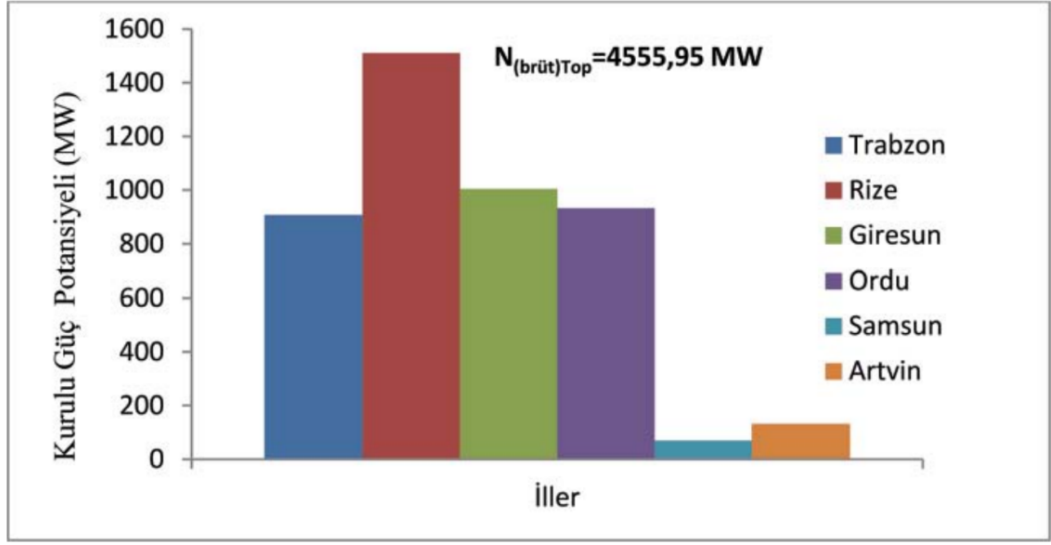
Sahip olduğumuz konvansiyonel kaynaklar sınırsız değildir. Bu kaynakların bilinçsizce kullanımı insana ve doğaya zarar vermektedir. Gelişen teknoloji ile enerjinin asıl kaynağı olan güneş ve diğer yenilenebilir kaynakların enerji üretim verimliliği artmıştır [6]. Uluslar arası enerji ajansının (IEA) verilerine göre, 2040'a kadar güneş ve rüzgâr enerjisinin kurulu gücünde her yıl %5,8 oranında büyüme gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Buna rağmen, konvansiyonel enerji kaynakları günümüzde olduğu gibi ileriki yıllarda da toplam kurulu güç içerisinde en önemli paya sahip olacağı düşünülmektedir [7]. Ancak füzyon enerjisi gibi yeni teknolojilerin ileride kullanılabilir olması bu tabloyu değiştirebilir [8].



Şekil 1. Dünyada, 2010-2040 yılları arasında enerji türlerine talep ve artış miktarları [7].

Trabzon'un yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi için 2015 yılı itibariyle 45 lisanslı DÜK işletmeye alınmıştır. DÜK'lerin birçoğu küçük ve orta ölçekli HES' den oluşmaktadır [9]. Trabzon'un hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 900 MW civarında olup, bu kapasitenin 577 MW'ı elektrik enerjisine dönüştürülmektedir [10].

Bu çalışmada, Arsin trafo merkezi (TM), Arsin fideri, Arsin Organize Sanayi Bölgesi (OSB) fideri ve Araklı-II fiderinin gerilim profili ve kısa devre (KD) akım değerleri incelenmiş, bölgede bulunan DÜK'lerin bu değerlere katkısını analiz edilmiş ve 2020 ve 2025 yıllarında bölgenin gerilim profilini elde edilmiştir.



Şekil 2. Doğu Karadeniz havzasının iller bazındaki hidroelektrik kurulu gücü [10].

### 1.3. Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Tanımı ve Yararları

DÜK'lerin tanımı ülkelere ve enstitülere göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle literatürde kesin bir tanımı yapılmamıştır. Ancak, kurulum amacı, kurulu gücü, enerji sağladığı bölge ve kurulum yeri esas alınarak DÜK'ler kategorize edilebilir [11]. Genellikle DÜK'lerin çoğu elektrik dağıtım hattına bağlı, küçük veya orta ölçekte enerji üretimi yapan özel santrallerdir [12]. DÜK'lerin şebekeye frekans desteği vermesi veya şebekenin gerilim kontrolüne katılması beklenmez. Ancak DÜK'ler, bara gerilimlerini şebekeye verdiği güç değeri ile değiştirebilir. Senkron generatör içeren DÜK'ler şebekenin aktif ve reaktif gücünü etkilemektedir. Asenkron generatör içeren DÜK'ler ise şebekenin sadece aktif gücünü etkilemektedir. Bunların yanında, şebeke bağlantısı elektronik devre elemanları ile sağlanan DÜK'ler ise bir harmonik kaynağı oluştururlar [13].

50 km uzunluğa kadar 40 kV altındaki gerilim hatları, kısa hat olarak kabul edilmektedir [14]. Bu hatlar genellikle orta gerilim (OG) hatlarıdır. Bu hatlarda, hat direnci yüksek akım değerinden dolayı ihmal edilemez. Yüksek akım, şebekede gerilim düşümü oluşturur. Bunun tersine yüksek gerilim (YG) hatlarında bu direnç ihmal edilebilir [15]. DÜK'ler genellikle OG hatlara bağlandığı için hat kayıplarını azaltır, hat gerilimini düzeltir, güç trafoların aşırı yüklenmesini engeller, tesise yapılacak masrafları öteleyer ve hattı ekonomik yaparlar [16].

### 1.3. Modelleme Hakkında Bilgiler ve Powerfactory Yazılımının Özellikleri

Tez çalışması için seçilen bölgenin modellenmesi, 1980 yıllarda yazılımına başlanmış DIgSILENT Powerfactory programı ile yapılmıştır [17]. Bu program kolay kullanımı ve analiz seçeneklerinin çokluğu nedeniyle tercih edilmiştir.

Kullanılan bu yazılım, diğer güç sistemleri yazılımlarına ait verileri işleme yeteneğine sahiptir. Program üzerinde hazırlanan projeler anında kayıt edilmektedir. Kayıt edilen verilerin bilgisini bir yazılımdan diğerine aktarmak gerekebilir. Bazen yazılımlar arasındaki veri tiplerinin uyumsuz olması veri kaybına sebep olur. Bu durumda şebeke modeli yeniden oluşturulur. Bu sorunu çözmek için yazılım firmaları ortak bir veri tipi üzerinde (CIM) çalışmışlardır [18]. Örneğin, Avrupa'nın büyük bölümü UCTE tarafından başlatılan, ENTOS-e tarafından yürütülen bazı standartları kullanmaktadır [19].

Modellemelerde, trafolar, dağıtım hatları, yükler, generatörler ve bunlara ait reaktans ve topraklama dirençleri, bağlantı tipleri gerçek değerleri ile modellenmiştir. Kısa devre analizinde generatörlerin reaktans değerleri kısa devre akımını etkilemektedir [20]. Şebekedeki Trafoların bağlantı tipi kullanım yerine ve gücüne göre farklılık gösterir. Bağlantı tipi yıldız seçilmişse, toprak noktası direkt topraklanır veya direnç, empedans, Petersen bobini de bağlanır [21]. Trafonun nominal gücü 250 kVA ve üzerinde ise Dyn11 bağlantı türü, altında ise Yzn11 bağlantı grubu tercih edilir. Dağıtım trafoların nötr noktası genellikle direkt topraklanır. Zigzag bağlantı sadece trafoların alçak gerilim tarafında fazlar arasındaki yük dengesizliğini ortadan kaldırmak için, üçgen bağlantı ise harmonik etkileri azaltmak için kullanılır [22].

Modellemelerde yük akışı hesabı "Newton-Raphson" yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu metot güç akışı denklemlerinin çözümü için iteratif metotlara (Gauss-Seidel, Gauss, vb) göre kuadratik yakınsama niteliğine sahiptir [23]. Bu yazılımla, DÜK'lerin terminal gerilimlerine ve kısa devre akımlarına etkisi hesaplanmaktadır [24]. DÜK'lerin terminallere farklı noktalardan bağlanması sonucu parametrelerdeki değişiklikler belirlenip, enerji bağlantısı için en uygun noktalar kolayca tespit edilebilmektedir [25,26]. Modellemesi yapılan herhangi bir şebekenin aktif, reaktif ve kayıp gücü ve bu güçlerin gelecekte ne olacağı yaklaşık hesaplanabilir [27,28]. DIgSILENT Powerfactory (DPF) programının kullanımına ait kısa bilgiler Ek-1'de belirtilmiştir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR ve TARTIŞMA

Arsin trafo merkezini (TM), fiderler üzerinde bulunan trafoları ve trafolara bağlı olan yükleri modellemek için şebekeye ait gerçek teknik veriler ilgili kurum ve şirketlerin izinleri ile alınmıştır. Şebeke bu bilgilerle DPF'de modellenip, yük akışı ile gerilim profili, kısa devre analizleri (faz-toprak ve üç faz kısa devre) ile arıza akımları hesaplanmıştır. Çalışmanın temel amacı DÜK'lerin gerilim profiline ve KD akımlarına etkisini incelemektir. DÜK'lerin gerilim profili ve KD akımlarına etkisini belirlemek için şebekede DÜK'ler devre değilken yük akışı ile KD analizi yapılmış ve Durum-I ile gösterilmiştir. DÜK'lerin etkilerini görmek için her DÜK sırayla devreye alınmıştır. Sadece DÜK-I devre iken yapılan analiz sonuçları Durum-II, DÜK-II devre iken yapılan analiz sonuçları Durum-III ve her iki DÜK devreyken yapılan analiz sonuçları Durum-IV ile gösterilmiştir. DÜK'ler devre iken oluşturulan senaryolar (Durum-II, Durum-III ve Durum -IV), ile DÜK'ler devrede değilken oluşturulan Durum-I senaryosu karşılaştırılmış, aradaki fark yüzde olarak belirtilmiştir.

### 2.1. Modellenen Şebekenin Teknik Bilgileri

DPF programında TM, F1, F2, F7 ve F8 fiderleri ile içerdikleri trafolar, dağıtım hatları ve yükler modellenmiştir. Diğer fiderler çok geniş bir alana sahip olduğundan tek bir yük olarak gösterilmiştir. Şebekeye ait tüm bilgiler Çoruh Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (Çoruh EDAŞ), Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi 14. Bölge Müdürlüğü (TEİAŞ) ve enerji üretim şirketlerinin izni ile alınmıştır.

#### 2.1.1. Arsin Trafo Merkezi Teknik Bilgileri

TM'de biri yedek olmak üzere sekiz adet fider bulunmaktadır. TM'nin tek hat şeması Şekil 3'de gösterilmiştir. TM'de bir adet 25 MVA (TR-A) ve bir adet 50 MVA trafo (TR-B) paralel olarak çalışmaktadır. Bazı saat dilimlerinde TM'den çekilen güç azaldığında 25 MVA trafo devreden çıkarılmaktadır. Bu durum trafo kayıplarını azaltmaktadır [29].

TM'de bulunan güç trafolarına ait teknik bilgiler Tablo 1'de, fiderlerin üretim ve tüketim bilgileri Tablo 2 ve 3'de, dağıtım hattında kullanılan iletkenin cinsi Tablo 4'de ve bu iletkenlere ait teknik bilgiler Ek-3'de gösterilmiştir. Tablo 3'de Araklı-II ve Sürmene fiderlerinde belirtilen negatif güç değerleri, fiderin TM'ye güç aktarmakta olduğunu göstermektedir. Tablo 3'e göre Araklı-II fiderinde bulunan DÜK, fiderdeki tüm tüketimi karşılamış ve TM'ye güç aktarmıştır.

Tablo 1. Arsin TM'ye ait güç trafoların bilgileri

	Trafo-A	Trafo-B
Soğutma /Tip	ONAN / ONAF	ONAN / ONAF
Güç /Faz / Hz	25 MVA / 3 Faz / 50 Hz	50 MVA/ 3 Faz/ 50 Hz
Primer / Sekonder Gerilim	154 / 31,5 kV	154 / 31,5 kV
Bağlantı Tipi	YNyn0	YNyn0
Nötr Direnci (HV/LV)	0/20 $\Omega$	0/20 $\Omega$
X/R oranı /Anma Akımı	20 / 150 A	50 / 150 A
%Uk	9,12	12,31

Tablo 2. Modellenen fiderlerin üretim ve tüketim özellikleri

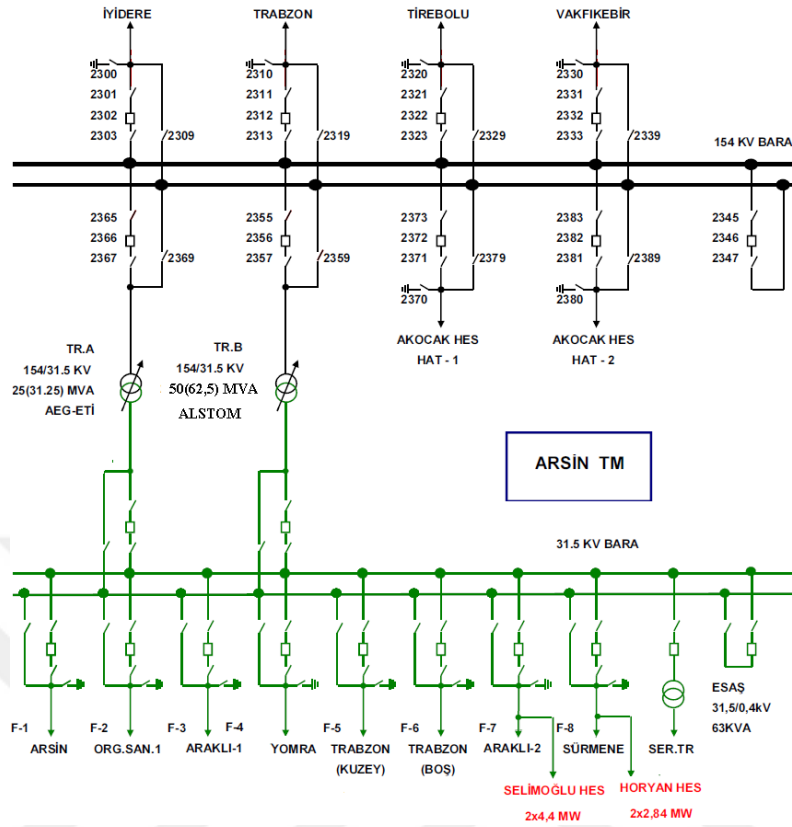
Fider adı	Üretim ve tüketim bilgisi
Arsin ve Arsin OSB	Tüketim
Yomra , Trabzon, Araklı -II	Tüketim
Sürmene	Üretim
Araklı- II	Tüketim ve üretim

Tablo 3. Modelleme için seçilen tarihlerdeki güç değerleri

Fider Adı	13.01.2015, 00:30		29.01.2015, 17:30	
	P (MW)	Cos $\phi$	P (MW)	Cos $\phi$
Arsin	1,71	0,955	2,98	0,972
Arsin OSB	2,68	0,999	6,62	0,999
Araklı – I	8,35	0,995	14,93	0,988
Araklı – II	-4,55	0,971	3,42	0,984
Sürmene	-3,68	0,996	-1,02	0,979
Yomra	4,1	0,991	6,2	0,990
Trabzon K.	5,3	0,991	8,3	0,990

Tablo 4. Fider enerji hatlarının özellikleri

Fider adı	Ana Hat-I	Ana Hat-II	Branşman
Arsin	Raven	Swallow	N2XSY
Arsin OSB	Pigeon	Swallow	N2XSY
Sürmene	Hawk	Swallow	N2XSY
Araklı- II	Pigeon	Swallow	N2XSY



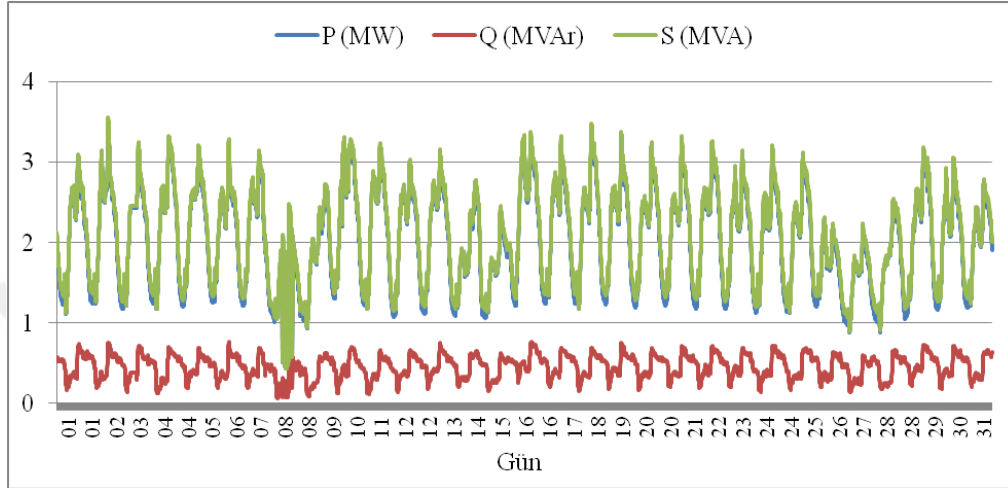
Şekil 3. Arsin TM tek hat şeması [38].

### 2.1.2. Arsin Fiderinin Teknik Bilgileri

Arsin fideri, Arsin bölgesinin bir kısmını beslemektedir. Fidere bağlı üretim kaynağı yoktur. Fiderde, gücü 50 ile 400 KVA arasında değişen 33 adet trafo vardır ve bu trafoların değerleri Tablo 5'de gösterilmiştir. Fiderdeki trafoların toplam nominal gücü 6.3 MVA'dır. Fiderin tüketim eğrisi Şekil 4'de gösterilmiştir.

Arsin Fiderine ait tek hat şeması Ek-2 Şekil 1'de gösterilmiştir. Fiderde sırasıyla, Fatih kesici ölçü kabini (KÖK), Cezaevi KÖK ve Kendirli KÖK bulunmaktadır. Fider üzerinde konut yoğunluğu fazladır. Bu nedenle tüketim düzenlidir. Tüketime ait bilgiler, Çoruh EDAŞ'a ait enerji analizörlerinden alınmıştır. Fiderde Fatih KÖK, Cezaevi KÖK ve en uzak bara olan Elmealan (TAH33) barası analiz edilmiştir. Bu baralara ait farklı durumlardaki gerilim değerleri ve KÖK'lerde oluşan tek faz-toprak ve üç faz kısa devre hata akımlarının değerleri ve DÜK'lerin bu değerlere ne kadar etki yaptıkları Bölüm 2.3 ve 2.4'de detaylı incelenmiştir. Bu fiderin Arsin trafo merkezine uzaklığı 0,5 km olup TM ile

Fatih KÖK arasındaki enerji dağıtımını 1/0 AWG (Raven) hat ile sağlanmıştır. Bölgede toplam 1,25 MVA'lık nominal trafo gücü yaklaşık 4 km lik uzunluğundaki swallow hat üzerinde olup, bu hat Fatih KÖK'de dağıtım bölgesinden ayrılmıştır. Diğer ayrılan hattın uzunluğu yaklaşık 12 km'dir.



Şekil 4. Arsin fiderinin ocak ayına ait güç değerleri

Tablo 5. Arsin fiderinin trafo sayıları ve güçleri

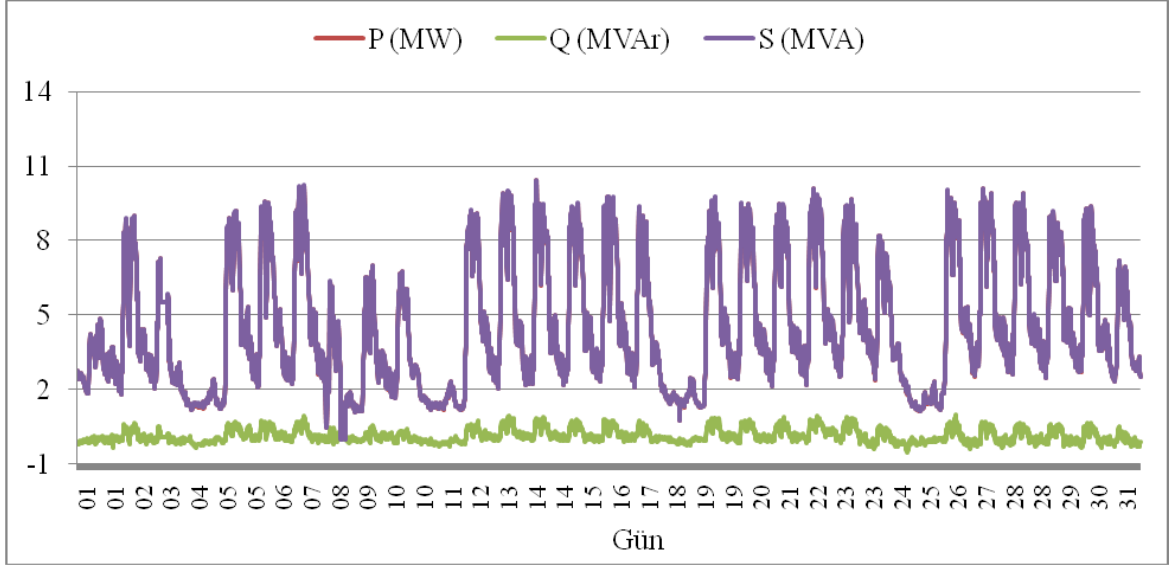
Trafo Gücü (KVA)	50	100	160	250	400
Adet	5	14	2	3	9
Toplam Güç (MVA)	6,320				

### 2.1.3. Arsin OSB Fiderinin Teknik Bilgileri

Arsin OSB fideri incelediğimiz fiderler arasında en fazla enerji tüketen fiderdir. Ocak 2015 ayına ait tüketim değerleri Şekil 5'de gösterilmiştir. Fiderin tek hat şeması Ek-2 Şekil 2'de gösterilmiştir. Fiderde üç adet KÖK bulunmaktadır. Bunlar girişten itibaren Organize Sanayi TR-I (Hürriyet Çıkışı - KÖK-I), Organize Sanayi TR-II (Küçükaslanlar Çıkışı - KÖK-II) ve Organize Sanayi TR-III (KÖK-III) bulunmaktadır.

Bu fiderdeki KÖK-I, KÖK-II, KÖK-III ve TM'ye en uzak olan TOH77 analiz edilmiştir. Bu fiderin OSB'ye giriş noktasının Arsin TM'ye uzaklığı yaklaşık 3 km olup TM ile KÖK-I arasındaki enerji dağıtımını 3/0 AWG (Pigeon) hat ile sağlanmıştır.

Bölgede KÖK-I ile KÖK- III arası Hürriyet çıkışı olarak isimlendirilmiş olup, bölgede KÖK-II ile KÖK-III arasındaki fider uçları göz oluşturmaması için KÖK-III tarafından açık bırakılmıştır. Fiderdeki trafoların toplam nominal güçleri yaklaşık 47 MVA olup Tablo 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Arsin OSB'nin ocak ayına ait güç değerleri

OSB'de dağıtım hattında oluşabilecek bir arıza durumunda yedek enerji yolu olarak bir hat KÖK-II ile KÖK-III arasına konulmuştur. Enerji dağıtımını 3 AWG (swallow) hat üzerinden sağlanmıştır.

Tablo 6. Arsin OSB fiderinin trafo sayıları ve güçleri

Trafo Gücü (KVA)	100	160	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.500
Adet	1	7	22	23	8	2	10	2	3	3
Toplam Güç (MVA)	47,360									

#### 2.1.4. Araklı –II Fiderinin Teknik Bilgileri

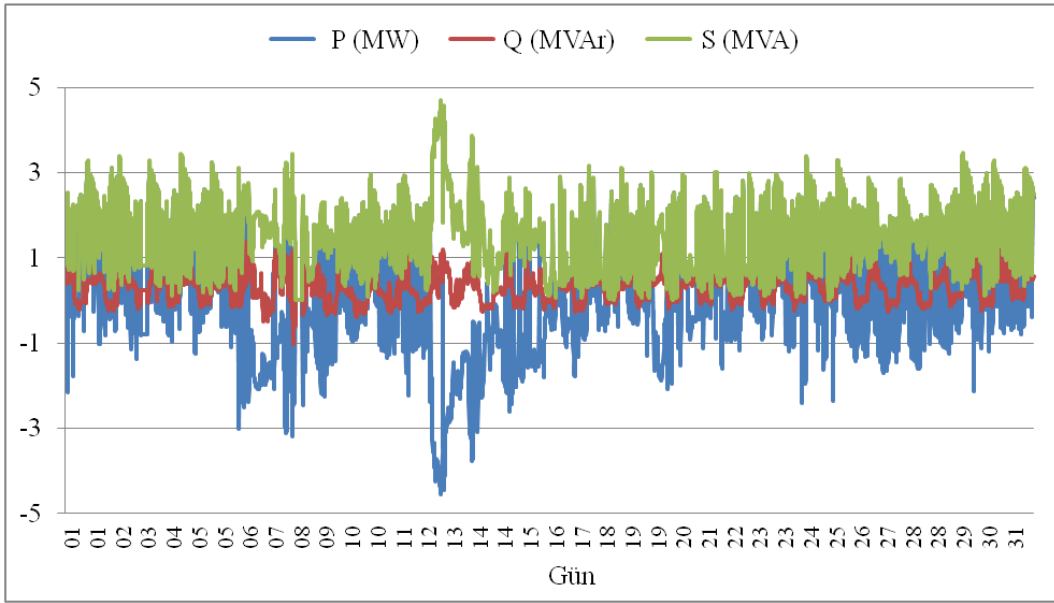
Modellemede, Araklı II fideri hem üretimi hem tüketimi gerçekleştiren tek fiderdir. Fidere ait güç bilgisi Şekil 6'da grafikte verilmiştir. Fiderin tek hat şeması Ek-2 Şekil 3'de gösterilmiştir. Fiderde Buzluca KÖK, Fındıklı KÖK, Atayurt KÖK, ve DÜK-I'e bağlı KÖK bulunmaktadır. Araklı fideri kırsal bölgeyi beslediğinden 160 kVA ve altı trafo sayısı oldukça fazladır. Fiderdeki trafoların toplam nominal güçleri yaklaşık 10 MVA değerinde



olup Tablo 7'de gösterilmiştir. Güç bilgileri fider başında bulunan enerji analizöründen elde edilmiştir. Analizörde aktif gücün (P) pozitif olması şebekeden güç çekildiği, negatif olması şebekeye DÜK'ler tarafından güç aktarıldığı anlamına gelmektedir. Reaktif gücün (Q) pozitif olması şebekenin reaktif gücünün kullanıldığının, negatif olması ise şebekenin reaktif güç desteği aldığı anlamına gelir.

Fiderden okunan P ve Q güç değerleri ile generatör'ün P ve Q değerleri birbirinin tersidir. Eğer bir generatör aşırı uyarımla çalışıyorsa "Q" generatör için pozitif, fider için ise negatif olacaktır. Generatörler modellenirken buna dikkat edilmelidir.

Tablolarda tüm güç değerlerinin işaretleri fiderden okunan değerlere göre alınmıştır. Bu fider radyal olup yaklaşık 50 km uzunluğundadır. Enerji 3/0 hat üzerinden gerçekleşmekte olup, DÜK-I'in TM'ye uzaklığı yaklaşık 14 km'dir.



Şekil 6. Araklı-II fiderinin ocak ayına ait güç değerleri

Tablo 7. Araklı-II fiderinin trafo sayıları ve güçleri

Trafo Gücü (KVA)	50	100	160	250	400
Adet	37	49	7	3	3
Toplam Güç (MVA)	9,820				

### 2.1.4.1. DÜK- I Teknik Bilgileri

Selimoğlu HES (DÜK-I ), Trabzon ili Arsin İlçesi sınırları içinde kurulmuştur. Nehir tipli bir santraldir. Santral 8,79 MW kurulu gücünde olup, 2 adet yatay eksenli francis tipi türbini vardır ve Şekil 7'de görülmektedir. Türbine ait teknik bilgiler Tablo 8'de, türbine bağlı generatörlerin bilgileri Tablo 9, 10 ve 11'de gösterilmiştir [30]. Generatörün çıkışına bağlı yükseltici trafo bilgileri ise Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 8. DÜK-I türbin bilgileri

Model	CJA475-W-115/2x12.5	Nominal Hız	750 rpm
Çıkış Gücü	4.67 MW	Ambalman	893 rpm
Proje Düşüsü	99,26 Metre	Ağırlık	22.020 kg
Proje Debisi	5,125 m <sup>3</sup> /sn	Üretim	30.05.2010

Tablo 9. DÜK-I'in senkron generatör bilgileri

Tipi	LSA-900-X/8	İkaz Gerilimi	65 V
Çıkış Gücü	4527 kW	İkaz Akımı	8.7 A
Nominal Gerilim	6300 V	Fab.No.	3010000033
Nominal Akım	461 A	Yalıtım Sınıfı	H/B
CosØ	0,90	Bağlantı	Y(Yıldız)
Frekans	50 Hz	Faz Sayısı	3
Üretim tarihi	28.10.2009	Ağırlık	24.350 Kg
3 faz I <sub>k</sub> / I <sub>s</sub>	6.4 p.u. / 16.2 p.u.	Verim	%97,73
Rrotor	0,0622 Ω/0,0659 Ω	Nominal Hızı	750 rpm
Rstator	0,0648 Ω/0,0672 Ω	Ambalman Hızı	1065rpm

Tablo 10. DÜK-I'in reaktans ve zaman sabitleri

Doyma Noktasında (%)				Doyma Noktasında Değilken (%)			
X <sub>d</sub>	129	X <sub>q</sub>	116.4	X <sub>d</sub>	140,9	X <sub>q</sub>	139,4
X' <sub>d</sub>	24.6	X' <sub>q</sub>	116.4	X' <sub>d</sub>	25,9	X' <sub>q</sub>	139,4
X'' <sub>d</sub>	15.7	X'' <sub>q</sub>	18.3	X'' <sub>d</sub>	18,6	X'' <sub>q</sub>	23,7
X <sub>2</sub>	16.9	X <sub>o</sub>	6.1	X <sub>2</sub>	20,8	X <sub>o</sub>	7,2
T' <sub>d</sub>	0.30	T' <sub>do</sub>	1.57	T' <sub>d</sub>	0,31	T' <sub>do</sub>	1,68
T'' <sub>d</sub>	0.01	T'' <sub>d</sub>	0.02	T'' <sub>d</sub>	0,02	T'' <sub>d</sub>	0,02
T'' <sub>q</sub>	0.01	T'' <sub>qo</sub>	0.09	T'' <sub>q</sub>	0,02	T'' <sub>qo</sub>	0,11
T <sub>a</sub>	0.01	scr	0.77	T <sub>a</sub>	0,13	T <sub>ref</sub>	95

Senkron generatörlerin stator uçlarında üç fazlı elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Burada modellenen DÜK'lerin stator faz-faz gerilim değeri 6,3 kV'dur. İzolasyon sorunları nedeniyle çıkış geriliminin yüksek olması, generatör için ekonomik değildir. Stator sargısında meydana gelebilecek herhangi bir kısa devre arızasının etkisini azaltmak için nötr dirençler kullanılır. Aksi durumda bu sargının sargı dirençleri küçük olduğundan dolayı kısa devre anında zarar görmeleri muhtemeldir. DÜK-I ait yükseltici trafo bilgileri Tablo 12, 13'de gösterilmiştir.

Tablo 11. DÜK- I'e ait nötr direnç bilgileri

Gerilim	$6.3/\sqrt{3}$ kV
Direnç	365 Ohm
Çalışma Çevrimi	10A /10sn
Tip	NTDS. 001.365
Standart /Koruma	IEEE32 / IP23
B.I.L	7.2/20/60 kV
ATO	10/1A



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7. (a) Yanbolu Deresi (b) Regülâtör havuzu (c) Cebri boruları (d) Türbin [25].

Tablo 12. DÜK- I'e ait yükseltici trafo bilgileri

Soğutma /Tip	ONAN / TTO
Güç / Faz / Hz	5.5 MVA / 3 Faz / 50 Hz
Primer / Sekonder Gerilim	31.5 kV $\pm$ 2x2,5% / 6,3 kV
Primer /Sekonder Akım	100,81 A / 504 A
Bağlantı Tipi	YNd11
İzalasyon Voltajı (Stator/Rotor)	36/70/170 kV ( 34.5 kV Sargı) 12/28/75 kV (6.3 kV Sargı)
%Uk	%7,35

Tablo 13. DÜK-I'e ait trafo nötr direnç bilgileri

Gerilim	$36/\sqrt{3}$ kV
Direnç	20 Ohm
Çalışma Çevrimi	1saatte /1000A /5 sn
B.I.L	24/50/125 kV
Koruma derecesi	IP23
ATO	1000/1A

### 2.1.5. Sürmene Fiderinin Teknik Bilgileri

Horyan HES (DÜK-II), Trabzon İli Araklı İlçesi sınırları içinde kurulmuş, Şekil 9'da gösterildiği gibi nehir tipli bir santraldir. Santral 5,68 MW kurulu gücünde olup, 2 adet yatay eksenli francis tipli türbini vardır [31]. DÜK-II iki adet yükseltici trafo ile Sürmene fiderine bağlıdır. Santrale ait bilgiler Tablo 14, 15, 16,17 ve 18'de gösterilmiştir. Santrale ait üretimdeğerleri ve generatör yerleşimi Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

Tablo 14. DÜK-II'nin türbin bilgileri

Model	CJA475-W-115/2x12.5	Nominal Hız	500 rpm
Çıkış Gücü	2820 kW	Ambalman	893 rpm
Proje Düşüsü	212,44 Metre	Ağırlık	22020 kg
Proje Debisi	1,5 m <sup>3</sup> /sn	Üretim	30.05.2010

Tablo 15. DÜK-II'nin senkron generatör bilgileri

Tipi	SFW2800-12/1730	İkaz gerilimi (yükülü/ yüksüz)	96 V / 34 V
Çıkış gücü	2975 kW	İkaz akımı (yükülü /yüksüz)	326A / 160A
Nominal gerilim	6300 V	Moment (GD <sup>2</sup> )	8,7 t.m <sup>2</sup>
Nominal akım	320,8 A	Yalıtım sınıfı	F/F
CosØ	0,85	Bağlantı	Y(Yıldız)
Frekans	50 Hz	Faz Sayısı	3
Nominal hız	500 rpm	Ağırlık	31000 kg
Ambalman hızı	893 rpm	Kısa devre oranı (SCR)	1.063
Verim	%96,6	Üretim tarihi	30.05.2010

Tablo 16. DÜK-II'nin reaktans bilgileri

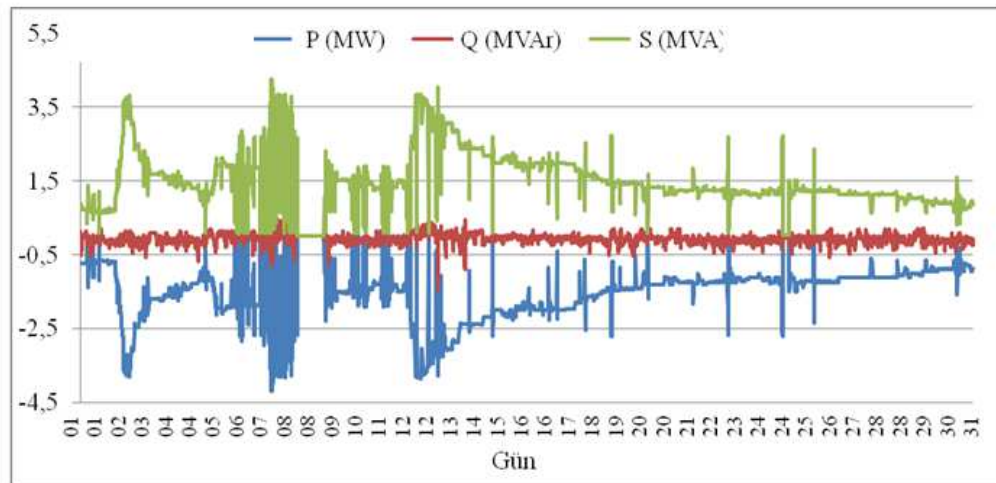
$R_{1s}$	0,0807 $\Omega$	$X_d$	1,1227	$X_q$	0,6195
$R_{2r}$	0,1917 $\Omega$	$X'_d$	0,211	$X'_q$	0,6195
$C_{3f\_s}$	0,294 $\mu F$	$X''_d$	0,1568	$X''_q$	0,185
$I_c$	0,336 A	$X_0$	0,059	$X_2$	0,1703

Tablo 17. DÜK-II'nin nötr direnç bilgileri

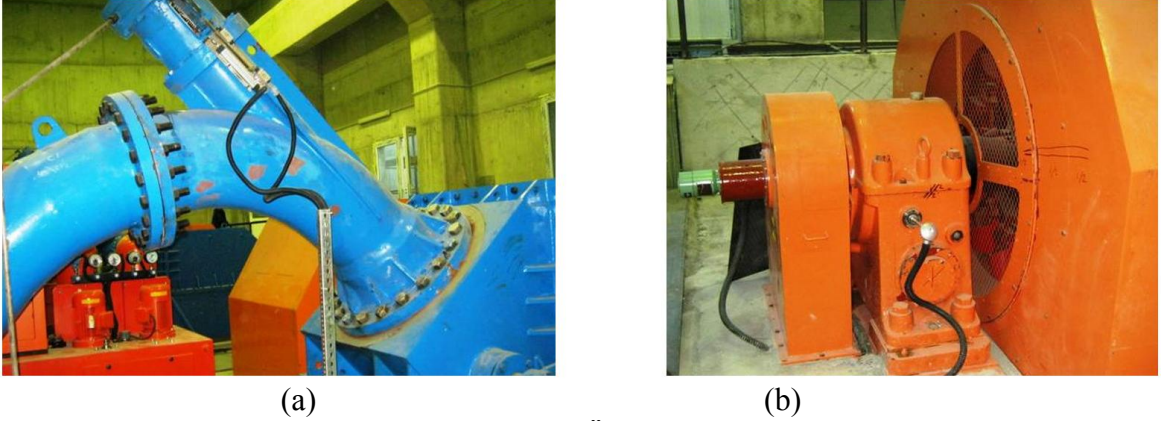
Gerilim	$6.3/\sqrt{3}$ kV
Direnç	364 Ohm
Çalışma çevrimi	10A /10sn
Tip	NTD. ms. 001.364
B.I.L	7.2/20/60 kV
Nötr akım trafosu	10/5A
Akım Trafosu	400A
Gerilim trafosu	$6.3/\sqrt{3}/24$

Tablo 18. DÜK-II'in yükseltici trafo bilgileri

Soğutma /Yağ cinsi	ONAN / NYNAS NYTRO
Güç / Faz / Hz	3,375 MVA / 3 Faz / 50 Hz
Primer / Sekonder (V)	31.5 kV $\pm$ 2x2,5% / 6,3 kV
Primer/Sekonder (I)	61,859 A/ 309,295 A
Bağlantı Tipi / %Uk	YNd11 / % 8,46
Trafo nötr direnç bilgileri	
Gerilim	$31.5/\sqrt{3}$ kV
Direnç / Çalışma çevrimi	20 $\Omega$ / 1000A /5sn
Tip	NTD. XL. 1.20
B.I.L	24/50/1,25kV



Şekil 8. Sürmene fiderinin ocak ayına ait güç değerleri



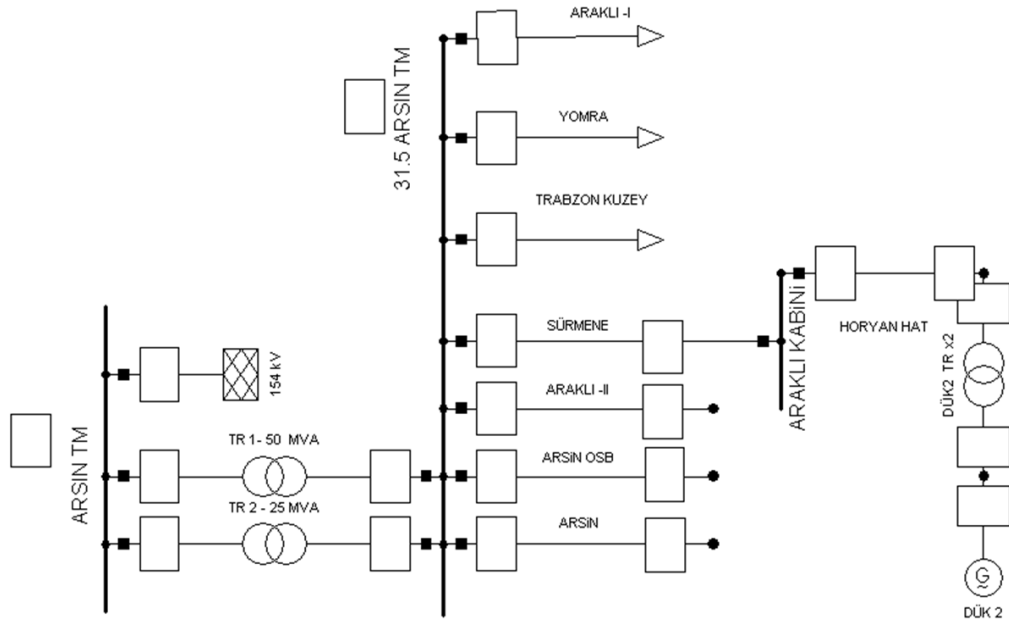
Şekil 9. (a) Türbinin önden görünüşü (b) DÜK-II'ye ait generatör [31].

## 2.2. Modellemeler

Modellemelerde fiderler ait gerçek teknik değerler kullanılmış olup, sayfaya sığmayan modeller Ek-2' de gösterilmiştir.

### 2.2.1. Arsin Trafo Merkezinin Modellenmesi

Arsin TM'nin Kurulu gücü 75 MVA'dır. 25 MVA ve 50 MVA güç trafoları TM'de paralel çalışmaktadır. YNyn0 bağlantı gruplarına sahip olan trafolar 154 kV gerilim değerini 31,5 kV'a indirmektedir. TM'ye ait modelleme Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Arsin TM'nin modellenmesi

Araklı-II, Arsin OSB ve Arsin fiderleri DPF programında ayrı çalışma sayfalarında modellenmiştir. Bu nedenle tüm modellemelere ait şekiller bağımsız olarak gösterilmiştir.

Trafo merkezine ait baraya bağlı 8 fider bulunmaktadır. Bu fiderlerin dördü Şekil 10'da görüldüğü gibi modellenmiştir. Çalışma sayfasında Araklı-I, Yomra ve Trabzon Kuzey sadece yük olarak modellenmiştir. Yüklere ait bilgiler gerçek olup, Çoruh EDAŞ'a ait enerji analizörlerinden elde edilmiştir.

### **2.2.2. Arsin Fiderinin Modellenmesi**

Arsin fideri Ek-2 Şekil 4'deki gibi modellenmiştir. Bölgede bulunan Kendirli KÖK'de bir adet tüketici olduğundan bu KÖK terminal olarak modellenmiştir. Modellemede Arsin fiderine ait iletim hatları DA, trafolar TRA, dağıtım hattı ile dağıtım trafosu arasında kalan yeraltı kabloları HA, yükler ise LA, kısaltmalarıyla isimlendirilmiştir. Çalışmada, Fatih KÖK (Arsin KÖK-I), Cezaevi KÖK (Arsin KÖK-II) ve en uzak BN olan TAH33 ait veriler grafik ile gösterilmiştir,

### **2.2.3. Arsin OSB Fiderinin Modellenmesi**

Arsin OSB fideri Ek-2 Şekil 5'deki gibi modellenmiştir. Bu fider bölgede en fazla güç tüketimine sahiptir. Bölge özel işletme olduğu için reaktif güç değeri oldukça düşüktür. Modellemede Arsin OSB fiderine ait iletim hatları D, trafolar TR, dağıtım hattı ile dağıtım trafosu arasında kalan yeraltı kabloları H, yükler ise L kısaltmalarıyla isimlendirilmiştir. Çalışmada OSB KÖK-I, OSB KÖK-II ve OSB KÖK-III'e ait veriler grafik ile gösterilmiştir, DÜK'lerin etkisi yüzde olarak belirtilmiştir.

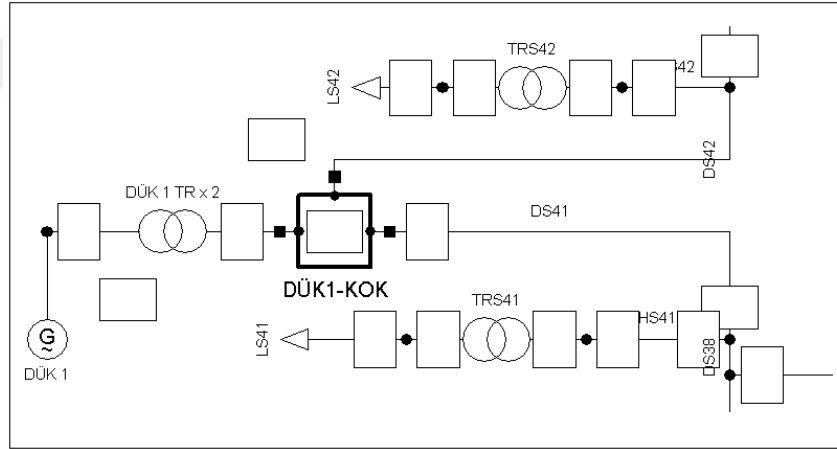
### **2.2.4. Araklı-II Fiderinin Modellenmesi**

Araklı-II fideri Ek-2 Şekil 6'daki gibi modellenmiştir. Modellemede Araklı-II fiderine ait iletim hatları DS, trafolar TRS, dağıtım hattı ile dağıtım trafoları arasında kalan yeraltı kabloları HS, yükler ise LS kısaltmalarıyla isimlendirilmiştir. Çalışmada, Fındıklı KÖK, Buzluca KÖK, Selimoğlu HES KÖK (DÜK-I KÖK) ve Atayurt KÖK'e ait veriler grafik ile gösterilmiştir. Fiderin uzunluğu yaklaşık 50 km olup DÜK-I'in TM'ye uzaklığı yaklaşık 14 km'dir. DÜK-I 8,76 MW kurula güce sahiptir. Santralde iki adet eşit gücte

generatör vardır. DPF yazılımında, eşit güçteki generatörler ve trafoların ayrı modellenmesi yerine, hepsi tek bir simge olarak modellenebilir. Şekil 11'de gösterildiği gibi iki adet generatör tek bir generatör olarak gösterilmiştir. Araklı-II fiderine ait güç değerleri, trafo bilgileri ve dağıtım hattına ait bilgiler Çoruh EDAŞ'a enerji analizörlerinden elde edilmiştir. DÜK-I ait teknik bilgiler ise ilgili Selimoğlu HES işletmesinin izni ile alınmıştır.

#### 2.2.4.1. DÜK -I'in Modellenmesi

DÜK-I'e ait generatör ve trafolar aynı özelliğe sahip olduğundan paralel olarak modellenmiştir. DÜK-I'in Araklı-II fiderindeki konumu Şekil 11'de gösterilmektedir. DÜK-I'in şebekedeki konumu Ek-2 Şekil 3 ve Ek-2 Şekil 6'da görülmektedir. DÜK-I ait generatörün nominal gerilim değeri, güç katsayısı, statorun bağlantı şekli ve kısa devre parametresinin modellenmesi Şekil 12 ve Şekil 13'de gösterilmiştir.



Şekil 11. DÜK-I'in modellenmesi

Name	DÜK-I	
Nominal Apparent Power	5.03	MVA
Nominal Voltage	6.3	kV
Power Factor	0.9	
Connection	YN	

Şekil 12. DÜK-I 'in nominal değerleri



Subtransient Reactance saturated value $x_d''_{sat}$ <input type="text" value="0,186"/> p.u.	Steady-State Shc. Current <input type="checkbox"/> Ik instead of Reactances
Stator Resistance rstr <input type="text" value="0,002"/> p.u. <input type="button" value="→"/>	
Zero Sequence Data Reactance $x_0$ <input type="text" value="0,072"/> p.u. Resistance $r_0$ <input type="text" value="0"/> p.u.	Negative Sequence Data Reactance $x_2$ <input type="text" value="0,208"/> p.u. Resistance $r_2$ <input type="text" value="0"/> p.u.
For single fed short-circuit Reciprocal of short-circuit ratio ( $x_{dsat}$ ) <input type="text" value="0,77"/> p.u. Machine Type IEC909/IEC60909 <input type="text" value="Salient Pole Series 1"/> <input type="button" value="▼"/>	

Şekil 13. DÜK-I'in kısa devre parametreleri

Generatörlerde reaktans değeri KD yönünden önemlidir. Ani yük değişimleri veya KD gibi dinamik rejimlerde amortisman sargısı içermeyen senkron makineleri, geçiş (transient) reaktans karakterize eder. Geçiş rejimi esnasında akıllar devrelerini kaçak yollar üzerinden kapatırlar. Generatörlerin reaktansına ait bilgiler Şekil 14 ve 15'de gösterilmiştir. Yükseltici trafo ise Şekil 16'daki gibi modellenmiştir.

Synchronous Reactances $x_d$ <input type="text" value="1,409"/> p.u. $x_q$ <input type="text" value="1,394"/> p.u.	
Reactive Power Limits Minimum Value <input type="text" value="-1"/> p.u. <input type="button" value="→"/> Maximum Value <input type="text" value="1"/> p.u.	
Zero Sequence Data Reactance $x_0$ <input type="text" value="0,072"/> p.u. Resistance $r_0$ <input type="text" value="0"/> p.u.	Negative Sequence Data Reactance $x_2$ <input type="text" value="0,208"/> p.u. Resistance $r_2$ <input type="text" value="0"/> p.u.

Şekil 14. DÜK-I'in reaktans bilgileri

Time Constants		Reactances	
Td''	0.02 s	xd''	0.186 p.u.
Td'	0.31 s	xd'	0.259 p.u.
Tdc	0.2960282 s	Steady-State Shc. Current	
<input type="checkbox"/> Enter Tdc manually		Ikdc	1.2 p.u.
Stator Resistance		Nominal Frequency	
rstr	0.002 p.u.	50.	Hz

Şekil 15. DÜK-I'in reaktans bilgilerinin modellenmesi

Generatörlerde kaçak yolun manyetik direnci büyük olacağından geçiş reaktansı senkron reaktansa göre oldukça küçük olur ve geçiş reaktansı, stator ve rotor sargılarının kaçak reaktansının toplamına eşit olmaktadır.  $X_d$ , boyuna senkron reaktans olup değeri en büyük, stator ile rotor arasındaki hava aralığı en küçüktür.  $X_q$  ise enine senkron reaktans olup değeri en küçük, stator ile rotor arasındaki hava aralığı en büyüktür [32].

Name	31.5/6.3 kV 5500 kVA		
Technology	Three Phase Transformer		
Rated Power	5.5	MVA	
Nominal Frequency	50.	Hz	
Rated Voltage		Vector Group	
HV-Side	31.5 kV	HV-Side	YN
LV-Side	6.3 kV	LV-Side	D
Positive Sequence Impedance		Phase Shift	11. *30deg
Short-Circuit Voltage uk	7.34 %	Name	YNd11
Ratio X/R	8.5		
Zero Sequence Impedance			
Short-Circuit Voltage uk0	3. %		
SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %		

Şekil 16. DÜK-I'e ait yükseltici trafonun modellenmesi

### 2.2.5. Sürmene Fiderinin Modellenmesi

Arsin TM'ye bağlı sürmene fiderinde bulunan hat çift olup 477 MCM (Hawk) tipindedir. Bu hatlardan biri Araklı-I bölgesini beslerken diğer hat bölgede bulunan DÜK-II (Horyan HES) bağlıdır. DÜK-II'nin TM'ye uzaklığı yaklaşık 20 km'dir.

### 2.2.5.1. DÜK -II 'nin Modellenmesi

DÜK-II'e ait generatörler ve trafolar aynı özelliğe sahip olduğundan paralel olarak modellenmiştir. DÜK-II'ye ait generatörlerin güç bilgileri, stator gerilim değeri ve stator bağlantı grubu Şekil 17'de gösterildiği gibi modellenmiştir. DÜK-II'ye ait generatörlerin geçici ve alt geçici reaktans bilgileri ise Şekil 18 ve 19'daki gibi modellenmiştir. Generatörün stator sargılarının korunması için bağlanan nötr dirençler ise Şekil 20'de gösterildiği gibi modellenmiştir.

Name	DÜK-II	
Nominal Apparent Power	3.5	MVA
Nominal Voltage	6.3	kV
Power Factor	0.85	
Connection	<input type="button" value="YN"/> <input type="button" value="D"/> <input type="button" value="Y"/> <input checked="" type="button" value="YN"/>	

Şekil 17. DÜK-II 'nin nominal değerlerinin modellenmesi

Synchronous Reactances	
xd	1.1227 p.u.
xq	0.6195 p.u.
Reactive Power Limits	
Minimum Value	-1. p.u.
Maximum Value	1. p.u.
Zero Sequence Data	
Reactance x0	0.059 p.u.
Resistance r0	0. p.u.
Negative Sequence Data	
Reactance x2	0.1703 p.u.
Resistance r2	0. p.u.

Şekil 18. DÜK-II reaktans bilgilerinin modellenmesi

Bağıl kısa devre gerilimi (%uk) değeri 5 den büyük olan trafolarla omik direnç ihmal edilebilir. Güç trafolarında %uk değeri ise %5 den büyüktür [33]. Tablo 34'de trafoların %uk değerleri gösterilmiştir.

Subtransient Reactance saturated value $x_d''_{sat}$ <input type="text" value="0,1568"/> p.u.	Steady-State Shc. Current <input type="checkbox"/> Ik instead of Reactances
Stator Resistance rstr <input type="text" value="0,0025"/> p.u.	
Zero Sequence Data Reactance $x_0$ <input type="text" value="0,059"/> p.u. Resistance $r_0$ <input type="text" value="0,"/> p.u.	Negative Sequence Data Reactance $x_2$ <input type="text" value="0,1703"/> p.u. Resistance $r_2$ <input type="text" value="0,"/> p.u.
For single fed short-circuit Reciprocal of short-circuit ratio ( $x_{dsat}$ ) <input type="text" value="1,063"/> p.u. Machine Type IEC909/IEC60909 <input type="text" value="Salient Pole Series 1"/>	

Şekil 19. DÜK-II'nin kısa devre parametreleri

Dağıtılmış üretim santrallerinde kullanılan generatörlerin statorları yıldız bağlı olup nötr noktaları Şekil 20'de gösterildiği gibi 365 ohm ile topraklanmıştır. Bu topraklamanın nedeni, generatör stator sargısında meydana gelebilecek bir kısa devre durumunda hata akımını 10 amperde sınırlamaktır.

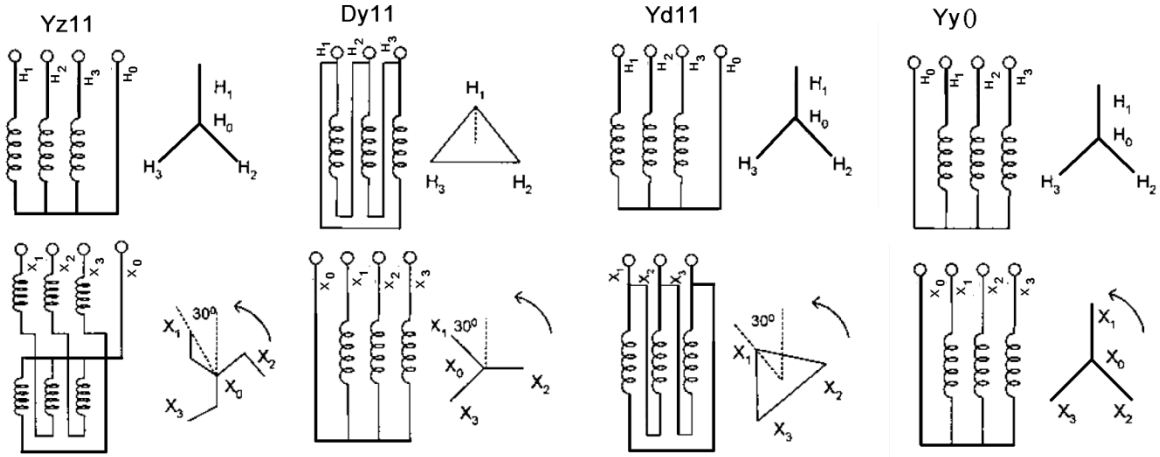
General	Grounding/Neutral Conductor
Neutral Conductor	
N-Connection	<input type="text" value="None"/> None At terminal (ABC-N) Separate terminal
Internal Grounding Impedance	
Star Point	<input type="text" value="Connected"/>
Resistance, $R_e$	<input type="text" value="365,"/> Ohm
Reactance, $X_e$	<input type="text" value="0,"/> Ohm

Şekil 20. DÜK-II'nin nötr direncinin modellenmesi

DÜK'lere ait generatörlerin çıkışlarına bağlanan yükseltici trafoların alçak gerilim tarafı üçgen, yüksek gerilim tarafı yıldız bağlı ve nötr noktası 20 ohm değerinde dirençlerle toprağa bağlanmıştır. Diğer dağıtım trafolarının hepsinin yıldız noktası ise direkt toprağa bağlanmıştır. Bu yükseltici trafoya ait güç, gerilim değerleri ve faz kayma bilgileri Şekil 21'de gösterildiği gibi modellenmiştir. Trafolarda bağlantı gruplarının sonundaki harfler faz kaymasını göstermektedir ve bunlara grup açısı denir.

Name	31.5/6.3 kV 3375kVA
Technology	Three Phase Transformer
Rated Power	3,375 MVA
Nominal Frequency	50, Hz
Rated Voltage	
HV-Side	31,5 kV
LV-Side	6,3 kV
Vector Group	
HV-Side	YN
LV-Side	D
Positive Sequence Impedance	
Short-Circuit Voltage uk	8,46 %
Ratio X/R	8,
Phase Shift	
	11, *30deg
Name	
	YNd11
Zero Sequence Impedance	
Short-Circuit Voltage uk0	3,
SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0,

Şekil 21. DÜK-II'ye ait yükseltici trafonun modellenmesi

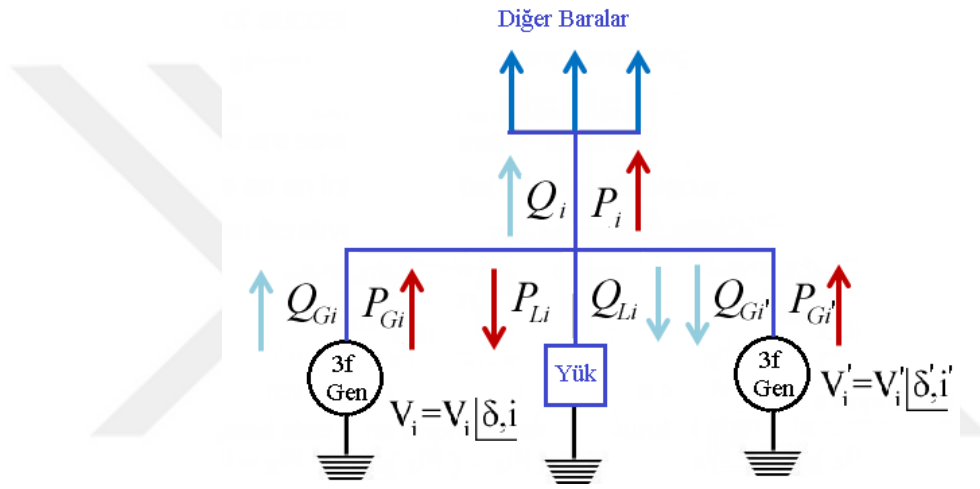


Şekil 22. Modellemede kullanılan trafoların bağlantı gruplarının sargı şekilleri [39].

Bu fiderlerdeki DÜK'lere ait generatörlerin yükseltici trafoların hepsi YNd11 tipindedir. Şekil 22'den anlaşılacağı gibi yükseltici trafonun generatöre bağlı sargıları ile dağıtım hattında bağlı sargılar arasındaki faz farkı  $330 (\pm 30)$  derecedir. Bu trafo bağlantı türü harmonik etkilerin azalmasını sağlar. Yzn11 bağlantı grubuna sahip olan trafolar nispeten düşük güce sahiptir ve genellikle dengesiz yük dağılımına sahip kırsal alanı beslerler. YNyn0 bağlantı grubuna sahip olan trafolar nispeten büyük güce sahiptir ve genellikle trafo merkezlerinde yüksek gerilimi orta gerilime düşürmek için kullanılırlar. Bu trafolar güç trafosu denir. Sargıları arasında faz farkları yoktur. Modellemede kullanılan güç trafolarının nötr uçları topraklanmıştır. Topraklamada, yüksek gerilim tarafı direkt topraklanmış, orta gerilim tarafı ise 20 ohmluk direnç üzerinden topraklanmıştır. Güç trafolarının nötr noktaları birleştirilerek topraklanması güvenlik sorunu oluşturacağından, her birinin tek olarak topraklanması önerilmektedir.

### 2.3. Gerilim Profili Analizi

Arsin TM ve fiderlerdeki bara gerilim değerleri DÜK'lerin şebekeye aktardıkları güç ile değişmektedir. Bir şebeke, tüketicilerce istenilen gücü karşılamalı, bara gerilimleri nominal sınırlar içinde tutmalıdır. Şebekede bulunan generatörler belirlenen limitler içinde çalışmalı ve şebeke ile trafolar aşırı yüklenmemelidir. Şekil 23'de basitçe gösterilen bara değişkenlerini hesap etmek için yük akışı analizi (YA) kullanılır. Bu analizle şebeke kayıpları, baralara ait gerilimin genliği, açısı ile güç değerleri gibi birçok değer hesaplanır.



Şekil 23. Bara değişkenleri

Kirşof akım kanunu şebeke için yeniden düzenlersek,

$$I_i = y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (1)$$

denklemini bulunur. Güç denklemi ise,

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad \text{ise} \quad I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2)$$

biçiminde ifade edilir. Doğrusal olmayan denklemler değişik yöntemlerde çözümlenmesine rağmen YA analizinde Newton-Raphson yöntemi tercih edilir. DPF programı Newton-Raphson yöntemini kullanmaktadır.

### 2.3.1. Yük Akışları

Bu analizlerde, şebekelerin tüm bara değişkenleri hesaplanmış, sadece belirtilen baralar için gerilim profili gösterilmiştir. Şebekenin yüklenme oranları, aktif ve reaktif güç değerleri gibi birçok parametreler belirtilen zamana göre hesap edilmiştir. DÜK'lerin şebekeye etkilerinin incelenmesi için ayrı senaryolar oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen modellemede fidere ait yüklerin üç fazlı, dengeli olduğu ve trafo nominal güçlerine orantılı olarak dağıtıldığı varsayılmıştır. Çalışma aşağıdaki başlıklara ayrılmış ve açıklamadaki senaryolar ilgili başlık içinde incelenmiştir.

- Yük akışı- I: Analiz, 13 Ocak 2015 00:30 tarihindeki üretim ve tüketim değerleri ile yapılmıştır.
- Yük akışı- II: Analiz, 29 Ocak 2015 17:30 tarihindeki üretim ve tüketim değerleri ile yapılmıştır.
- Yük akışı- III: Analiz, DÜK'lerin farklı zamanlara ait reaktif gücün mutlak değerinin en yüksek olduğu durumlar incelenmiştir.
- Yük akışı- IV: Analiz, 2020-2025 yıllarında bölgedeki yük değeri tahmin edilmiş ve yük profili incelenmiştir.

DÜK'ler şebekeye güç verirken bağlandıkları yerin gerilim değerini değiştirirler. Şebekede, bu etkiyi hesaplamak için DÜK'ler devre değilken yük akışı yapılmış ve "Durum-I" ile gösterilmiştir. DÜK'ler sırayla devreye alınmış, sadece DÜK-I devre iken yapılan analiz sonuçları Durum-II, DÜK-II devre iken yapılan analiz sonuçları Durum-III ve her iki DÜK devreyken yapılan analiz sonuçları Durum-IV ile gösterilmiştir. DÜK'ler devredeyken oluşturulan senaryolar (Durum-II, Durum-III ve Durum -IV) ile DÜK'ler devrede değilken oluşturulan Durum-I senaryosu karşılaştırılmış, aradaki fark yüzde olarak belirtilmiştir. Yukarıda bahsedilen YA-I ve YA-II senaryoları için oluşturulan modellerde kullanılan bilgiler ilgili zamana ait olup, gerçek verilerden oluşmuştur. YA-III analizinde Ocak ayı içerisinde DÜK'lerin reaktif güçlerinin kapasitif ve endüktif olarak en büyük olduğu değerler ile ilgili zamanlara ait yük değerleri elde edilmiş ve analiz bu değerlere göre yapılmıştır. YA-IV senaryosunda ise 2015 ve 2020 yıllarına ait tahmini yük değeri hesaplanmıştır. 2015 ve 2020 yılında DÜK'lerin şebekeye etkileri ortaya çıkarılmış ve yüzde olarak tablolar halinde gösterilmiştir. Modellemede, çalışma sayfasındaki hatlar üzerindeki kutucuklarda sırayla, yüklenme oranı, P, Q ve S değerleri verilmiştir.

### 2.3.2. Yük Akışı - I

Yük akışı-I senaryosunda (YA-I) TM'ye, DÜK'ler tarafından aktarılan gücün en büyük olduğu zaman 13 Ocak 2014 00.30 tarih analiz edilmiştir. Fiderlere ait güç bilgileri Tablo 19'da gösterilmiştir. Analizde fiderlere ve generatörlere ait gerçek bilgiler kullanılarak gerilim profili elde edilmiştir..

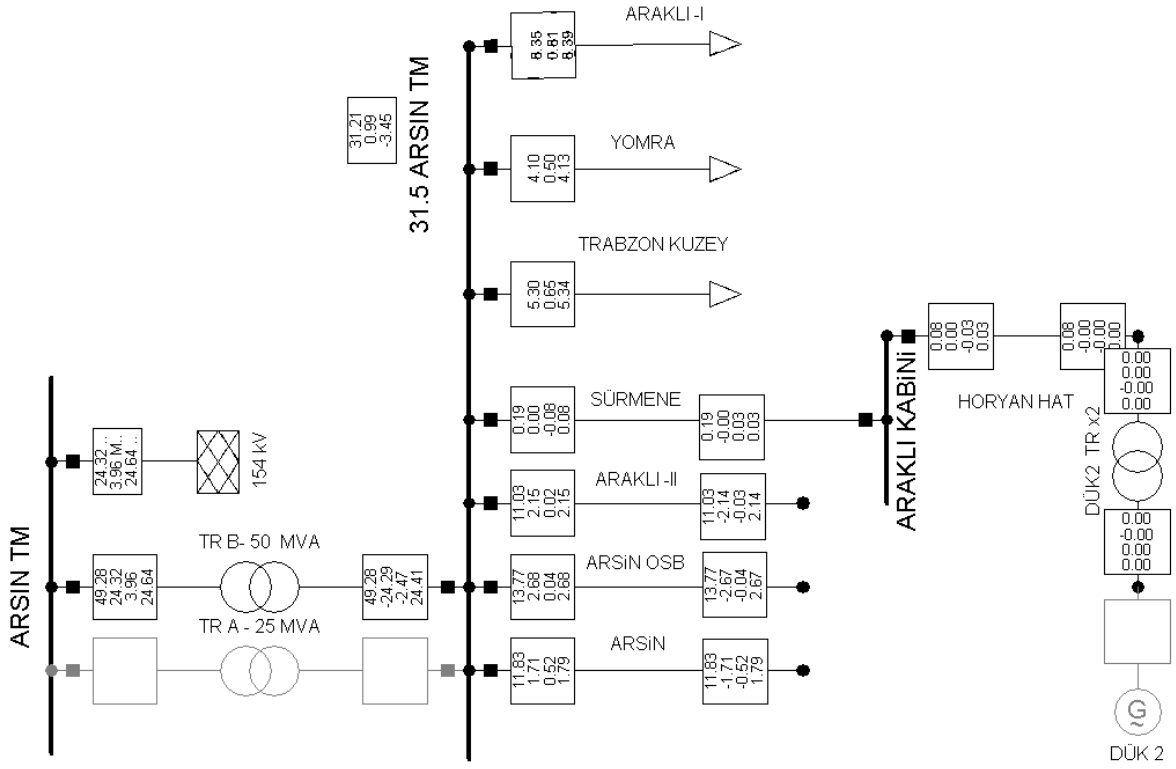
Tablo 19. YA-I'de kullanılan TM, Fider ve DÜK'lere ait güç bilgileri

Fider	Arsin	Arsin OSB	Araklı I	Araklı II	Yomra	Trabzon Kuzey	DÜK I	DÜK II
MW	1,71	2,68	8,35	-4,55	4,10	5,30	-6,70	-3,68
MVA <sub>r</sub>	0,52	0,01	0,81	1,10	0,50	0,65	0,10	0,33
MVA	1,79	2,68	8,39	4,69	4,13	5,34	6,70	3,70

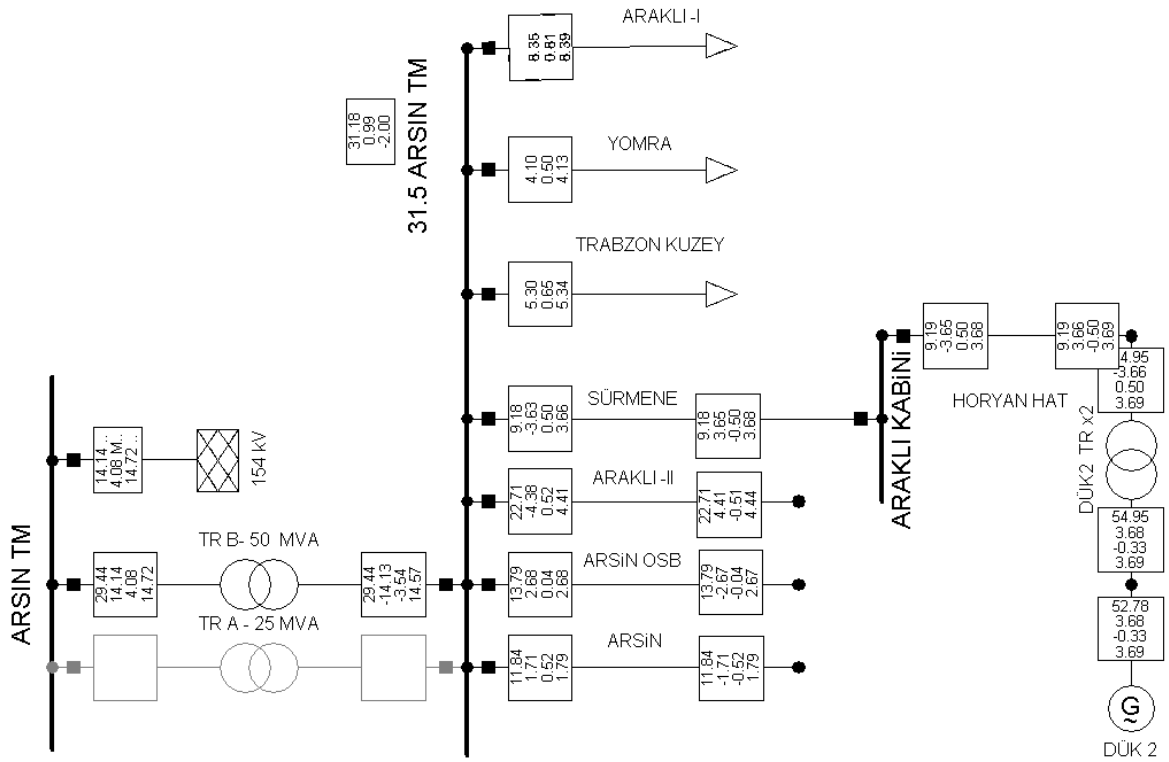
Analizde, TM'nin tüketimi 24,3 MW'dır. TR-B 'nin yüklenmesi Şekil 24'de görüldüğü gibi %49 olup tek başına çalışmaktadır. DÜK'ler, gece gerilim seviyesinin artmasını engellemek için zayıf uyarma bölgesinde çalışır. Şekil 25'de gösterilen TR-B'nin yüklenmesi DÜK'ler devredeyken %29'a düşmüştür. Tablo 20'de gösterilen değerlere bakıldığında, DÜK'lerin bu bölgede çalışması, generatör bağlantı noktalardan uzaktaki kısımlarda Şekil 26 ve 27'de görüldüğü gibi çok az da olsa gerilim düşümüne neden olmuştur. Gerilim düşümü genellikle %0,1 civarındadır. Örneğin en büyük gerilim düşümü % 1,03 ile Buzluca KÖK'de olmuştur. Bu noktada gerilim 0,997 p.u.'dan 0,987 p.u.'ya düşmüştür.

DÜK'ler bağlandıkları fiderin gerilimi artırmıştır. Özellikle DÜK-I ve civarında %3 lük gerilim artışları meydana gelmiştir. En büyük gerilim artışı DÜK-I KÖK'de olmuş, gerilim 0,985 p.u.'dan 1,014 p.u.'ya çıkmıştır. Radyal şebekenin ortasına bağlanan DÜK-I, şebekenin hat sonu geriliminide artırmaya çalışmaktadır. Bu durum Şekil 28'de gözükmemektedir. Oysa DÜK-II, TM barasına bağlı olduğu için sisteme etkisi çok azdır. Bu katkının gerilim profili yönünden önemsiz olduğu Durum-III'de açıkça görülmektedir. DÜK-I, Durum-II'de Araklı-II fiderini yaklaşık %3 oranında etkilemiş ve hat sonu gerilimini Şekil 28'de görüldüğü gibi 0,98 p.u.'dan 1,01 p.u.'ya çıkarmıştır. Özetle DÜK-I, bağlı olduğu fiderin gerilimini iki yönlü artırmış ancak TM barası ve ona bağlı diğer fiderlerin gerilimini çok az düşürmüştür. DÜK-II ise tüm fiderlerde gerilim düşümü oluştururken, bu etki DÜK-I, Atayurt KÖK ve civarında gözükmemiştir.





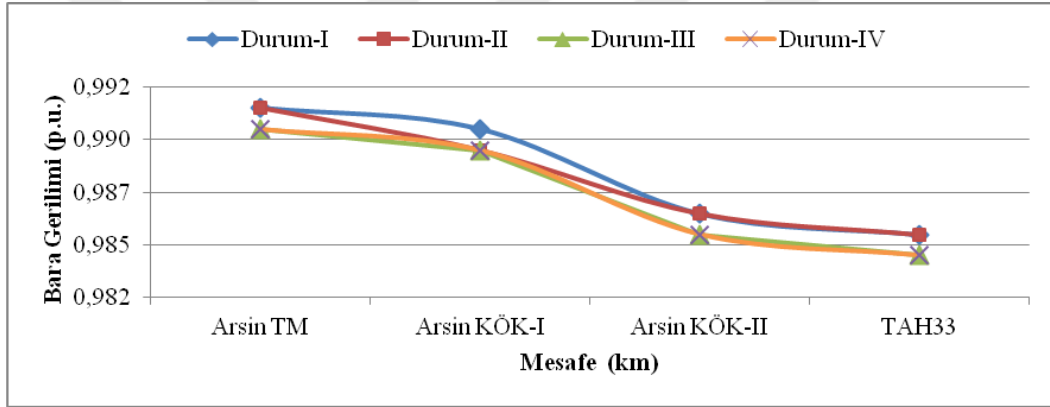
Şekil 24. YA-I de DÜK'ler devrede değilken yük akışı bilgileri



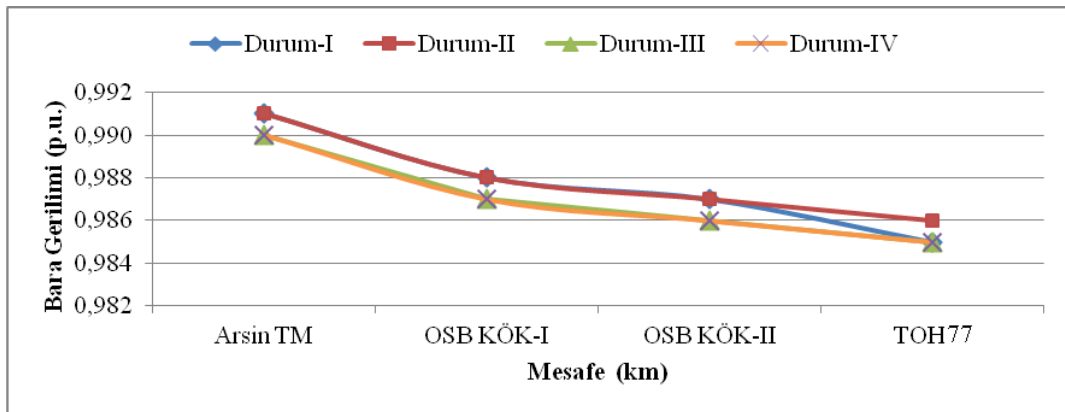
Şekil 25. YA-I' de DÜK-I-II devredeyken yük akışı bilgileri

Tablo 20. YA-I'de DÜK'lerin gerilim profiline etkileri (p.u.)

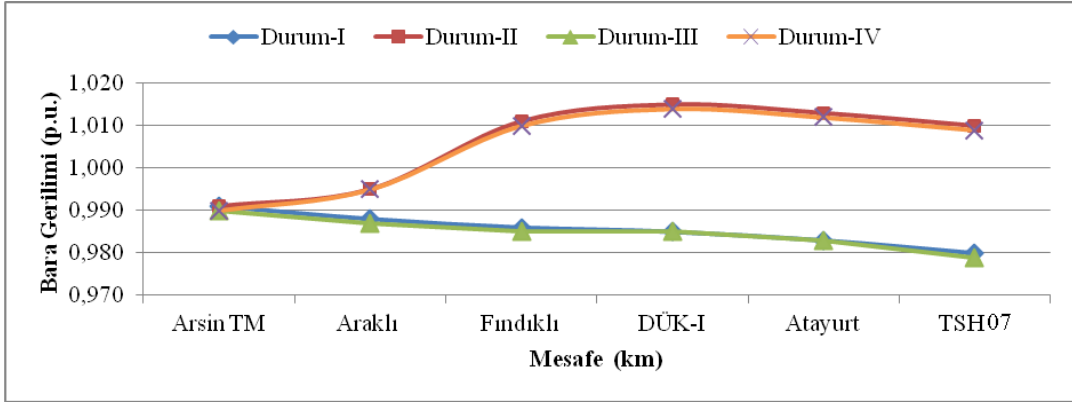
Bara adı	Durum I	Durum II	Etki (%)	Durum III	Etki (%)	Durum IV	Etki (%)
Arsin TM	0,991	0,991	0,000	0,990	-0,101	0,990	-0,101
Arsin KÖK-I	0,990	0,989	-0,101	0,989	-0,101	0,989	-0,101
Arsin KÖK-II	0,986	0,986	0,000	0,985	-0,101	0,985	-0,101
TAH33	0,985	0,985	0,000	0,984	-0,102	0,984	-0,102
OSB KÖK-I	0,988	0,988	0,000	0,987	-0,101	0,987	-0,101
OSB KÖK-II	0,987	0,987	0,000	0,986	-0,101	0,986	-0,101
OSB KÖK-III	0,988	0,988	0,000	0,987	-0,101	0,987	-0,101
TOH77	0,985	0,985	0,000	0,985	0,000	0,985	0,000
Araklı Giriş	0,988	0,995	0,709	0,987	-0,101	0,995	0,709
Buzluca KÖK	0,997	0,994	-0,301	0,987	-1,003	0,994	-0,301
Fındıklı KÖK	0,986	1,011	2,535	0,985	-0,101	1,010	2,434
DÜK-I KÖK	0,985	1,015	3,046	0,985	0,000	1,014	2,944
Atayurt KÖK	0,983	1,013	3,052	0,983	0,000	1,012	2,950
TSH07	0,980	1,010	3,061	0,979	-0,102	1,009	2,959



Şekil 26. YA-I'de Arsin fiderinin gerilim profili



Şekil 27. YA-I'de Arsin OSB fiderinin gerilim profili



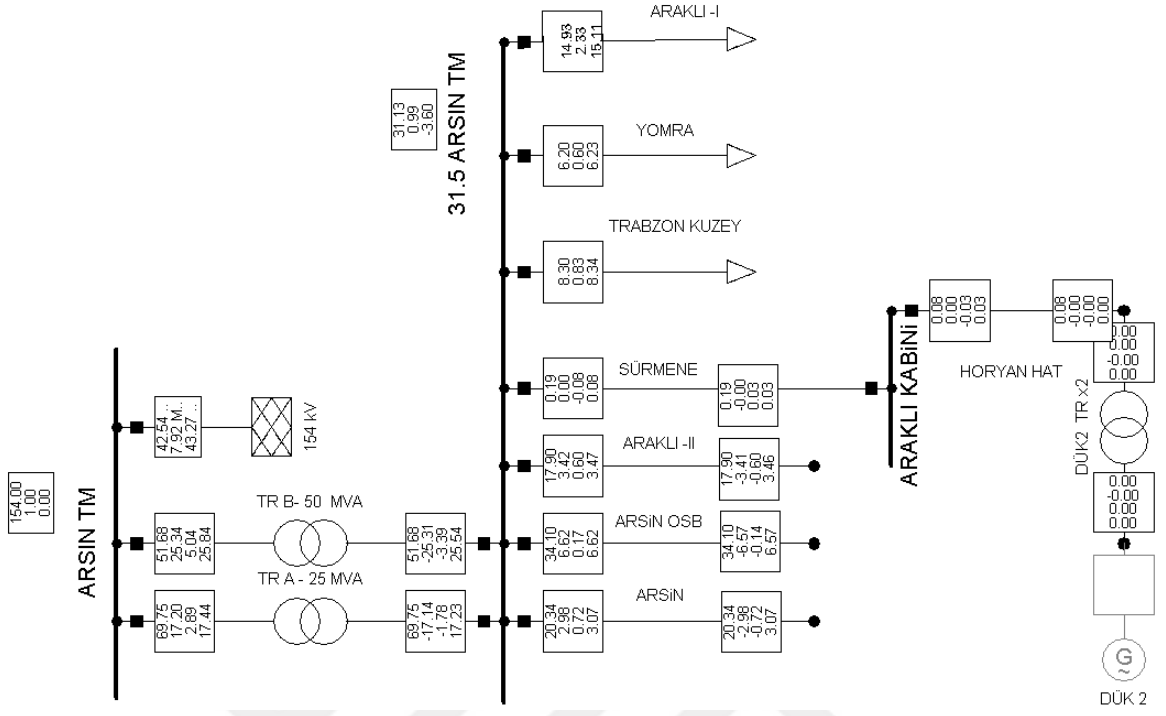
Şekil 28. YA-I'de Araklı – II fiderinin gerilim profili

### 2.3.3. Yük Akış -II

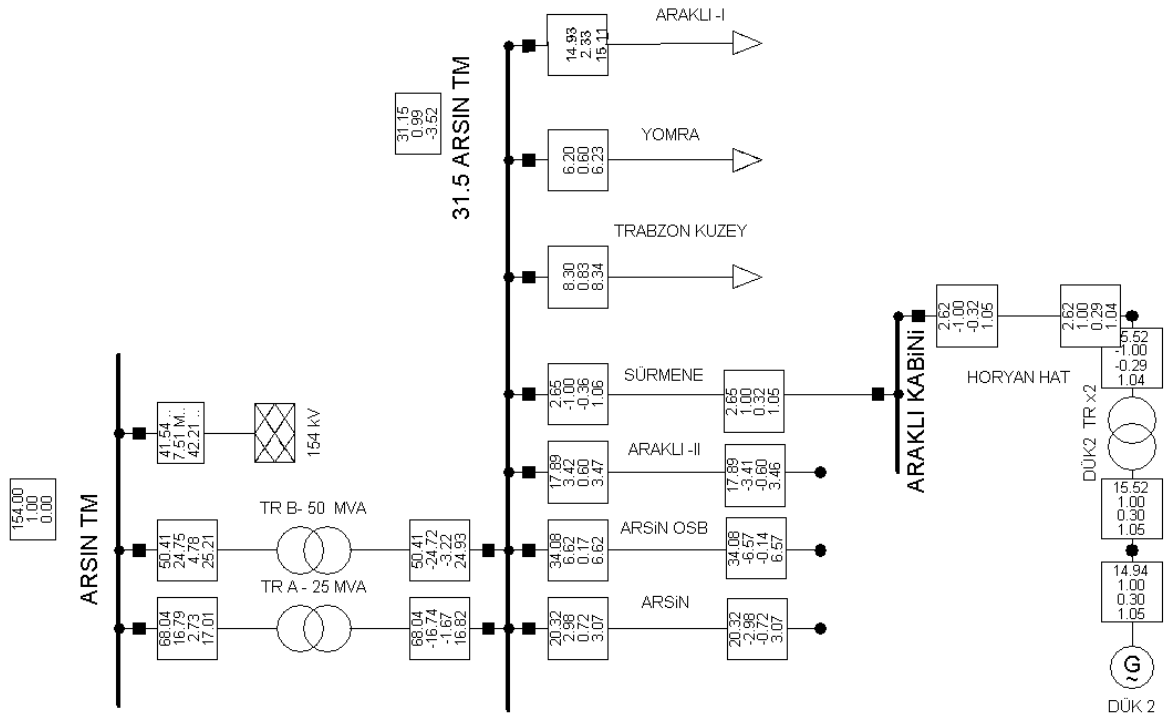
YA-II'de, TM'den çekilen gücün en büyük olduğu ortak tarih ve zaman 29 Ocak 2014 17:30 olarak belirlenmiş ve yük akışı analizi ile fiderlerin gerilim profili elde edilmiştir. Fiderler ile DÜK'lere ait elektrik tüketim ve üretim bilgileri Tablo 21'de gösterilmiştir. Güç trafoların yüklenme oranları ve TM yük akışı Şekil 29 ve Şekil 30'da gösterilmiştir. Seçilen zaman diliminde DÜK-II'in üretimi oldukça düşük ve DÜK-I üretimde değildir. Bu analizde DÜK'lerin etkisini daha iyi belirlemek için DÜK'lerin farklı günlerde fakat analiz edilen saate yakın saatlerdeki en büyük elektrik üretimi belirlenmiş ve Durum-III\* ile gösterilmiştir. Bu üretim değerleri parantez içinde ayrıca belirtilmiştir. Burada bahsedilen Durum-III\*, analiz genelinde kullanılan Durum-III'den farklı olup her iki DÜK'ün en büyük güç ürettiği durumdur. Ayrıca Durum-II'de DÜK-I'in yerine DÜK-II devreye bağlanmıştır. Bu iki durum sadece YA-II senaryosu için geçerlidir. Analiz sonuçları ve gerilim değerleri p.u. olarak Tablo 22'de gösterilmiştir

Tablo 21. Fiderlerin ve DÜK'lerin güç bilgileri

Fider Adı	MW	MVA <sub>r</sub>	MVA
Arsin Fideri	2,98	0,72	3,07
Arsin OSB Fideri	6,62	0,17	6,62
Araklı- I Fideri	14,93	2,33	15,11
Araklı -II Fideri	3,42	0,6	3,47
Sürmene Fideri	-1,02	-0,21	1,06
Yomra Fideri	6,20	0,6	6,22
Trabzon Fideri	8,30	0,83	8,34
DÜK -I/*	-/(-5,06)	-/(-0,2)	-/(5,1)
DÜK -II /*	-1.02/(-3,8)	-0.29/(-0,07)	1.06/(3,82)



Şekil 29. YA-II'de DÜK'ler bağlı değilken yük akışı bilgileri

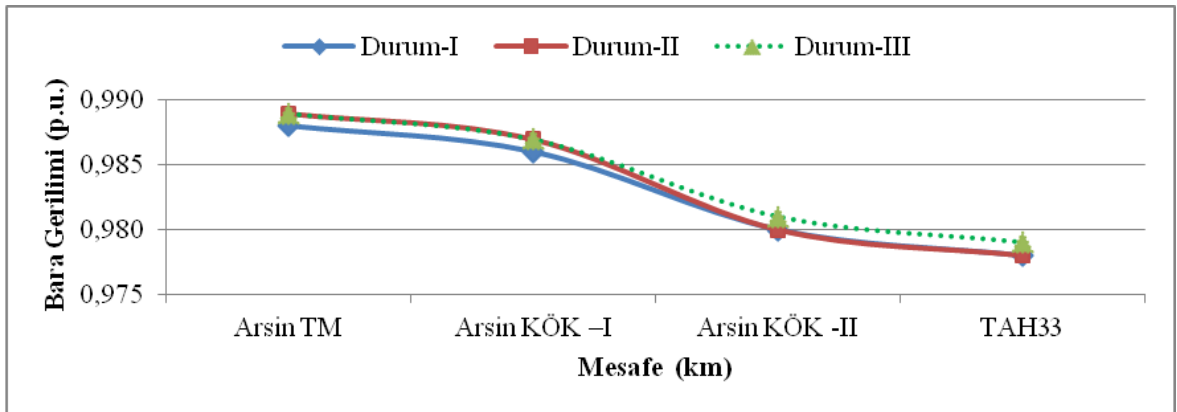


Şekil 30. YA-II'de sadece DÜK II bağlıyken yük akışı bilgileri

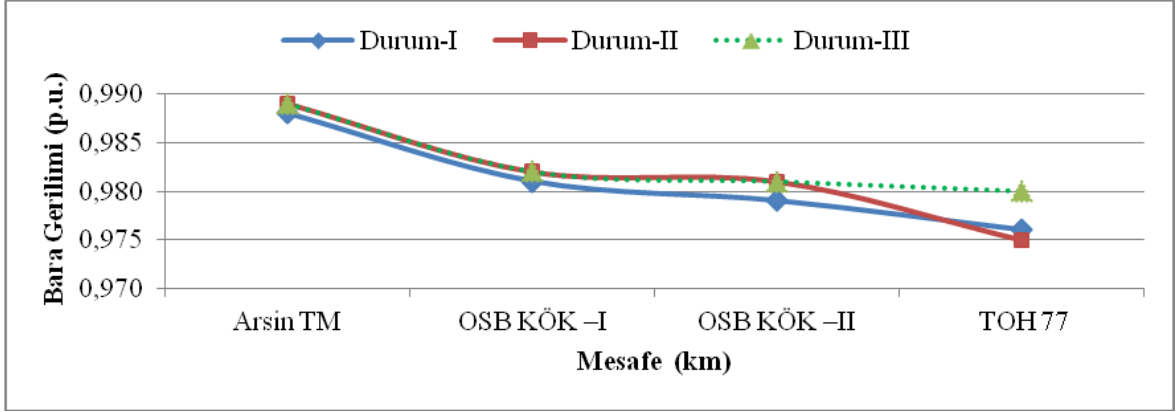
Tablo 22. Fiderlerin gerilim değerleri (p.u.)

Bara Adı	Durum - I	Durum - II	Etki (%)	Durum -III *	Etki(%)
Arsin TM	0,988	0,989	0,101	0,989	0,101
Arsin KÖK-I	0,986	0,987	0,101	0,987	0,101
Arsin KÖK-II	0,980	0,980	0,000	0,981	0,102
TAH33	0,978	0,978	0,000	0,979	0,102
OSB KÖK-I	0,981	0,982	0,102	0,982	0,102
OSB KÖK-II	0,979	0,981	0,204	0,981	0,204
OSB KÖK-III	0,980	0,979	-0,102	0,981	0,102
TOH77	0,976	0,975	-0,102	0,980	0,410
Araklı Giriş	0,984	0,984	0,000	0,991	0,711
Buzluca KÖK	0,982	0,982	0,000	0,989	0,713
Fındıklı KÖK	0,979	0,979	0,000	1,001	2,247
DÜK-I KÖK	0,978	0,978	0,000	1,004	2,658
Atayurt KÖK	0,974	0,975	0,103	1,001	2,772
TSH07	0,968	0,969	0,103	0,995	2,789

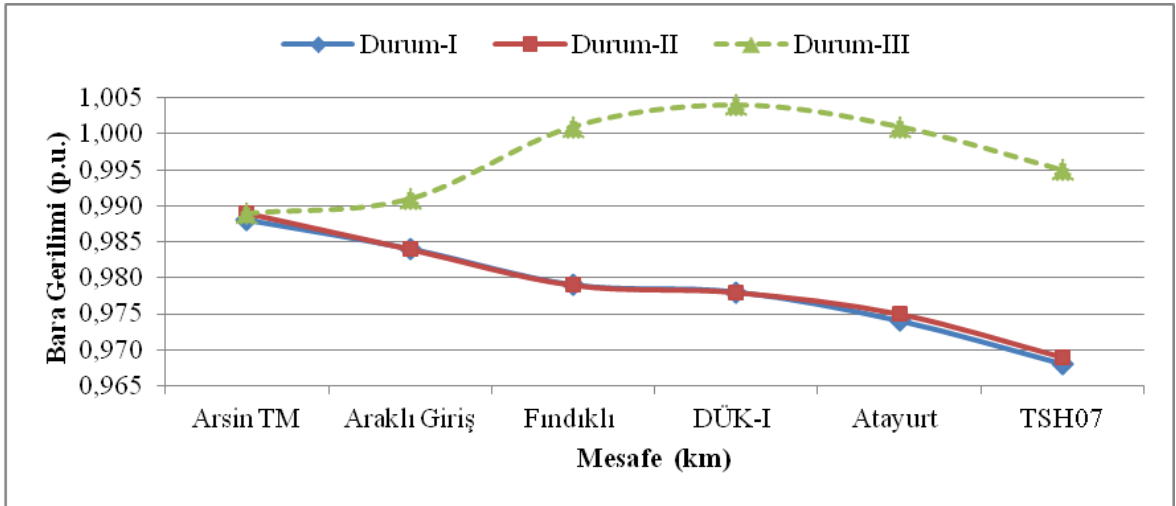
Yapılan analizde TM'deki toplam tüketim 42,54 MW'dır. TR-A ve TR-B paralel çalışmaktadır. DÜK'ler TR-A'nın yüklenmesini %68'e, TR-B'nin yüklenmesini ise %50'ye düşürmüştür. Bölgedeki her iki DÜK gündüz gerilim seviyesinin azalmasını engellemek için aşırı uyarma bölgesinde veya bu bölgeye yakın çalışmaktadır. Özellikle Durum-III\* için Tablo 22'deki değerlere bakıldığında, DÜK'lerin bu bölgede çalışması tüm fider gerilimlerinde Şekil 31, 32 ve 33'de görüldüğü gibi pozitif yönde artış oluşturmuştur. Örneğin Araklı-II fiderinin TM'ye en uzak noktası olan TSH07 barasındaki gerilim artışı en yüksek değerde olup % 2,789 'dir. Bu noktadaki gerilim DÜK'ler sayesinde Şekil 33'de görüldüğü gibi 0,968 p.u.'dan 0,995 p.u. seviyesine gelmiştir. Öte yandan Şekil 31 ve 32'de görüldüğü gibi Arsin ve Arsin OSB fiderine DÜK'lerin gerilim etkisi pozitif yönde %0,1 civarındadır.



Şekil 31. YA-II'de Arsin fiderinin gerilim profili



Şekil 32. YA-II'de Arsin OSB fiderinin gerilim profili



Şekil 33. YA-II'de Araklı-II fiderinin gerilim profili

YA-II senaryosunda, bölgedeki tüketim en yüksek değerdedir. Ancak tüketim TM zorlamamaktadır. Modellenen fiderlerdeki hatların yüklenmeleri normaldir Ancak Arsin OSB bölgesinde KÖK-I ile KÖK-II arasındaki dağıtım hattında %50'ye yakın yüklenmeler gözlemlenmiştir. Arsin OSB hızlı gelişen bir yerdir. Dolayısıyla bu hat üzerinden güç çekecek yeni tüketicilerin olması, bu hattın daha da zorlanmasına sebep olur. Bu durum YA-IV analizinde, Arsin OSB fiderinde çekilen yükün artması sonucu elektrik hattının aşırı yüklendiği gözlemlenmiştir.

Analizde genel olarak tüketim, trafo gücüne göre orantılı artırılmıştır. Bu bölgede özellikle 2,5 MVA'lık dağıtım trafolarının bulunduğu kısımda yeni merkezler oluşması bir yük yoğunluğu oluşturabilir. Bu durum özellikle KÖK-I ile KÖK-II arasındaki dağıtım hattında aşırı yüklenmeye neden olabilir.

### 2.3.4. Yük Akışı Analizi- III

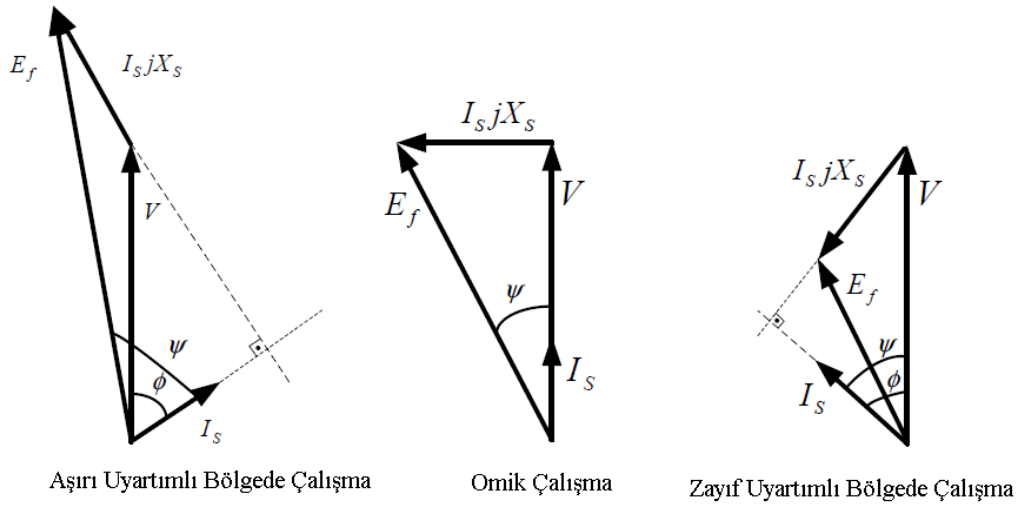
Bu analizde generatörlerin reaktif güç değerlerinin TM'ye ve fiderlere etkisi incelenmiştir. Eğer DÜK'ler zayıf uyarma (ZU) bölgesinde çalışıyorsa şebekenin reaktif gücünü kullanırlar ve geceleyin hattın gerilimini düşürürler, aşırı uyarma (AU) bölgesinde çalışıyorsa şebekeye reaktif destek sağlarlar ve hattın gerilimini yükseltirler. DÜK'ler geceleyin hattın gerilimi düşürülmeye, gündüz ise özellikle puant saatlerinde hattın gerilimi yükseltmeye çalışır. Bu analizde DÜK'lere ait üretim değerleri Tablo 23 ve Tablo 24'de gösterilmiştir. Analiz için seçilen üretim ve tüketim değerleri Tablo 25'de verilmiştir. Reaktif gücün stator gerilimi üzerindeki etkisi ise Şekil 34'de gösterilmiştir.

Tablo 23. DÜK-I için en büyük reaktif güç bilgileri

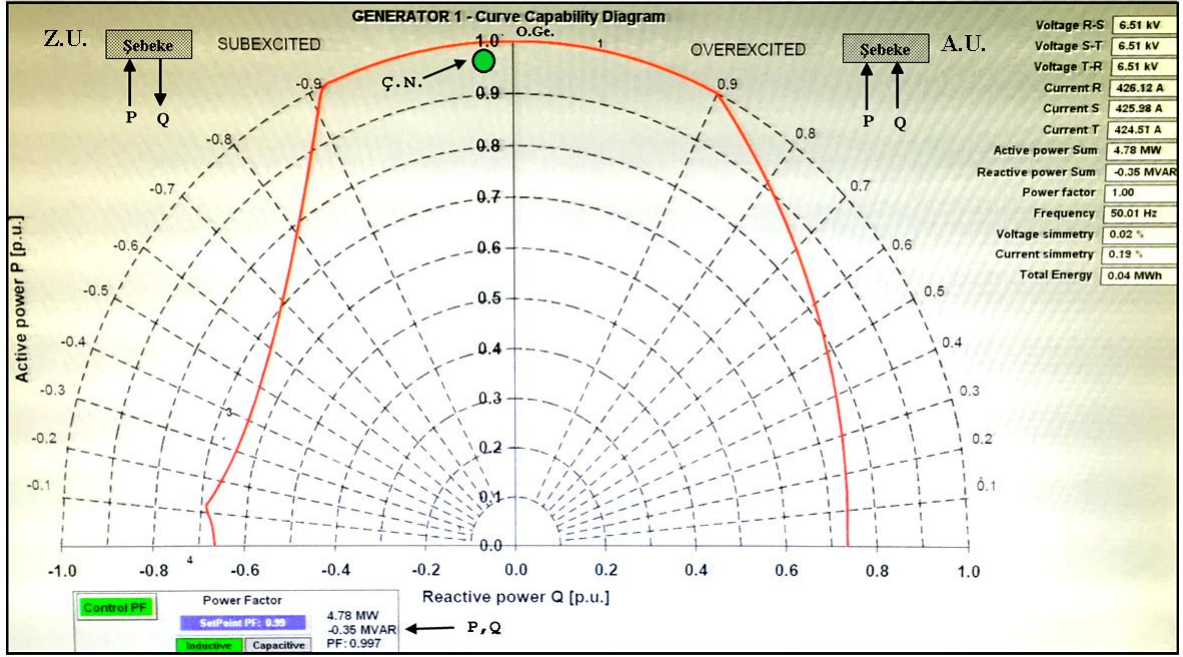
Güç / Saat	Zayıf Uyarmada Çalışma (ZU)					Aşırı Uyarmada Çalışma (AU)			
	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	07:00	08:00	09:00	11:00
P(MW)	-9,2	-9,2	-9	-9,2	-9	-9	-8,8	-9,2	-9,6
Q(MVAr)	0,18	0,92	1,09	1,06	1,07	0,55	-0,23	0	-0,39

Tablo 24. DÜK-II için en büyük reaktif güç bilgileri

	Saat	P (MW)	Q (MVAr)
ZU	01:50	-3,55	0,46
	02:40	-3,83	0,43
	04:00	-3,44	0,3
AU	08:30	-2,37	-0,91
	10:10	-3,79	-1,44



Şekil 34. Generatörün çalışma durumları (stator direnci ihmal edilmiştir) [34].



Şekil 35. Generatör çalışma eğrisi [35].

Şekil 35'de gösterilen yeşil nokta, generatörün çalışma noktasıdır. Bu nokta kırmızı renkle çizilen alanın içinde olmak zorundadır. Bu çalışma noktası, yazılım sayesinde yönetici tarafından değiştirilebilir veya şebekenin durumuna göre otomatik olarak ayarlanabilir. Eğrinin sol tarafı zayıf uyarma çalışma bölgesini (Subexcited), sağ tarafı ise aşırı uyarma çalışma bölgesini (Overexcited) göstermektedir.

Tablo 25. YA-III analizi için seçilen güç bilgileri

DÜK Bilgisi	Z.U. durumu			A.U. durumu		
	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
DÜK-I	-9,2	1,06	9,26	-9,6	-0,39	9,61
DÜK-II	-3,55	0,46	3,58	-3,79	-1,44	4,06
<b>FİDER</b>						
Arsin	1,71	0,52	1,79	2,98	0,72	3,07
OSB	2,68	0,04	2,68	6,62	0,17	6,62
Araklı-I	8,35	0,81	8,40	14,93	2,33	15,11
Araklı-II	-4,55	1,10	4,69	3,44	0,29	3,45
Yomra	4,10	0,50	4,13	6,20	0,6	6,23
Trabzon	5,30	0,65	5,34	8,30	0,83	8,34
Trafo	Yalnız TR-B			TR-A ve TR-B		
YA	YA-I'in verileri kullanılmıştır.			YA-II'nin verileri kullanılmıştır.		



### 2.3.4.1. DÜK'lerin Aşırı Uyarma Bölgesinde Çalışma Durumu

Analizde, YA-II modeline ait tüketim değerleri kullanılmıştır. Analizde, DÜK'ler devredeyken TM'nin tüketimi 42,5 MW'dan 29,5 MW'a düşmüştür. Generatörler aşırı uyarma bölgesinde çalışmaları nedeniyle şebeke bara geriliminde artışa neden olmuştur. Güç bilgilerinin okunma yeri ve işareti kolaylık olması açısından Tablo 26'da gösterilmiştir. Analiz sonuçları ve gerilim değerleri p.u. olarak Tablo 27'de gösterilmiştir. TM'ye ait yük akışı Şekil 36 ve 37'de gösterilmiştir.

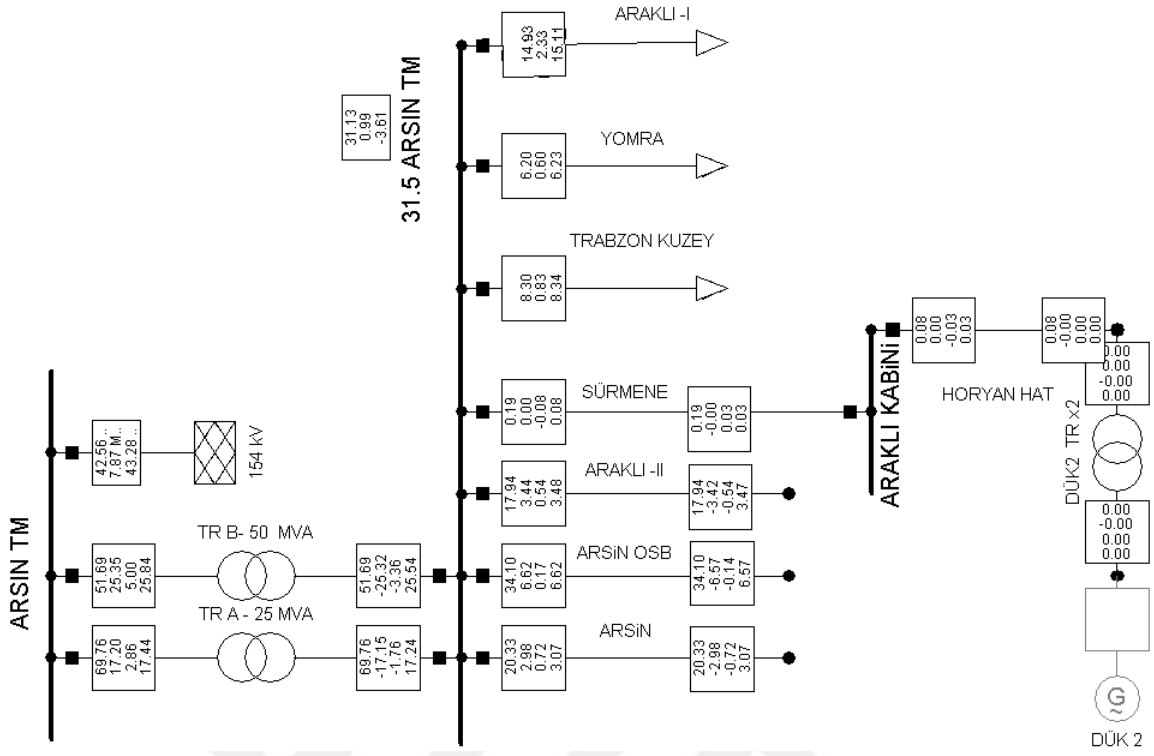
Tablo 27'de Durum IV'e bakılacak olunursa her iki DÜK'de devredeyken en büyük gerilim artışı TM'ye en uzak yer olan TSH-07 noktasında olup yaklaşık %5 oranındadır. Bu noktadaki gerilim seviyesi Şekil 40'da gösterildiği gibi 0,968 p.u.'dan 1,016 p.u.'ya çıkmıştır. DÜK'lerin TM'ye ve diğer modellenen fiderlere katkısı genel seviyede artış yönünde olup %0,3 civarındadır. DÜK-I Araklı-II fiderinin gerilimini tüm hat boyunca önemli oranda artırmıştır. DÜK-II ise modellenen fiderlerin gerilimini tüm noktalarda Şekil 38 ve 39 'da gösterildiği gibi yaklaşık %0,2 ile %0,3 arasında artırmıştır.

Tablo 26. Güç bilgileri yeri ve işareti

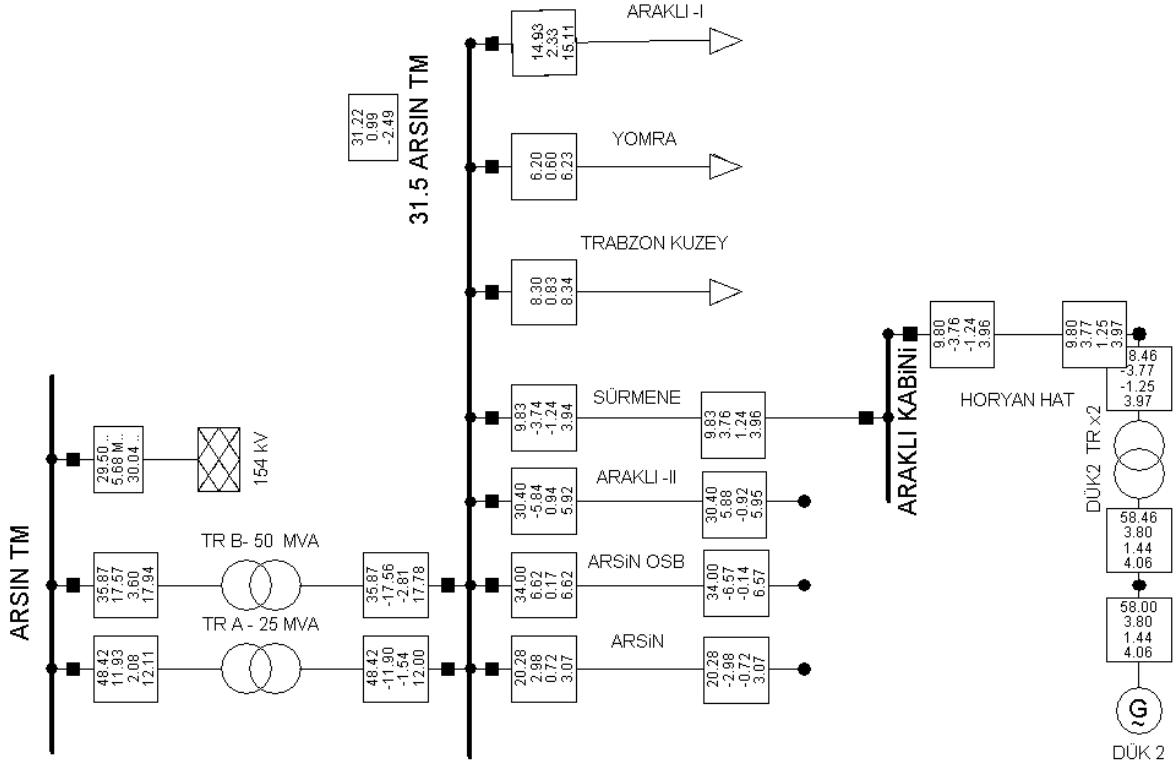
	AU			ZU			OGe		
	P	Q	S	P	Q	S	P	Q	S
Okuma yeri									
Generatör	+	+	+	+	-	+	+	0	+
Fider	-	-	+	-	+	+	-	0	+

Tablo 27. Şebekeye ait bara gerilimleri p.u. (DÜK'ler aşırı uyarı çalışıyor)

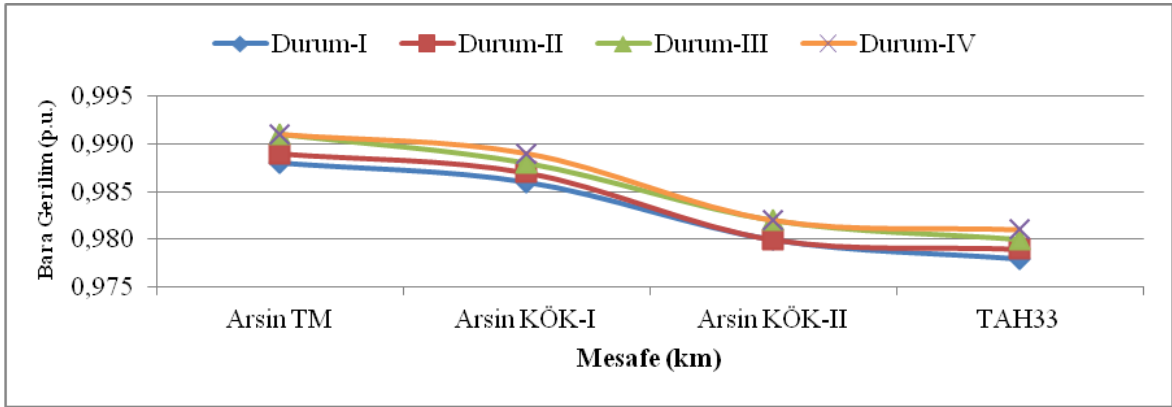
Bara Adı	Durum I	Durum II	Artış (%)	Durum III	Artış (%)	Durum IV	Artış (%)
Arsin TM	0,988	0,989	0,101	0,991	0,304	0,991	0,304
Arsin KÖK-I	0,986	0,987	0,101	0,988	0,203	0,989	0,304
Arsin KÖK-II	0,980	0,980	0,000	0,982	0,204	0,982	0,204
TAH33	0,978	0,979	0,102	0,980	0,204	0,981	0,307
OSB KÖK-I	0,981	0,982	0,102	0,984	0,306	0,984	0,306
OSB KÖK-II	0,979	0,979	0,000	0,981	0,204	0,981	0,204
OSB KÖK-III	0,980	0,981	0,102	0,983	0,306	0,983	0,306
TOH77	0,976	0,977	0,102	0,978	0,205	0,979	0,307
Araklı Giriş	0,984	0,995	1,118	0,986	0,203	0,997	1,321
Buzluca KÖK	0,982	0,993	1,120	0,984	0,204	0,995	1,324
Fındıklı KÖK	0,979	1,016	3,779	0,981	0,204	1,018	3,984
DÜK-I KÖK	0,978	1,023	4,601	0,980	0,204	1,025	4,806
Atayurt KÖK	0,974	1,019	4,620	0,977	0,308	1,021	4,825
TSH-07	0,968	1,013	4,649	0,971	0,310	1,016	4,959



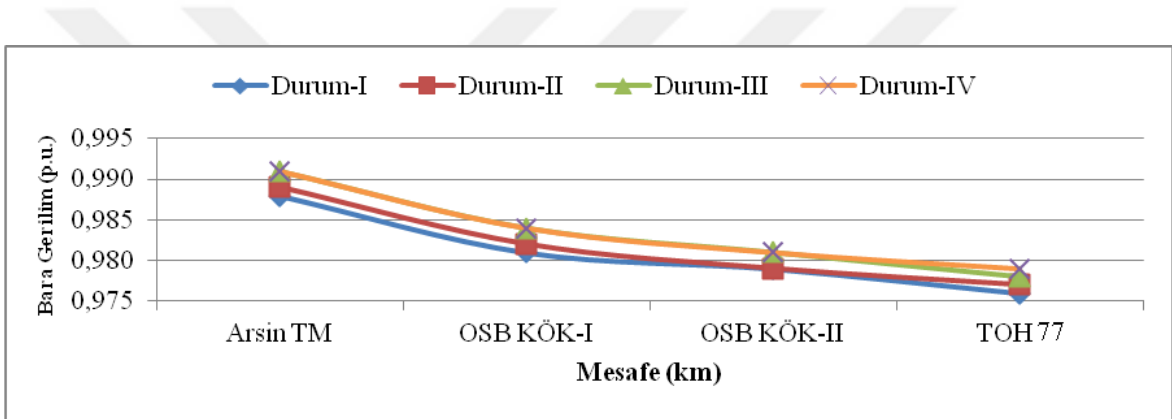
Şekil 36. Trafo merkezinin yük akışı (DÜK'ler devrede değil)



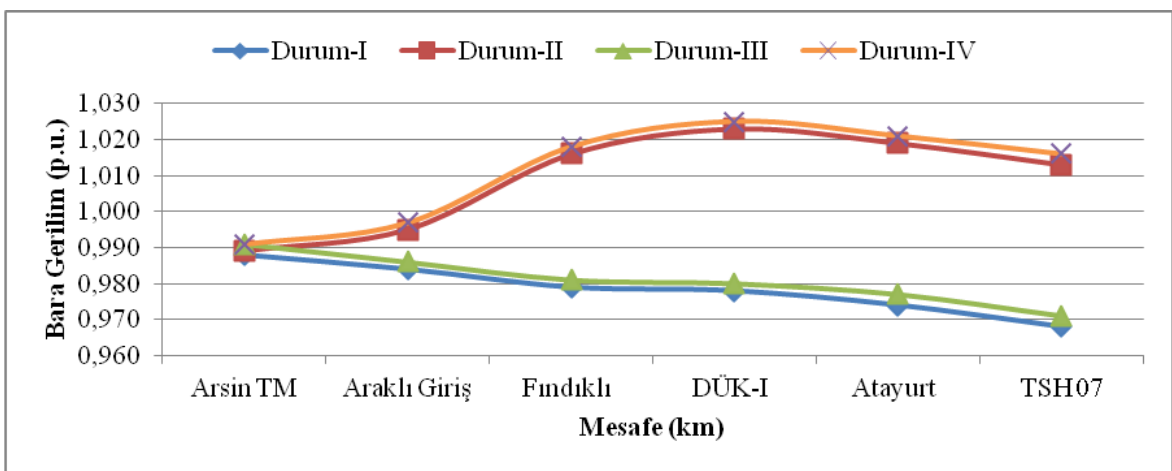
Şekil 37. Trafo merkezinin yük akışı (DÜK'ler aşırı uyarma bölgesinde)



Şekil 38. Arsin fiderinin gerilim profili (DÜK'ler aşırı uyarma bölgesinde)



Şekil 39. Arsin OSB'nin gerilim profili (DÜK'ler aşırı uyarma bölgesinde)



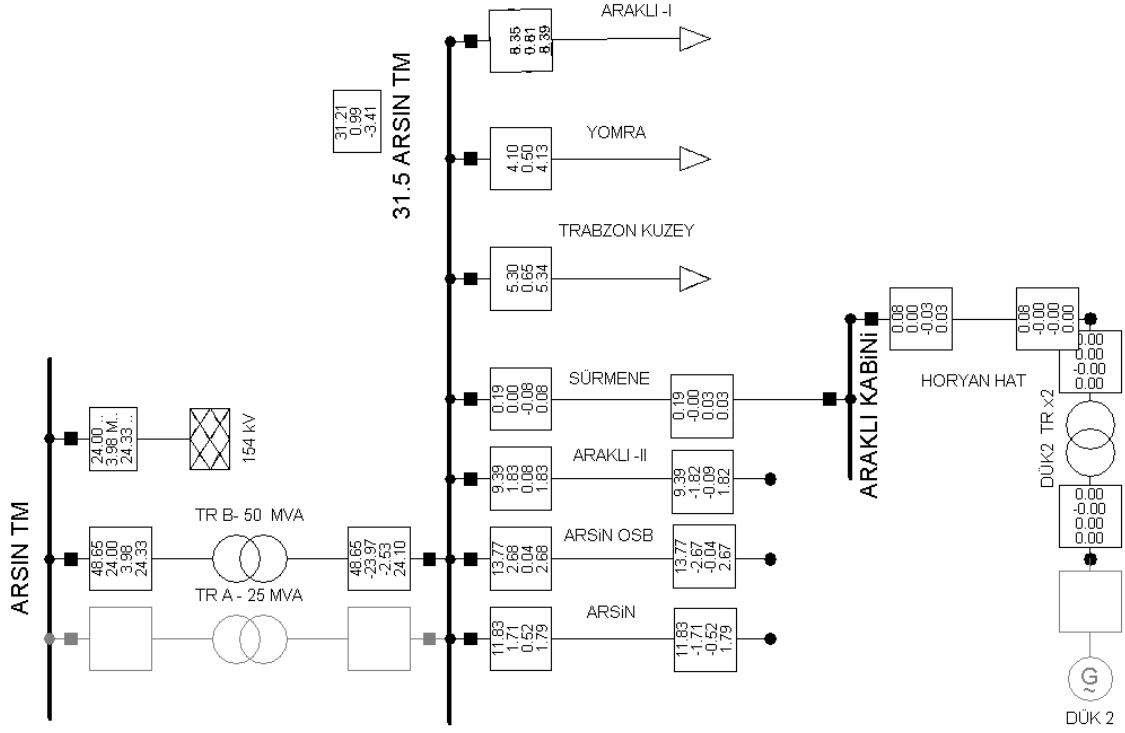
Şekil 40. Araklı-II fiderinin gerilim profili (DÜK'ler aşırı uyarma bölgesinde)

### 2.3.4.2. DÜK'lerin Zayıf Uyarma Bölgesinde Çalışma Durumu

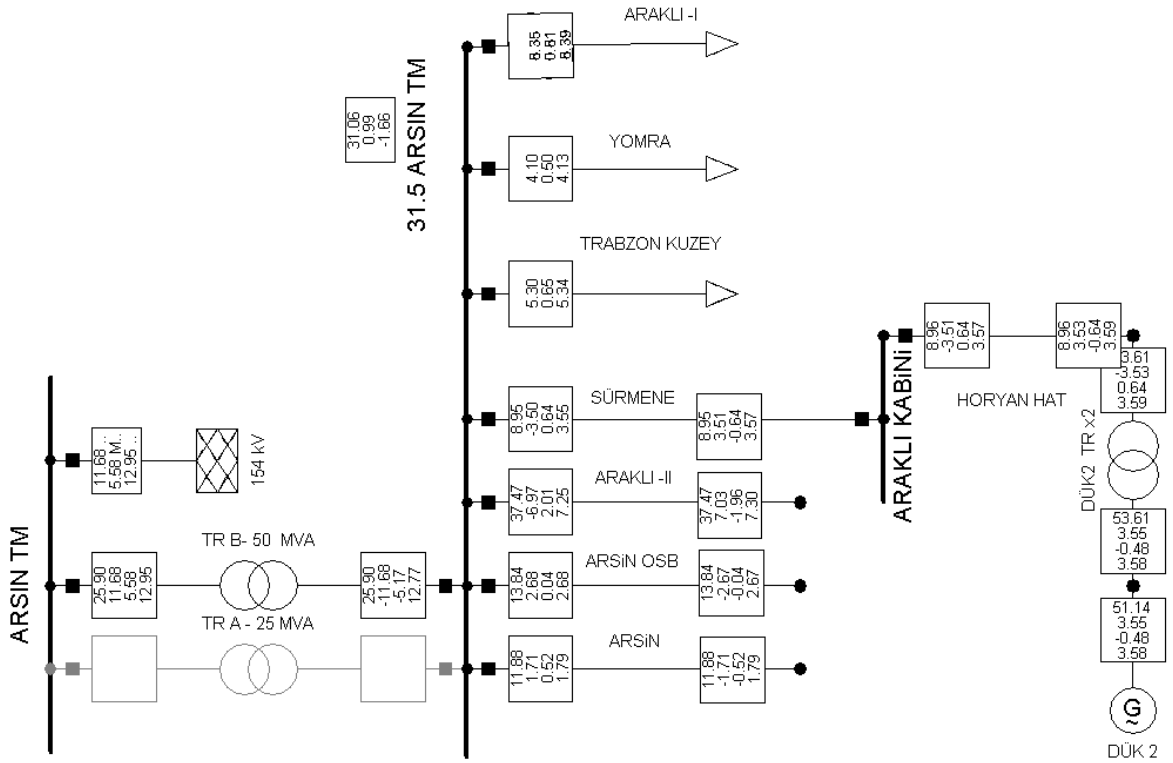
Analizde, YA-I senaryosuna ait tüketim değerleri kullanılmıştır. Analiz sonuçları ve gerilim değerleri p.u. olarak Tablo 28'de gösterilmiştir. Trafo merkezinin yük akışı Şekil 41 ve 42'de gösterilmiştir. Analizde DÜK'ler devredeyken TM'nin tüketimi 24 MW'dan 11,7 MW'a düşmüştür. Böylece TR-B'nin yüklemesi %49 'dan %26'ya gerilemiştir. Analizde, generatörler zayıf uyarma bölgesinde çalışmaları nedeniyle bağlı oldukları fiderlerde gerilim artışı oluştururken diğer fiderlerde gerilimin azalmasına neden olmuştur. Ancak bu değer yaklaşık %0,1 ile %0,5 arasındadır. Bara gerilim profilleri Şekil 43 ve 44'de gösterilmiştir. Gerilim artışları ise sadece DÜK-I devredeyken oluşmuş ve en büyük gerilim artışı TM'ye en uzak yer olan TSH-07 noktasında %3,26 oranındadır. Şekil 45'de gösterildiği gibi TSH07'de gerilim seviyesi 0,981 p.u.'dan 1,013 p.u.'ya çıkmıştır. Ayrıca fider üzerindeki en büyük gerilim Durum-II 'de 1,018 p.u. ile DÜK-I KÖK'de oluşmuştur. DÜK-I, Araklı-II fiderinin gerilimi tüm hat boyunca önemli oranda artırmıştır. Ancak DÜK-II'nin devreye girmesiyle bu fiderde az da olsa gerilim düşümü yaşanmıştır. Sonuç olarak Araklı-II fiderine bağlı DÜK-I, fiderin gerilim seviyesini baskın şekilde artırırken DÜK-II tüm fider boyunca çok az da olsa gerilim seviyesini düşürmüştür. DÜK-I devredeyken, DÜK-II'nin devreye girmesi sonucu DÜK-I KÖK geriliminde %0,2'lik azalma gerçekleşmiş, gerilim seviyesi 1,018 p.u.'dan 1,016 p.u.'ya gerilemiştir. Her iki DÜK'ün devreye girmesiyle Arsin TM'nin OG barasında gerilim seviyesi 0,991 p.u.'dan 0,986 p.u.'ya gerilemiştir. Arsin OSB KÖK'lerinde ise gerilim %0,5 oranında azalmıştır.

Tablo 28. Şebekeye ait bara gerilimleri (DÜK'ler zayıf uyarda çalışıyor)

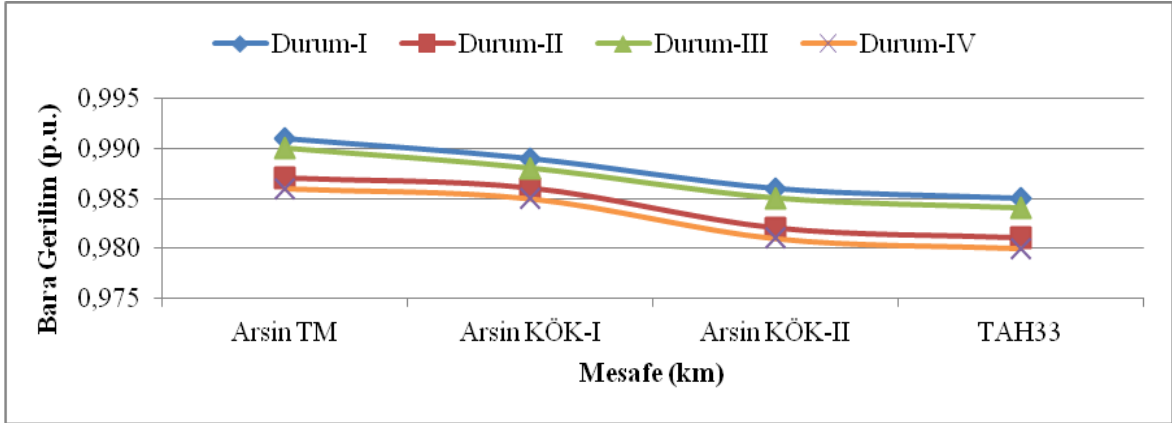
Bara Adı	Durum I	Durum II	Etki (%)	Durum III	Etki (%)	Durum IV	Etki (%)
Arsin TM	0,991	0,987	-0,404	0,990	-0,101	0,986	-0,505
Arsin KÖK-I	0,989	0,986	-0,303	0,988	-0,101	0,985	-0,404
Arsin KÖK-II	0,986	0,982	-0,406	0,985	-0,101	0,981	-0,507
TAH33	0,985	0,981	-0,406	0,984	-0,102	0,980	-0,508
OSB KÖK-I	0,988	0,985	-0,304	0,987	-0,101	0,983	-0,506
OSB KÖK-II	0,987	0,984	-0,304	0,986	-0,101	0,983	-0,405
OSB KÖK-III	0,987	0,984	-0,304	0,986	-0,101	0,982	-0,507
TOH77	0,986	0,982	-0,406	0,985	-0,101	0,981	-0,507
Araklı Giriş	0,988	0,994	0,607	0,987	-0,101	0,992	0,405
Buzluca KÖK	0,988	0,993	0,506	0,986	-0,202	0,991	0,304
Fındıklı KÖK	0,986	1,012	2,637	0,985	-0,101	1,011	2,535
DÜK-I KÖK	0,986	1,018	3,245	0,985	-0,101	1,016	3,043
Atayurt KÖK	0,984	1,016	3,252	0,983	-0,102	1,015	3,150
TSH-07	0,981	1,013	3,262	0,980	-0,102	1,012	3,160



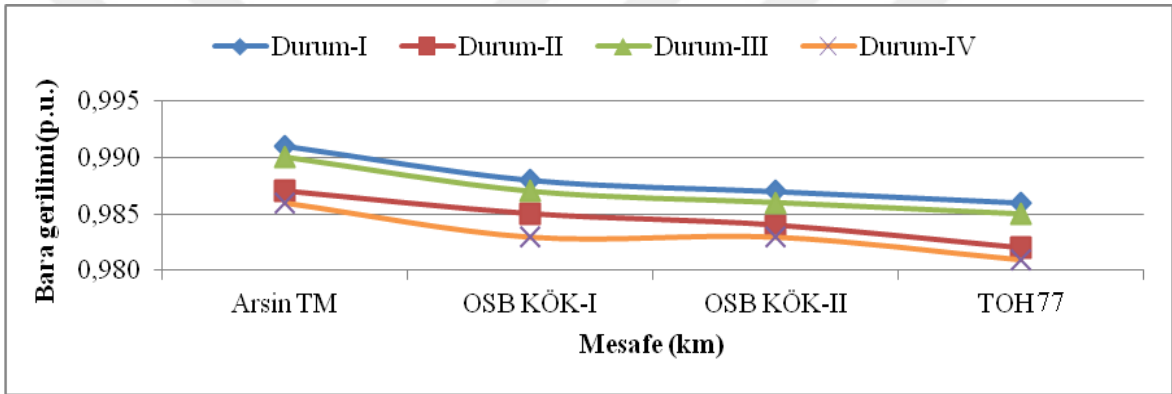
Şekil 41. Trafo Merkezinin yük akışı (DÜK'ler devrede değil)



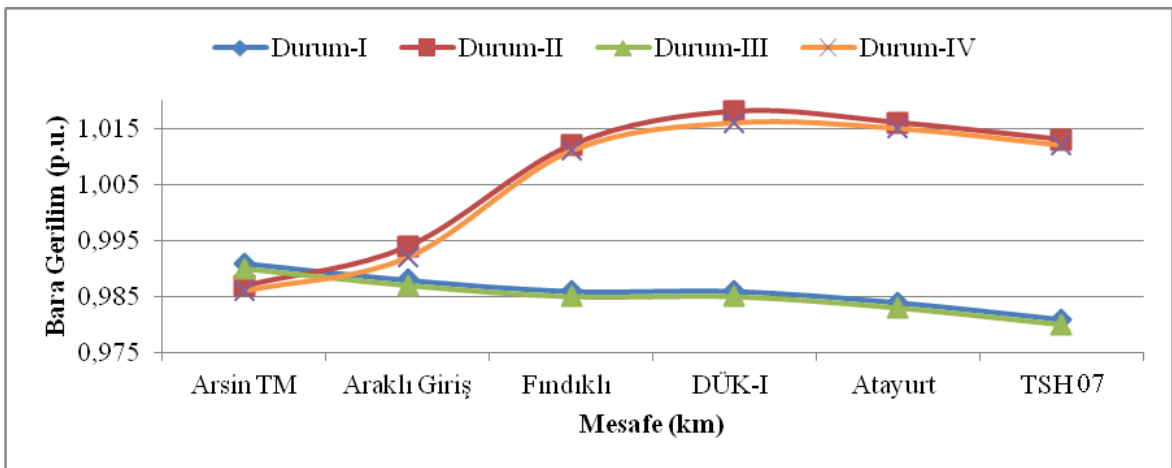
Şekil 42. Trafo Merkezinin yük akışı (DÜK'ler zayıf uyarma bölgesinde çalışma)



Şekil 43. Arsin fiderinin gerilim profili (DÜK'ler zayıf uyarma bölgesinde)



Şekil 44. Arsin OSB'nin gerilim profili (DÜK'ler zayıf uyarma bölgesinde)



Şekil 45. Araklı-II fiderinin gerilim profili (DÜK'ler zayıf uyarma bölgesinde)

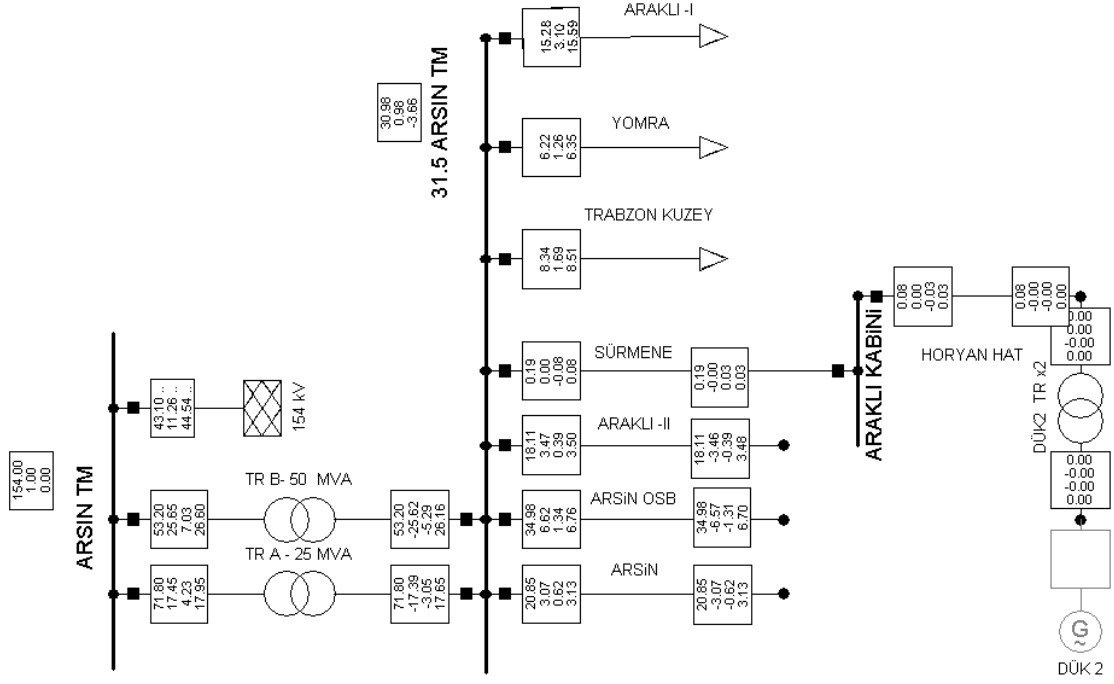
### 2.3.5. Yük Akışı - IV

Analizde, mevcut şebekenin 2020 ve 2025 yıllarında TM'den talep edeceği yaklaşık güç değeri hesaplanmıştır. Hesaplama da kullanılan artış oranı yaklaşık %5 olup bu değer Türkiye'nin son on yıldaki elektrik tüketimindeki artış oranına yakındır [38].

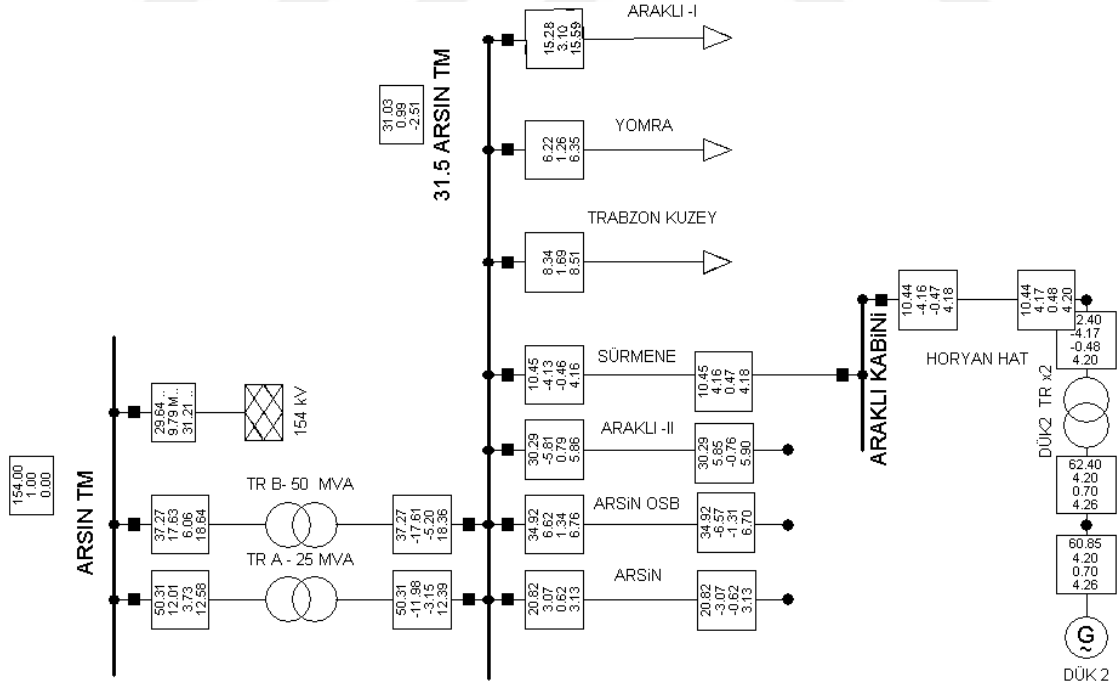
Modellemede, 2015 yılı için alınan yük değerleri, YA-II analizinde alınan değerlerdir. Bu değerler TM'den en fazla güç çekildiği zaman dilimindeki gerçek verilerdir. TM'den 2015 yılında 43 MW, 2020 yılında 55 MW, 2025 yılında 70 MW güç çekileceği tahmin edilmiş ve Tablo 29'da gösterilmiştir. Fiderlere ait gerilim profili, ilk olarak DÜK'ler devrede değilken elde edilmiş, sonra DÜK'ler devreye alınarak gerilim profiline etkileri incelenmiştir. Tablo 30'da baralara ait gerilimler ve DÜK'ler devreye alındığında oluşan gerilimler birlikte verilmiş, artışlar yüzde olarak gösterilmiştir. DÜK'lerin üretimi en büyüktür. Trafo merkezi, fiderler, dağıtım trafoları ve hatlar gelecekteki güç tüketimi esas alınarak analiz edilmiş ve şebeke gerilim profili oluşturulmuştur. Böylece gelecekte şebeke yatırımlarına ihtiyaç olup olmadığına dair fikirler edinilmiştir. Analiz sonucunda bu 10 yıl içinde mevcut kurulu güce yaklaşık bir tüketim gerçekleşebileceği hesaplanmış, güç ve dağıtım trafolarının güç tüketiminin yoğun olduğu vakitlerde yetersiz kalabileceği gösterilmiştir. 2015 yılına ait yüklenmeler Şekil 46 ve 47'de gösterilmiştir. Şekil 48'de renkli gösterilen TR-A'nın 2020 yılında %92 oranında yüklendiği, DÜK'ler devreye girdiğinde yüklenmelerin Şekil 49'da gösterildiği gibi normal olduğu, Şekil 50'de TR-A'nın 2025 yılında %119, TR-B'nin %88 yüklendiği, Şekil 51'de ise DÜK'ler devreye girdiğinde bu TR-A'nın yüklenmesi %96'ya TR-B'nin ise %71'e düştüğü belirlenmiştir. Fiderlere ait gerilim profilleri sırasıyla Şekil 52, 53 ve 54 'de gösterilmiştir.

Tablo 29. YA-IV analizi için seçilen güç değerleri

Fider Adı	2015 (MVA)	2020 (MVA)	2025 (MVA)
Arsin Fideri	3,07	4	5
Arsin OSB Fideri	6,62	8,5	11
Araklı- I Fideri	15,28	19,3	24,7
Araklı -II Fideri	3,47	4,5	5,7
Yomra Fideri	6,22	8	10
Trabzon Fideri	8,34	10,7	13,6
TOPLAM	43	55	70
DÜK	P (MW)	Q MVAr)	S (MVA)
DÜK- I	-9,6	-0,4	9,61/4,80
DÜK- II	-4,2	-0,7	4,26/2,13

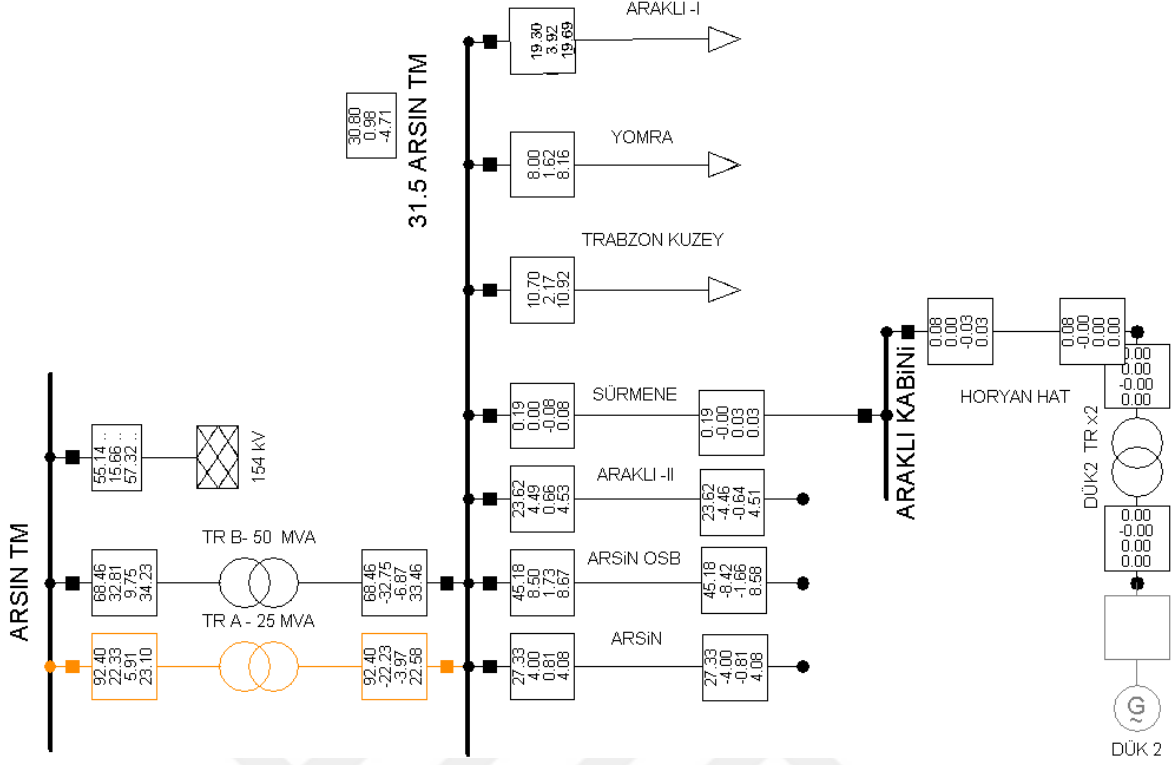


Şekil 46. 2015 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devrede değilken)

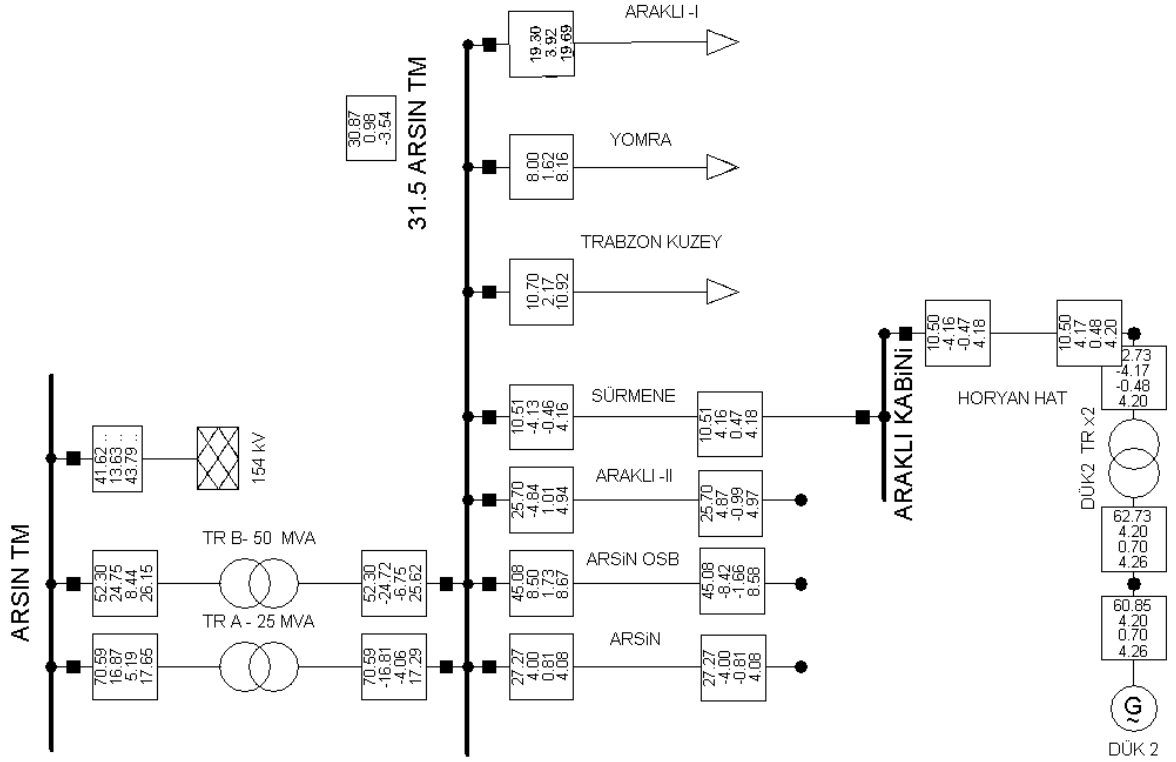


Şekil 47. 2015 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devredeyken)

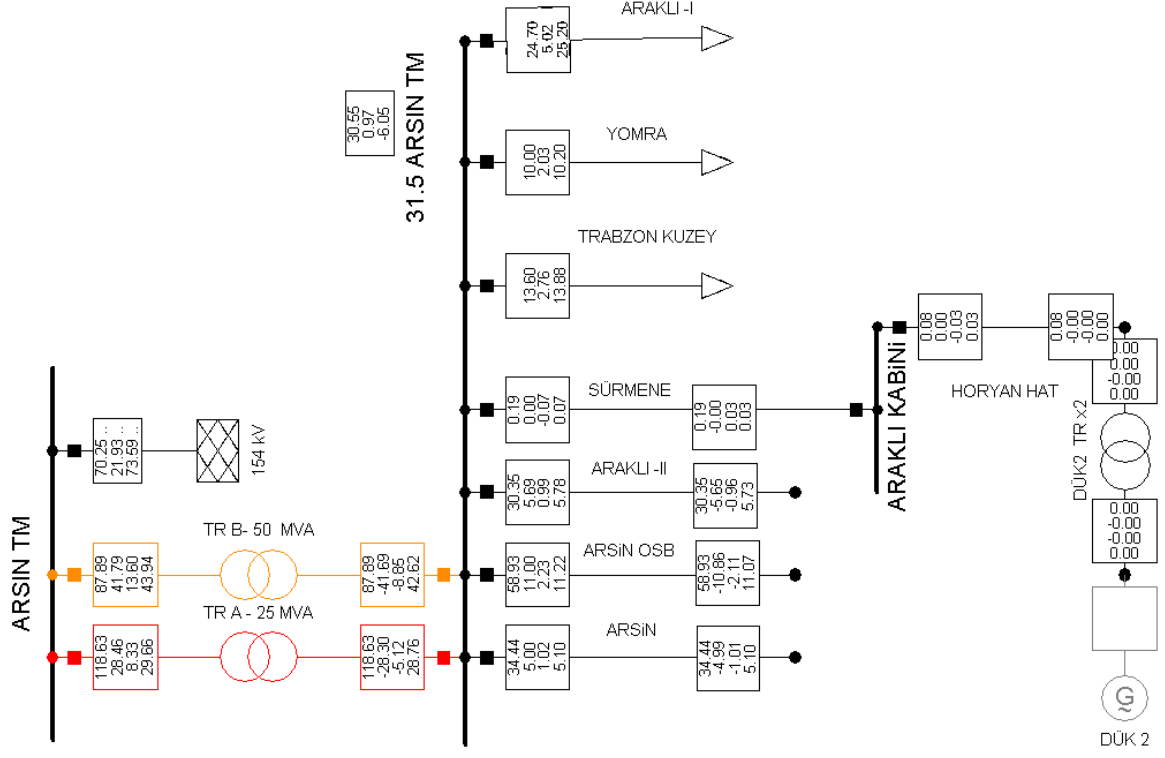




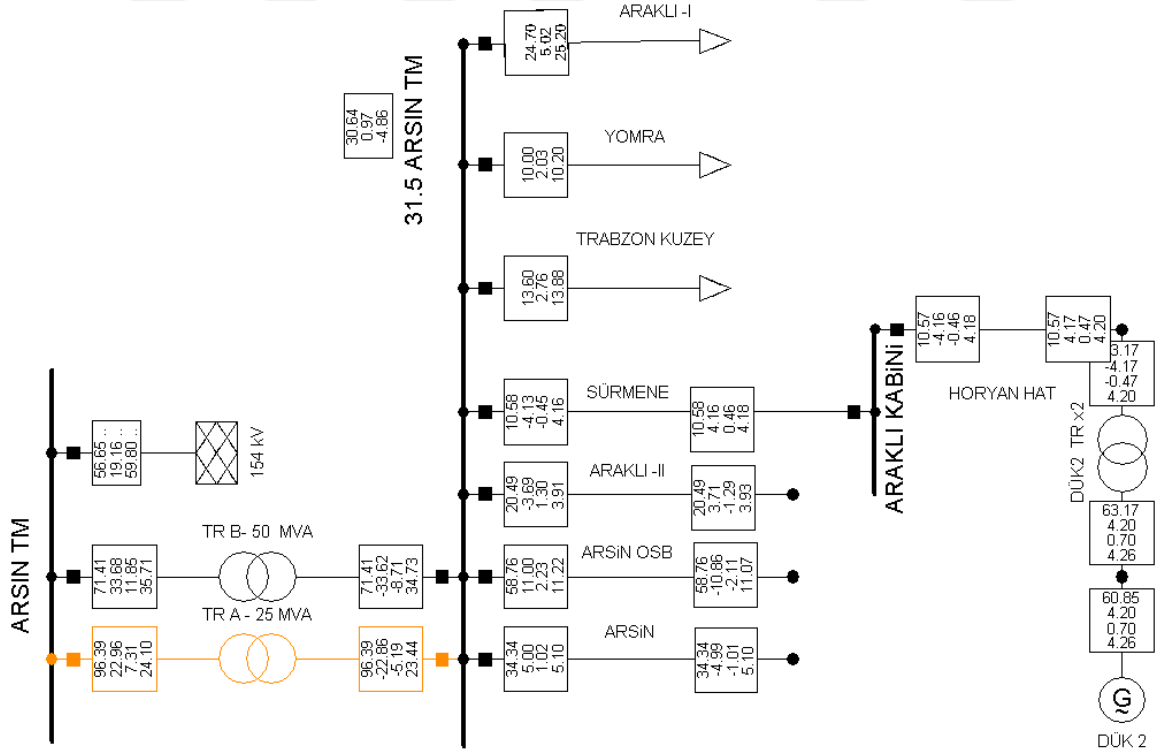
Şekil 48. 2020 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devrede değilken)



Şekil 49. 2020 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devredeyken)



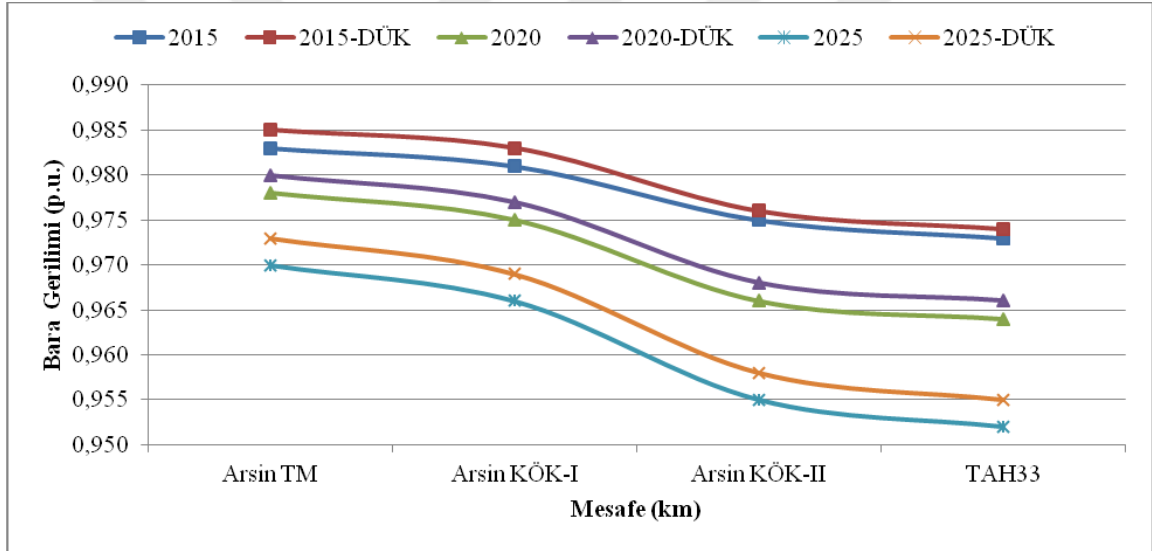
Şekil 50. 2025 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devre dışı)



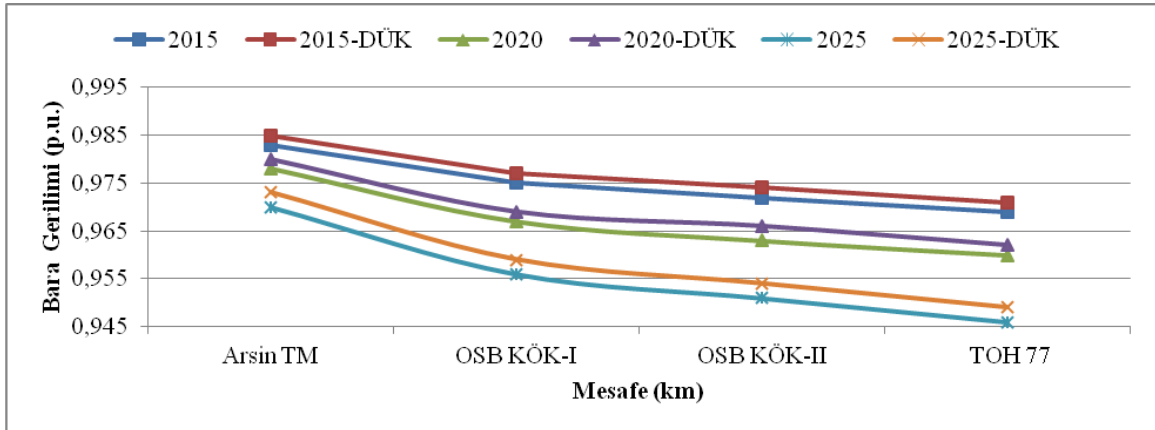
Şekil 51. 2025 yılında TM'nin yük akışı bilgileri (DÜK'ler devrede)

Tablo 30. Gelecek on yıla ait fiderlerin gerilim profili ve DÜK'lerin etkisi

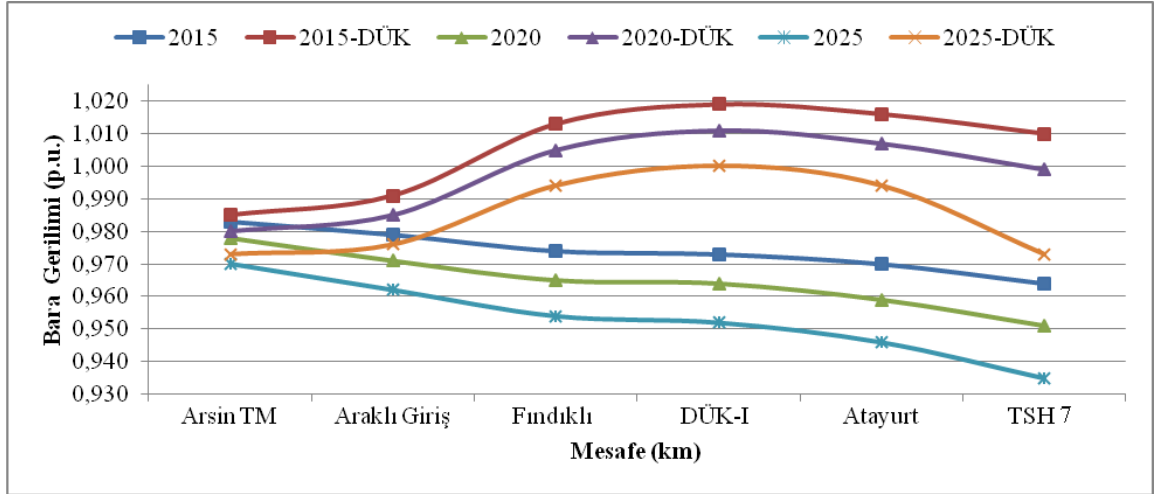
Bara Adı	2015		Artış(%)	2020		Artış(%)	2025		Artış(%)
Arsin TM	0,983	0,985	0,203	0,978	0,980	0,204	0,970	0,973	0,309
Arsin KÖK-I	0,981	0,983	0,204	0,975	0,977	0,205	0,966	0,969	0,311
Arsin KÖK-II	0,975	0,976	0,103	0,966	0,968	0,207	0,955	0,958	0,314
TAH33	0,973	0,974	0,103	0,964	0,966	0,207	0,952	0,955	0,315
OSB KÖK-I	0,975	0,977	0,205	0,967	0,969	0,207	0,956	0,959	0,314
OSB KÖK-II	0,972	0,974	0,206	0,963	0,966	0,312	0,951	0,954	0,315
OSB KÖK-III	0,974	0,976	0,205	0,966	0,968	0,207	0,954	0,957	0,314
TOH77	0,969	0,971	0,206	0,960	0,962	0,208	0,946	0,949	0,317
Araklı Giriş	0,979	0,991	1,226	0,971	0,985	1,442	0,962	0,976	1,455
Buzluca KÖK	0,977	0,990	1,331	0,969	0,982	1,342	0,959	0,973	1,460
Fındıklı KÖK	0,974	1,013	4,004	0,965	1,005	4,145	0,954	0,994	4,193
DÜK 1 KÖK	0,973	1,019	4,728	0,964	1,011	4,876	0,952	1,000	5,042
Atayurt KÖK	0,970	1,016	4,742	0,959	1,007	5,005	0,946	0,994	5,074
TSH-07	0,964	1,010	4,772	0,951	0,999	5,047	0,935	0,973	4,064
DÜK'ler	YOK	VAR		YOK	VAR		YOK	VAR	



Şekil 52. YA-IV için Arsin fiderinin gerilim profili



Şekil 53. YA-IV için Arsin OSB fiderinin gerilim profili



Şekil 54. YA-IV için Araklı-II fiderinin gerilim profili

Yapılan analizde 2015 yılı için DÜK'lerin katkısı tüm fider boyunca artış yönünde olup gerilimdeki yükselmeler %0,2 ile %4,77 arasında değişmiştir. DÜK'ler devrede değilken fiderdeki en büyük gerilim değeri 0,981 p.u. olan Arsin KÖK-I, en küçük gerilim ise değeri 0,964 p.u. olan TSH-07 terminal noktasıdır. DÜK'ler devredeyken fiderdeki en büyük gerilim değeri 1,019 p.u. değerine sahip olan DÜK-I barası, en küçük gerilim değeri ise 0,971 p.u. olan TOH77 terminal noktasıdır.

2020 yılı için DÜK'lerin katkısı tüm fider boyunca artış yönünde olup gerilimdeki yükselmeler %0,2 ile %5,05 arasında değişmektedir. DÜK'ler devrede değilken fiderdeki en büyük gerilim değeri 0,975 p.u. olan Arsin KÖK-I, en küçük gerilim değeri ise 0,951 p.u. olan TSH-07 noktasıdır. DÜK'ler devredeyken fiderdeki en büyük gerilim değeri 1,011 p.u. değerine sahip olan DÜK-I barası, en küçük gerilim değeri ise 0,962 p.u. olan TOH77 barasıdır. DÜK'ler TSH-07'de gerilimi 0,951 p.u.'dan 0,999 p.u.'ya çıkarmıştır.

2025 yılı için DÜK'lerin katkısı tüm fider boyunca artış yönünde olup gerilimdeki yükselmeler %0,3 ile %5,07 arasında değişmektedir. DÜK'ler devrede değilken fiderdeki en büyük gerilim değeri 0,966 p.u. değerine sahip olan Arsin KÖK-I, en küçük gerilim değeri ise 0,935 p.u. olan TSH-07 noktasıdır. DÜK'ler devredeyken fiderdeki en büyük gerilim değeri 1 p.u. değerine sahip olan DÜK-I barası, en küçük gerilim değeri ise 0,949 p.u. olan TOH77 barasıdır. DÜK'ler TSH-07 noktasındaki gerilimi 0,935 p.u.'dan 0,973 p.u.'ya çıkarmıştır. Ancak 2025'de Arsin OSB ve Araklı-II'nin TM'ye uzak olan noktalarında gerilim 0,95 p.u. kadar gerilemiştir. Bu istenmeyen bir değerdir.

## 2.4. Kısa Devre Analizi

Elektrik şebekelerinde kullanılan donanımların kısa devreye (KD) maruz kaldıklarında, dayanabilecekleri akım değeri ve süresi önemlidir. Özellikle koruma sistemleri için üretilen cihazların KD'yi kesme güçleri ve hangi süre dilimi içerisinde devreyi keseceği bilinmelidir. Röle koordinasyonları yapılırken KD akımı ve açma süresi de dikkate alınır [2].

Bu senaryoda, KD analizi ile şebekeye ait faz-toprak ve üç faz KD akım değerleri hesap edilmiştir. Tüm hesaplamalar IEC60909 standardına göre yapılmıştır. KD arıza analizlerinde ilk olarak DÜK'ler devrede değilken KD akımı hesaplanmıştır. DÜK'lerin KD akımına etkisini incelemek amacıyla sırasıyla DÜK-I, DÜK-II ve her iki DÜK Tablo 32'de belirtilen güç değerleri ne sahip olmak şartıyla devreye sokulmuştur. DÜK'lerin belirlenen baralardaki KD akımına etkisi Tablo 35 ve Tablo 36'de yüzde olarak gösterilmiştir.

KD analizinde, KD akımını sınırlayan etkenlerin başında nötr dirençler, hat empedansları, generatör empedansları, trafo empedansları gelir. Şebekedeki senkon ve asenkron motorların gücü ve sayısında önemli bir etkidir. KD anında, olayın gerçekleştiği noktada gerilim sıfıra gitmek ister. KD akımının hesabında tüketicilerin tüketim değeri dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle tüketicilerle ilgili herhangi bir güç tüketim bilgisi verilmemiştir.

### 2.4.1. Kısa Devrenin Tanımı

Bir elektrik devresinde, farklı gerilimli iki ya da daha fazla noktanın, bağlı olarak düşük bir empedans üzerinden kaza veya kasıt ile birbirine değmesine KD denir. Elektrik tesislerinde, faz iletkenleri arasında veya faz iletkenleri ile toprak arasında, yalıtkanın delinmesi ya da hatalı manevralar sonucu KD olayı meydana gelebilir. Şebekeler KD'nin meydana gelmesi halinde empedans değeri çok küçük olacağından akım yolu üzerindeki bütün donanımlar KD akımı sebebiyle termik ve dinamik olarak zorlanır.

Yeterli güvenlik önlemi alınmışsa, KD şebeke için sorun teşkil etmez, ancak plansız bir şebekede basit bir KD elektriksel donanımları işlevsiz hale getirmesine sebep olabilir. KD'nin kaynağı dahili veya harici etmenler olabilir. Aşırı yüklenme sonucu kabloların

yavaşça bozulmaları, yüksek gerilimler sebebiyle oluşan yalıtım hataları dahili etkenlerdir. Harici etkenler ise yıldırımlar, buz yükü ve insan hatalarıdır.

Şebekelerde empedansın değişmediği kabul edilirse akım değeri

$$L \frac{di}{dt} + Ri = E_m \sin(\omega t + \theta) \quad (3)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \theta - \phi) - I_m \sin(\theta - \phi) e^{-Rt/L} \quad (4)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanır. KD akımı AC ve DC bileşenden oluşur. AC bileşen frekansa göre değişen sürekli bir işaretken, DC bileşen  $t' = L/R$  zaman sabitine göre sönen bir akımdır. Bu ifadeyi kısaca

$$i = I_m \sin \omega t + I_{dc} e^{-Rt/L} \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Faz-toprak KD akım değeri simetrik bileşenler yardımıyla aşağıdaki denklemler yardımıyla bulunabilir.

$$\begin{vmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{vmatrix} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} I_a \\ I_a \\ I_a \end{vmatrix} \quad (6)$$

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{3} I_a \quad (7)$$

$$3I_0 Z_f = V_0 + V_1 + V_2 = -I_0 Z_0 + (V_a - I_1 Z_1) - I_2 Z_2 \quad (8)$$

$$I_a = 3I_0 = \frac{3V_a}{(Z_1 + Z_2 + Z_0) + 3Z_f} \quad (9)$$

ifadesinden hata akımı olan  $I_a$  genel ifadesinden hesaplanır.

Buradaki  $Z_{0,1,2}$  değerleri kısa devre yolu üzerindeki donanımların sıfır, doğru ve ters bileşen empedanslarıdır. Tek faz-toprak KD akımı hesaplanırken, bu üç empedans kullanılır, simetrik üç faz KD arızalarında ise ters ve sıfır bileşen empedansı gerekmez. Bu empedanslar içinde şebeke ve generatör empedansları da vardır. KD oluştuğunda generatörün uyarma alanı zayıflar ve klemens gerilimi düşer. KD empedansı, yaklaşık olarak alt subreaktansdan oluştuğu varsayılmıştır [33].

KD ile ilgili bazı tanımlar şunlardır.

- KD akımı ( $I_k$ ): KD'nin belirlediği bölgede KD süresince akan akım olup alternatif akım devrelerinde zamana bağlı olarak değişmektedir.
- Başlangıç Simetrik KD akımı ( $I_k''$ ): KD akımının ani akım bileşenidir.
- Geçiş KD akımı ( $I_k'$ ): KD'de  $I_k''$  ile  $I_k$  arasındaki geçiş akımına denir.
- Başlangıç KD gücü ( $S_k''$ ):  $I_k''$  ile nominal fazlar arası gerilimin  $\sqrt{3}$  katıdır.

Elektrik şebekesinde %70-%85 oranından tek-faz toprak KD arızası , %5-6 oranında üç faz KD arızası gerçekleşir [36,38]. IEC ye göre hesaplanan açma gücü 100 kV'a kadar 1,5 ile, 100 kV'un üzerinde 1,3 ile çarpılarak kesici gücü hesaplanır. KD akımlarının değeri iletim hatlarında sürekli değişim göstermektedir. Bu nedenle TEİAŞ trafo merkezlerine ait KD güçlerini farklı zaman ve yük durumuna göre hesaplanmıştır. Bunlar, yaz, kış ve puant saatleri olmak üzere üç durumdur [38]. Modellemede kullanılan KD akım değerleri Tablo 33'de gösterilmiştir.

Yapılan KD analizlerinde bu şebekeye ait KD akımının en büyük değeri alınmış ve modellemeye Şekil 55'de görüldüğü gibi aktarılmıştır.

Max. Values		Min. Values	
Short-Circuit Power $S_k''$ max	2700. MVA	Short-Circuit Power $S_k''$ min	1707. MVA
Short-Circuit Current $I_k''$ max	10.12237 kA	Short-Circuit Current $I_k''$ min	6.39959 kA
R/X Ratio (max.)	0.1	R/X Ratio (min.)	0.1

Şekil 55. Arsin TM'nin kısa devre güçleri

Nötr dirençler, trafoların ve generatörlerin yıldız noktasına bağlanır ve yüksek KD akımının oluşmasını engeller. Modellemede kullanılan nötr direnç değerleri Tablo 31'de gösterilmiştir. Bu dirençler aşağıdaki avantajları sunar.

- Trafoların ve generatörlerin yüksek KD akımı nedeniyle zarar görmesini engeller,
- Geçici aşırı gerilimleri sınırlandırır,
- Adım gerilimini, insan için risk taşımayan seviyelere düşürür,
- Şalt cihazlarının sağlıklı ve uzun süre çalışmasını sağlar,
- Gerilim çökme seviyesini sınırlandırır.

Modelleme de kullanılan güç trafolarının YG sargısının ortak ucu doğrudan topraklanırken, OG sargısı  $20\Omega$  nötr direnç üzerinden ayrı topraklanmıştır. Dolayısıyla KD akımı en fazla güç trafolarında 1000A olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Direncin düşük seçilmesi yüksek adım gerilimlerini önlemek ve trafo sargılarını aşırı gerilimlere maruz bırakmamak içindir. Generatörlerin stator sargısının ortak ucu  $365\Omega$  olup birbirlerinden bağımsız olarak topraklanmıştır. Dolayısıyla generatör stator sargılarında oluşacak KD akımı en fazla 10A olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Ancak yüksek nötr direnci, stator sargısını korurken, stator sargılarının aşırı gerilimle yüz yüze gelmesine neden olmaktadır. KD akımında bir diğer etken olan bağıl KD gerilim değerleri Tablo 34'de gösterilmiştir.

Tablo 31. Üretim merkezlerinin nötr direnç değerleri

	Generatörün Statoru (YN)		Yükseltici Trafo (YNd11)	
	Re ( $\Omega$ )	Xe ( $\Omega$ )	Re ( $\Omega$ )	Xe ( $\Omega$ )
DÜK 1	365	0	20	0
DÜK 2	365	0	20	0

Tablo 32. DÜK'lere ait üretilen en büyük güç bilgileri

DÜK	MW	MVA <sub>r</sub>
DÜK-I	-9,6	-0,40
DÜK-II	-4,2	-0,70

Tablo 33. Farklı zamanlara ait kısa devre akımları

	Üç-faz I <sub>k</sub> "(kA)	Faz-toprak I <sub>k</sub> " (kA)
Yaz Puantı	8,1 kA	5,2 kA
Kış Puantı	10,1 kA	6,5 kA
En Düşük Yük	6,4 kA	4,3 kA

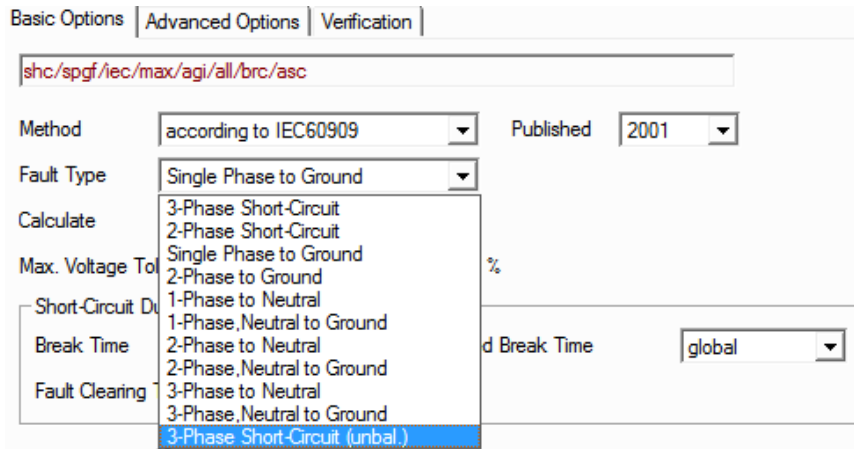


Tablo 34. Trafoların %uk ve X/R değerleri

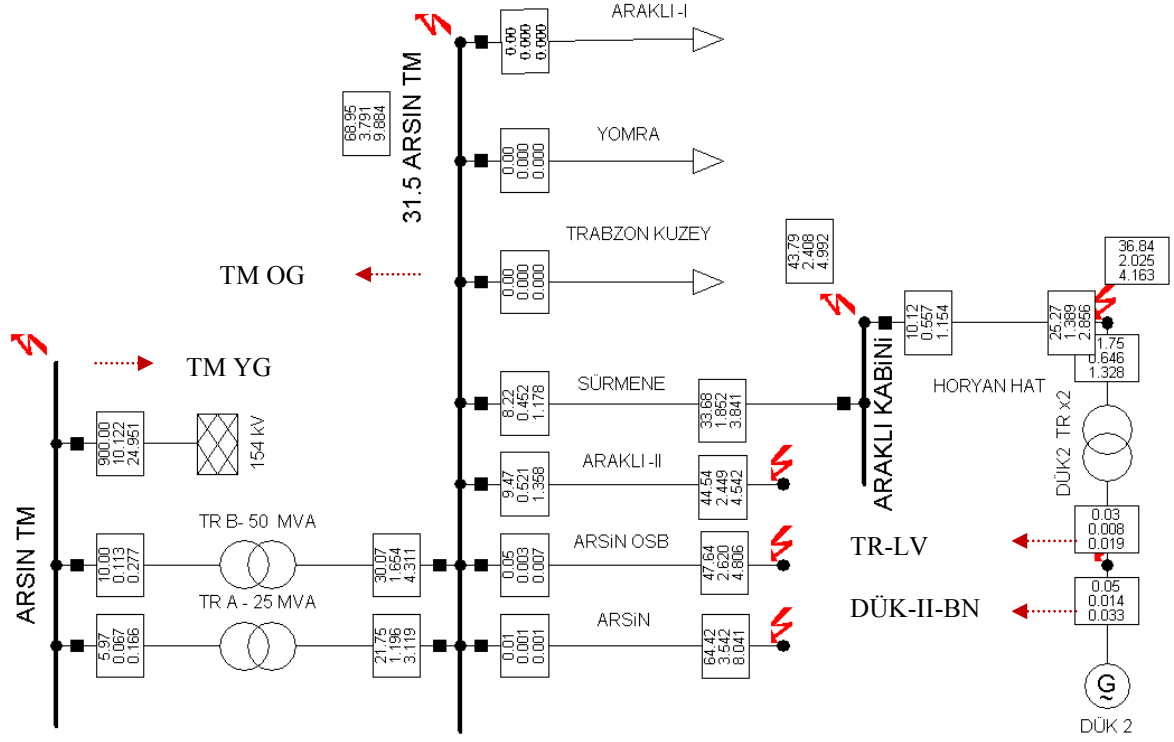
Trafo Gücü (KVA)	Kısa Devre bağlı Gerilimi (%Uk)	X/R	Bağlantı Türü	Nötr Direnci ( $\Omega$ )
50.000	12,31	50	YNyn0	0/20
25.000	9,12	20	YNyn0	0/20
5.500	7,34	8,50	YNd11	20/-
3.150	7,15	8,34	YNd11	20/-
2.500	6	6,17	Dyn11	-/0
2.000	6	5,62	Dyn11	-/0
1.600	6	5,55	Dyn11	-/0
1.250	6	5,68	Dyn11	-/0
1.000	6	5,63	Dyn11	-/0
800	6	5,42	Dyn11	-/0
630	4,5	4,14	Dyn11	-/0
400	4,5	3,53	Dyn11	-/0
250	4,5	3,05	Dyn11	-/0
160	4,5	2,64	Yzn11	-/0
100	4,5	2,08	Yzn11	-/0
50	4,5	1,49	Yzn11	-/0

#### 2.4.2. Kısa Devre Analiz Türleri

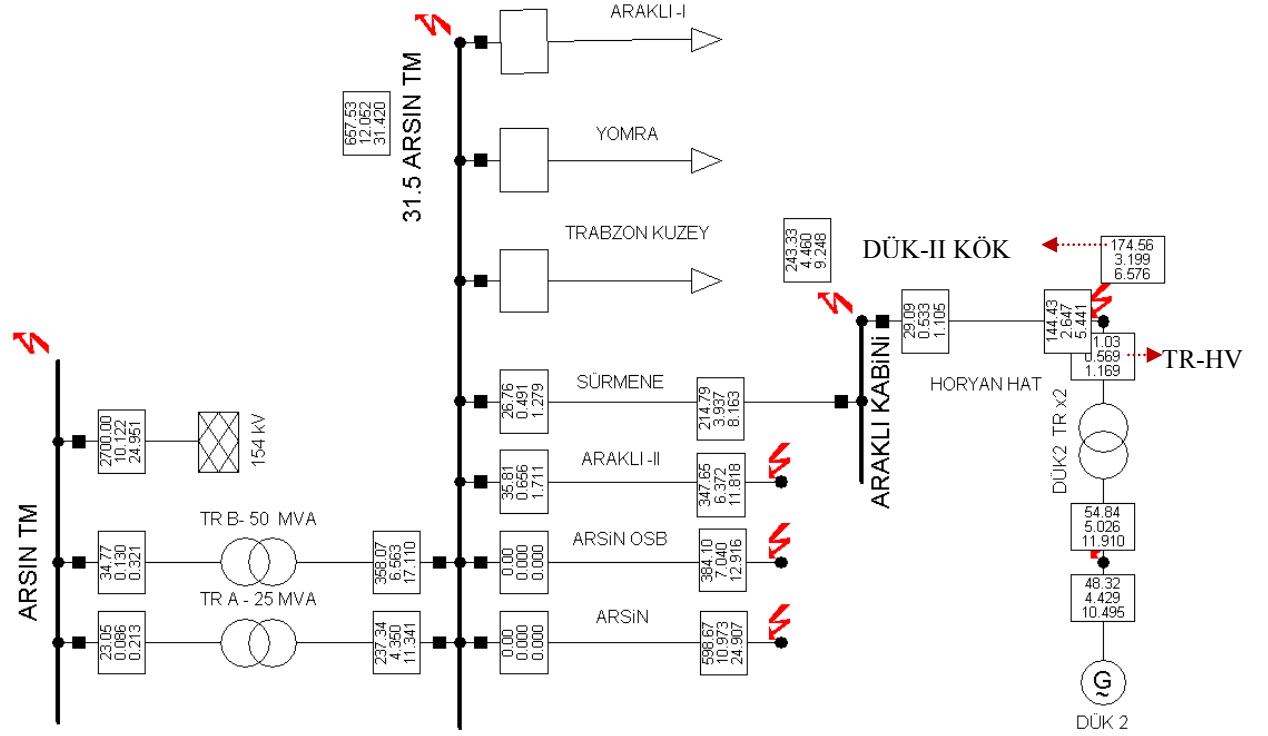
Powerfactory programında KD analizi için birçok seçenek mevcuttur. Bu durumlar Şekil 56'da gösterilmiştir. Yapılan analizde, dengeli yüke sahip radyal şebekede üç faz ve tek faz toprak KD arızasına ait akım değerleri bulunmuştur. Şekil 57'de Arsin TM'ye ait faz-toprak KD analizi ve Şekil 58'de üç faz KD analizi gösterilmiştir.



Şekil 56. Kısa devre analiz türleri



Şekil 57. Arsin TM'ye ait faz-toprak kısa devre analizi



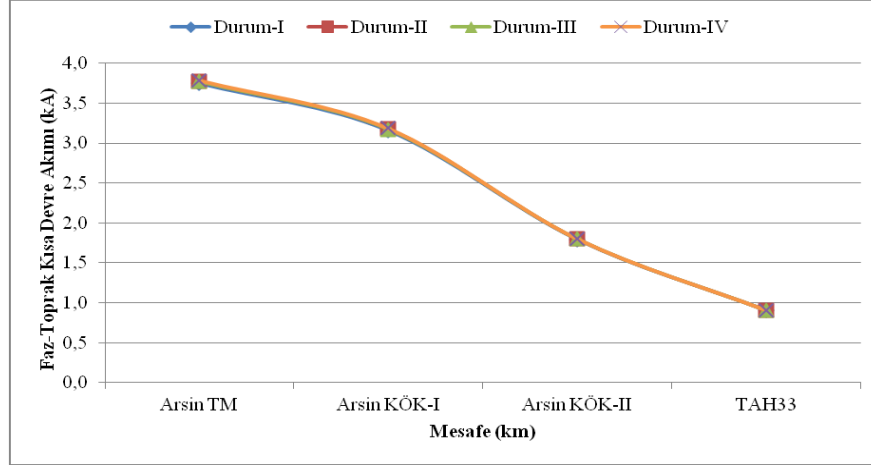
Şekil 58. Arsin TM'ye ait üç faz kısa devre analizi

### 2.4.3. Faz-Toprak Kısa Devre Analizi

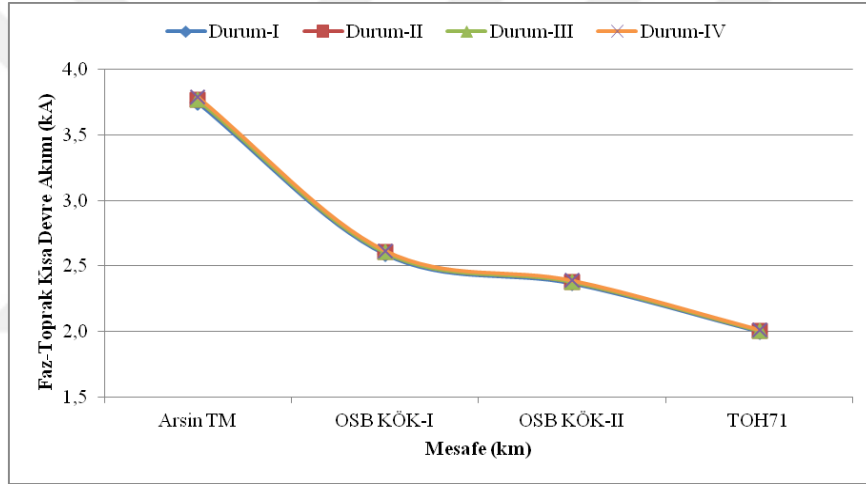
Bu senaryoda, TM'de ve fiderlere ait KÖK'lerde faz-toprak KD akımları hesaplanmıştır. Şebekedeki tüm KÖK'lerde ve seçilen terminallerde faz-toprak KD arızası oluşturulmuştur. İlk olarak DÜK'ler devrede değilken arıza akımları hesap edilmiş, sonrasında DÜK'ler devreye alınarak KD akımına etkisi incelenmiştir. Generatörden uzakta olan KD akımlarında artışlar azdır. Şekil 59, 60 ve 61'de KD akımların değeri ve DÜK'lerin etkisi grafiklerle verilmiş ve değerlerin yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir. DÜK-I devrede iken bağlı olduğu noktada KD akım değerini %11,4 oranında artırmıştır. Şekil 61'de gösterildiği gibi Araklı-II fideri boyunca KÖK'lerde KD akımı %2,2 ile %11,4 arasında artmıştır. DÜK-II'de benzer şekilde bir etki yapmış, kendine yakın bölgedeki KD akımını %9,2 artırmıştır. Mesafenin, faz-toprak KD akımının azalması yönünde çok büyük etkisinin olduğu açıkça görülmüştür. Ayrıca mesafenin faz toprak hata akımını üç faz hata akımına göre oldukça sınırladığı hatta bu durumun TM OG barasında yaklaşık 10 kat oranında olduğu Tablo 35 ve 36'dan görülmektedir. Tablodaki "+" işareti ilgili terminalin referans değeri 0 olduğu için konulmuştur.

Tablo 35. Arsin TM'ye ait faz-toprak kısa devre hata akımına DÜK'lerin etkisi (kA)

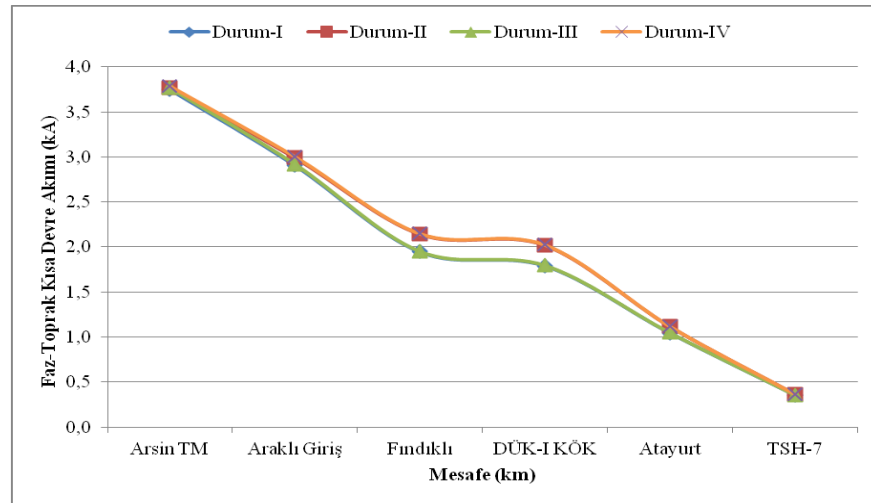
Bara Adı	Durum I	Durum II	Artış (%)	Durum III	Artış (%)	Durum IV	Artış (%)
Arsin TM YG	10,160	10,243	0,817	10,220	0,591	10,301	1,388
Arsin TM OG	3,749	3,772	0,613	3,768	0,507	3,791	1,120
Arsin KÖK-I	3,158	3,175	0,538	3,172	0,443	3,188	0,950
Arsin KÖK-II	1,794	1,799	0,279	1,798	0,223	1,803	0,502
TAH33	0,904	0,906	0,221	0,905	0,111	0,907	0,332
OSB KÖK-I	2,593	2,607	0,540	2,604	0,424	2,617	0,926
OSB KÖK-II	2,369	2,381	0,507	2,379	0,422	2,389	0,844
OSB KÖK-III	2,000	2,008	0,400	2,006	0,300	2,013	0,650
TOH77	1,869	1,876	0,375	1,875	0,321	1,881	0,642
Araklı-I Kabin	2,283	2,296	0,566	2,401	5,169	2,408	5,475
DÜK-II KÖK	1,849	1,857	0,431	2,020	9,248	2,025	9,519
DÜK-II-TR-HV	0,393	0,395	0,506	0,647	64,631	0,646	64,377
DÜK-II-TR-LV	0	0	0	0,008	+	0,008	+
DÜK-II-BN	0	0	0	0,022	+	0,022	+
DÜK-II	0	0	0	0,014	+	0,014	+
Araklı Giriş	2,908	2,995	2,905	2,922	0,481	3,006	3,370
Buzluca KÖK	2,146	2,194	2,188	2,154	0,373	2,201	2,563
Fındıklı KÖK	1,947	2,145	9,231	1,953	0,308	2,149	10,375
DÜK I KÖK	1,792	2,023	11,419	1,793	0,056	2,026	13,058
DÜK-I TR-HV	0,366	0,684	46,491	0,365	-0,273	0,683	86,612
DÜK-I TR-LV	0	0,009	+	0	0	0,009	+
DÜK-I BN	0	0,022	+	0	0	0,022	+
DÜK-I	0	0,013	+	0	0	0,013	+
Atayurt KÖK	1,047	1,118	6,351	1,049	0,191	1,119	6,877
TSH-7	0,359	0,367	2,180	0,359	0,000	0,367	2,228



Şekil 59. Arsin fiderinde oluşan faz-toprak kısa devre akımının değişimi



Şekil 60. Arsin OSB fiderinde oluşan faz-toprak kısa devre akımının değişimi



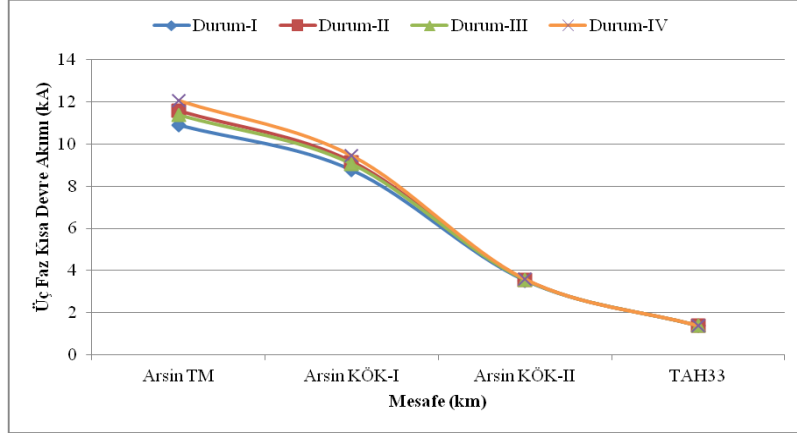
Şekil 61. Araklı-II fiderinde oluşan faz-toprak kısa devre akımının değişimi

#### 2.4.4. Üç Faz Kısa Devre Analizi

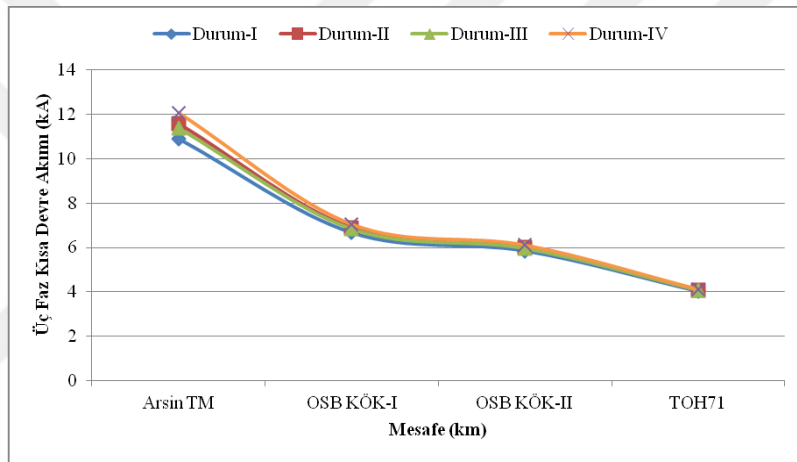
Bu senaryoda, TM'de ve fiderlere ait KÖK'lerde üç-faz KD akımları hesaplanmıştır. KD sırasında şebekeye bağlı ve sayısı bilinmeyen birçok elektrik cihazlarının varlığından dolayı sürekli kısa devre akımı net hesaplanamaz. Tablo 36'da KÖK'lerdeki üç faz KD akımları gösterilmiştir. Tablodaki "+" işareti ilgili terminalin referans değeri 0 olduğu için konulmuştur. İlk olarak DÜK'ler devrede değilken KD akımları hesap edilmiş, sonrasında DÜK'ler devreye alınarak KD akımına etkisi incelenmiştir. DÜK-I devredeyken, Generatörden uzakta olan KD'lerde akım artışları %6-%0,2 arasında değişmiş ve Şekil 62,63 ve 64'de gösterilmiştir. DÜK-I bağlı olduğu barada KD akım değerini %72 oranında artırmıştır. Araklı-II fideri boyunca KÖK'lerde KD akımı %27 ile %5 arasında artmıştır. DÜK-II de, DÜK-I gibi KD akımına benzer şekilde bir etki yapmış, kendine yakın bölgedeki KD akımlarını artırmıştır. Ancak şebekenin uzak noktalarında örneğin TAH07'ye etkisi olmamıştır. Bu durum mesafenin KD akımı üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermektedir.

Tablo 36. Arsin TM'ye ait üç faz kısa devre akımlarına DÜK'lerin etkisi (kA)

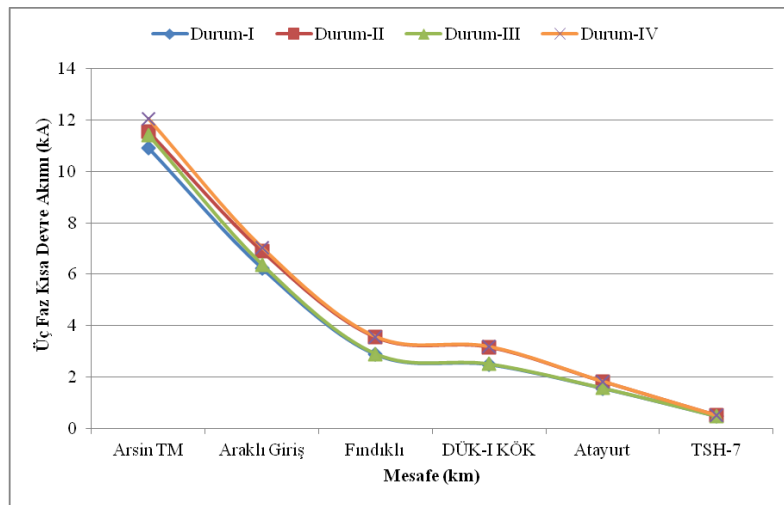
Bara Adı	Durum I	Durum II	Artış (%)	Durum III	Artış (%)	Durum IV	Artış (%)
Arsin TM YG	10,122	10,250	1,265	10,22	0,968	10,339	2,144
Arsin TM OG	10,912	11,562	5,957	11,4	4,472	12,052	10,447
Arsin KÖK-I	8,774	9,152	4,308	9,07	3,374	9,436	7,545
Arsin KÖK-II	3,527	3,562	0,992	3,56	0,936	3,588	1,730
TAH33	1,378	1,381	0,218	1,381	0,218	1,384	0,435
OSB KÖK-I	6,668	6,881	3,194	6,84	2,579	7,039	5,564
OSB KÖK-II	5,845	5,994	2,549	5,96	1,967	6,106	4,465
OSB KÖK-III	4,473	4,546	1,632	4,533	1,341	4,602	2,884
TOH77	4,021	4,076	1,368	4,067	1,144	4,119	2,437
Araklı-I Kabin	3,863	3,937	1,916	4,387	13,565	4,460	15,454
DÜK-II-TR-BN	2,614	2,647	1,262	3,167	21,155	3,199	22,379
DÜK-II-TR-HV	0	0	0	0,569	Artış	0,569	+
DÜK-II-TR-LV	5,017	5,042	0,498	5,001	-0,319	5,026	0,179
DÜK-II-BN	5,017	5,042	0,498	9,391	87,184	9,415	87,662
DÜK-II	0	0	0	4,429	+	4429	+
Araklı Giriş	6,229	6,896	10,708	6,372	2,296	7,037	12,972
Buzluca KÖK	4,417	4,750	7,539	4,484	1,517	4,811	8,920
Fındıklı KÖK	2,871	3,542	23,372	2,898	0,940	3,566	24,208
DÜK-I KÖK	2,483	3,160	27,265	2,502	0,765	3,177	27,950
DÜK-I-TR-HV	0	0,788	+	0	0	0,788	+
DÜK-I-TR-LV	7,060	7,064	0,057	7,096	0,510	7,100	0,567
DÜK-I BN	7,060	12,177	72,62479	7,096	0,510	12,210	72,946
DÜK-I	0	5,358	+	0	0	5,358	+
Atayurt KÖK	1,554	1,816	16,860	1,561	0,450	1,821	17,181
TSH07	0,475	0,5	5,263	0,475	0,000	0,499	5,053



Şekil 62. Arsin fiderinde oluşan üç faz kısa devre akımının değişimi



Şekil 63. Arsin OSB fiderinde oluşan üç faz kısa devre akımının değişimi



Şekil 64. Araklı-II fiderinde oluşan üç faz kısa devre akımının değişimi

### 3. SONUÇLAR

Analizlerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- YA-I'de zayıf uyarımlı bölgede çalışan DÜK'ler hatların aşırı yükselmesini önlemiştir. DÜK'ler TM OG barasının gerilimi %0,1 azaltırken, DÜK-I'e yakın KÖK'lerde %3'e yakın artış meydana getirmiştir.
- YA-II'de aşırı uyarımlı bölgede çalışan DÜK'ler hat geriliminin aşırı düşmesini önlemiştir. DÜK'ler TM OG barasının gerilimini %0,1 artırırken, DÜK-I'e yakın KÖK'lerdeki yaklaşık %2,8 oranında gerilimde artış meydana getirmiştir.
- YA-III'de DÜK'ler aşırı uyarımlı bölgede en büyük güç üretimi gerçekleştirirken, TM OG barasında %0,3 ve DÜK-I'e yakın KÖK'de %5 oranında gerilim artmıştır.
- YA-III'de DÜK'ler zayıf uyarımlı bölgede en büyük güç üretimini gerçekleştirirken, TM OG barasında gerilim %0,5 düşmüş, DÜK-I'e yakın KÖK'lerde ise terminal gerilimini yaklaşık %3 artmıştır.
- YA-IV'de Türkiye'nin elektrik tüketimindeki yıllık artış oranı kullanılmış, 2025 yılında TM'den çekilen güç, TM'nin nominal gücünün %93'üne ulaşmıştır.
- Mevcut TM bölgeyi 10-15 yıl sorunsuz bir şekilde besleyecektir.
- TM'de çalışan güç trafoların nominal güçleri eşit olmadığından paralel çalışma durumunda yüklenme oranlarında farklılıklar görülmüştür.
- DÜK'ler trafoların yüklenme oranlarını oldukça düşürmüştür. Ancak üretimleri suyun akışına bağlı olduğundan bu destekleri her zaman aynı oranda olmamıştır.
- 2025 yılında Arsin fiderindeki dağıtım trafolarında yüklenmeler %83'ü aşmıştır.
- 2025 yılında Arsin OSB KÖK-I ve Arsin OSB KÖK-II arasındaki swallow dağıtım hattında %88'e yaklaşan yüklenmeler gözlemlenmiştir.
- DÜK'ler, faz-toprak KD akımını, Arsin TM OG barasında %1, Araklı-I kabininde %5,5 ve Fındıklı KÖK'de %10,4 oranında artırmıştır.
- DÜK'ler üç faz KD akımını, Arsin TM OG barasında %10,4, Araklı-I Kabininde %15,4 ve Fındıklı KÖK'de %24,2 oranında artırmıştır.
- DÜK'ler, Trafo merkezi OG barasında ve bağlı oldukları KÖK'lerde üç faz KD akımını, faz-toprak KD akımına göre daha çok etkilemiştir.

#### 4. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Arsin TM'ye ait birçok trafo, iletim hattı ve yükler modellenmiştir. Modellemede fiderden çekilen yük dağıtım trafoların nominal güçlerine göre orantılı olarak dağıtılmıştır. Bu uygulamanın yapılma nedeni, aynı zaman diliminde tüm dağıtım trafolarına ait güç değerlerinin uzaktan okuma yöntemi ile elde edilemeyeşidir. Eğer bu veriler elde edilecek olursa, tüketicilere ait bilgiler özel girilerek yük akış analizinde gerilim düşümleri ve hatların yüklenme oranları daha doğru tespit edilecektir.

İleriki yıllarda TM'ye ait gerilim profili, Türkiye'nin elektrik tüketimindeki ortalama yıllık artışa göre yapılmıştır. Ancak bu oran bölgenin sanayileşme ve konutlaşma hızına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle bölgenin elektrik tüketimindeki yıllık değişimler ve yapılaşma göz önüne alınarak hesaplanması gerilim profili açısından daha doğru sonuç verecektir.

Modellemede F3, F5 ve F8 fiderlerinin sadece yük olarak gösterilmesi, gerilim profili ve kısa devre akım değerlerinin küçük miktarda farklılıklara neden olabilir. Bu nedenle TM'ye ait tüm analizlerin en doğru şekilde yapılabilmesi için tüm şehri içine alacak kapsamlı bir modelleme yapılması gerekmektedir.



## 5. KAYNAKLAR

1. <http://www.epdk.org.tr/> 14 Temmuz 2015.
2. Nuroğlu, F. M., ve Arsoy, A. B. Central coordination relay for distribution systems with distributed generation. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences,23 (2015) 2150-2160.
3. Sulzberger, C. History-When the lights went out remembering 9 November 1965. IEEE Power and Energy Magazine, 2006, 90-95.
4. Hasan, K. N., Rao, K. S. R., ve Mokhtar, Z. Analysis of load flow and short circuit studies of an offshore platform using ERACS software. Power and Energy Conference, 2008, 543-548.
5. Saxton, T. (2011). CIM for planning/base case model exchange. IPower Systems Conference and Exposition (PSCE), 2011, 1-1.
6. Montgomery, K. H., Nian, Q., Zhao, X., Li, H. U., Cheng, G. J., Jackson, T. N., ve Woodall, J. M., Development of ZnO-InP heterojunction solar cells for thin film photovoltaics. Photovoltaic Specialist Conference, 2014, 524-527.
7. <http://www.eia.gov/> 15 Temmuz 2015.
8. Macdonald, D. D., Nuclear options for our energy future. Technologies for Sustainability, (2014) 1-8.
9. <http://www.enerjiatlası.com/sehir/trabzon/> 15 Ağustos 2015.
10. Karstarlı, Ç., Kömürcü, M. İ., Akpınar, A., Uzlu, E., Kankal, M., & Önsoy, H. Doğu Karadeniz Havzasındaki Hidroelektrik Potansiyelin Analizi. II. Su Yapıları Sempozyumu, 2011, Diyarbakır, Bildiriler Kitabı
11. Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., Belmans, R., ve D'haeseleer, W. Distributed generation: definition, benefits and issues. Energy policy, 33,6 (2005) 787-798
12. Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. Distributed generation: a definition. Electric power systems research, 57,3 (2001) 195-204.
13. Bhowmik, A., Maitra, A., Halpin, S. M., & Schatz, J. E. Determination of allowable penetration levels of distributed generation resources based on harmonic limit considerations. Power Delivery, IEEE Transactions on, 18,2 (2003) 619-624.
14. Tekinel, H., Elektrikle Enerji Taşıma, ADMMA Yayınları, İstanbul, 1974.
15. Demirkut, B., Elektrikle Enerji Taşınması, İDMMA Yayınları, İstanbul, 1971.

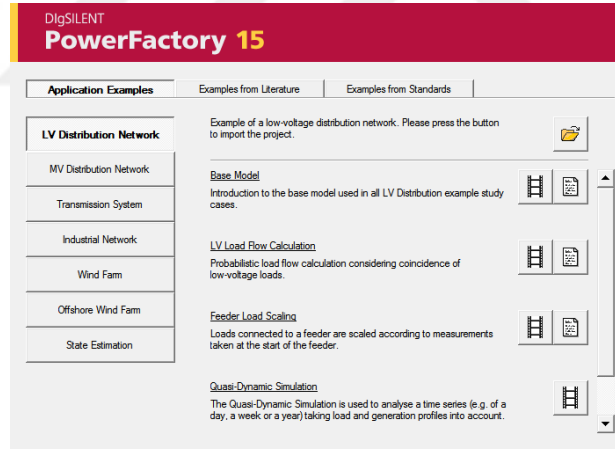
16. Costa, P. M., ve Matos, M. A. Loss allocation in distribution networks with embedded generation. Power systems, IEEE Transactions on, 19,1 (2004) 384-389.
17. <http://www.digsilent.de/> 23 Nisan 2016.
18. Ivanov, C., ve Chury, European electric power system on the way towards implementation of CIM based data exchange format. IEEE Power&Energy, (2009).
19. Lambert, E. Common information based on CIM approach: is it a dream or a reality? Remaining challenges based on concrete experience. Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy, 2008,1-6.
20. Doherty, R. E., & Williamson, E. T. Short-circuit current of induction motors and generators. American Institute of Electrical Engineers, Journal of the, 40,1 (1921).
21. Stanislav, D. Y., Alexander, L. G., ve Dmitry, O. S. Basic approaches to the implementation of Petersen Coil control system. In Control and Communications (SIBCON), International Siberian Conference, 2015, 1-4.
22. Şehir Şebekeleri Og-Ag Elektrik Projesi Yapım Esasları Kitabı, TEDAŞ, 2001.
23. Abacı, K., M. A. Yalçın, and Y. Uyarlıoğlu., Güç Sistemlerinde Farklı Salınım Barası Seçiminin Gerilim Kararlılığı Açısından İncelenmesi. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 2004, Bursa, Bildiriler Kitabı 8-12.
24. Nuroğlu, F. M., ve Arsoy, A. B. Voltage profile and short circuit analysis in distribution systems with DG. Electric Power Conference, 2008,Canada 1-5
25. Juanuwattanakul, P., Mohammad AS Masoum, and Paul S. Moses. "Voltage analysis for placement of DG in unbalanced distribution networks." Electrical Power Quality and Utilisation, (2011), 1-4.
26. Saraisuwan, P., Jirapong, P., Kalankul, A., ve Premrudeepreechacharn, S. Allocation planning tool for determining the optimal location and sizing of distributed generations in provincial electricity authority of Thailand. In Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues & Prospects for Asia (ICUE), 2011, 1-8.
27. Unger, D., Hemdan, N. G., ve Kurrat, M. Reactive power concepts in the future distribution networks. 22nd International Conference and Exhibition, 2013 1-4.
28. Aksoy A., ve Nuroğlu F.M., The Effects of Distributed Generation on System Power Losses Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, (2016),18-23
29. ÇAKIR, H., Elektrik Şebeke Kayıpları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1986.
30. <http://www.ingetteam.com/> 20 Nisan 2016.
31. <http://www.chenghsiung.com/> 20 Nisan 2016.

32. Taylan, N., Elektrik Tesislerinde Topraklama ve Kısa devre, Ankara ,1974.
33. Küçük. S., Elektrik Tesislerinde Arızlar, Tüpraş, İzmit, 2005.
34. Elektrik Makineleri Ders Kitabı, Anadolu Üniversitesi yayını no: 2619, 2012.
35. <http://www.sorgent-e.com/ste-energy/> 11 Nisan 2016.
36. Kaşıkçı, İ., Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları ve Uygulamaları (IEC 60 909), Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
37. Kaşıkçı, İ., Elektrik Enerjisinin Üretimi İletimi Dağıtımı , Birsen Yayınevi, İstanbul, 2013.
38. [www.teias.gov.tr/](http://www.teias.gov.tr/) 03 Şubat 2015.
39. Das, J.C., Power System Analysis Short-Circuit Load Flow and Harmonics, Marcel Dekker New York, 2002.

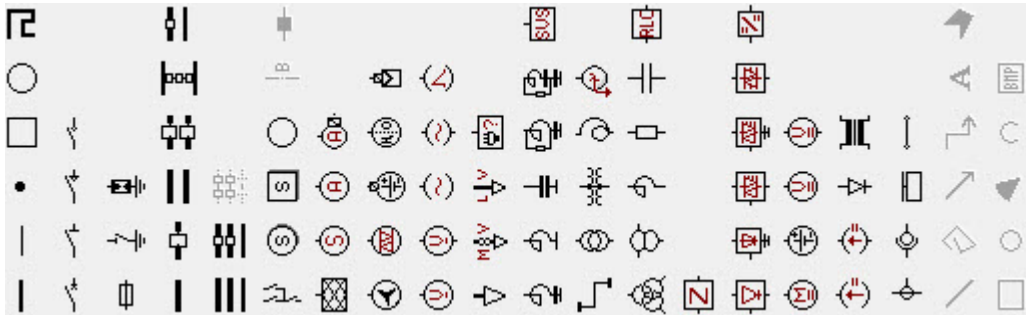
## 6. EKLER

### EK-1 . DIgSILENT Powerfactory Programı Kullanım Kılavuzu

Bu tezde 1980'li yıllarda yazılımına başlanmış DIgSILENT "Digital Simulation and Electrical Network Calculation Program" kullanılmıştır. Bu program, elektrik şebekesinde bulunan birçok cihazın modellemesini bilgisayar ortamında görsel olarak yapabilmektedir. DIgSILENT Powerfactory yazılımında (DPF) yapılan modelleme uluslararası standartları esas alarak birçok analiz yapabilmektedir. Bu program, yük akışı analizinde, kısa devre analizinde, gerilim kararlılığı analizinde, yük akış duyarlılığı, havai hatların ve yer altı kablolarının parametrelerinin hesabı ve dağıtım ağı fonksiyonlarının hesaplanması gibi birçok analiz ve parametre hesabında kullanılır. Grafik arayüzü modelleme hızını artırmaktadır. Şebekeye ait donanımlar Ek-1 Şekil 2. 'de görüldüğü gibi çalışma ekranına taşınmakta, program kütüphanesinden ilgili veriler elde edilmekte, kullanıcı oluşturduğu verileri programın kütüphanesine ekleyebilmektedir.




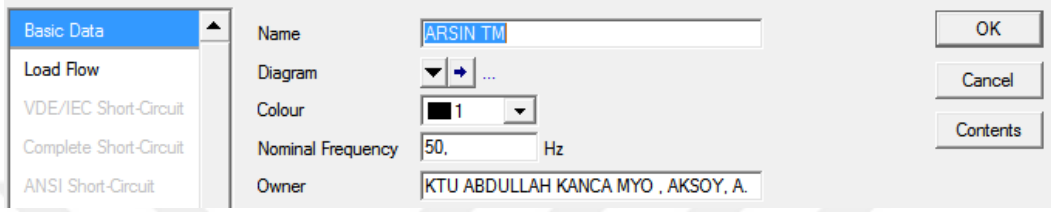
Ek-1 Şekil 1. DPF 15.2.5 programının giriş ekranı




Ek-1 Şekil 2. DPF yazılımının modelleme ekranı

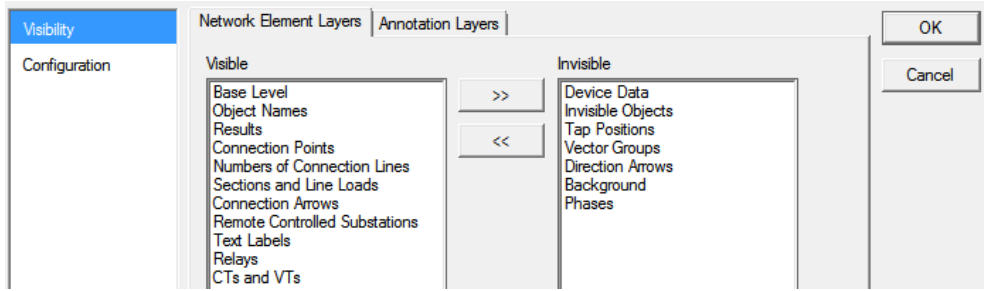
Ek-1 'in devamı

DPF programında "File>> New>> Project" ile oluşturulan projede ilk olarak projenin adı ve çalışma frekansı girilmelidir. Standart olarak oluşturulan projelerin çalışma alanı A4 boyutundadır. Eğer proje büyüğe ikinci bir pencere açılır veya yeni pencere yerine çalışma alanını büyütmek için  simgesi kullanılır.



Ek-1Şekil 3. Yeni çalışma sayfası oluşturma

Modellemede bulunan elektriksel elemanların üzerinde sonuç kutucukları bulunur. Bu kutuda bütün değerler gözükmez. Görünmesi istenen değerleri eklemek veya çıkarmak için  simgesi kullanılır. Bu seçenekler Ek-1 Şekil4'de gösterilmiştir.

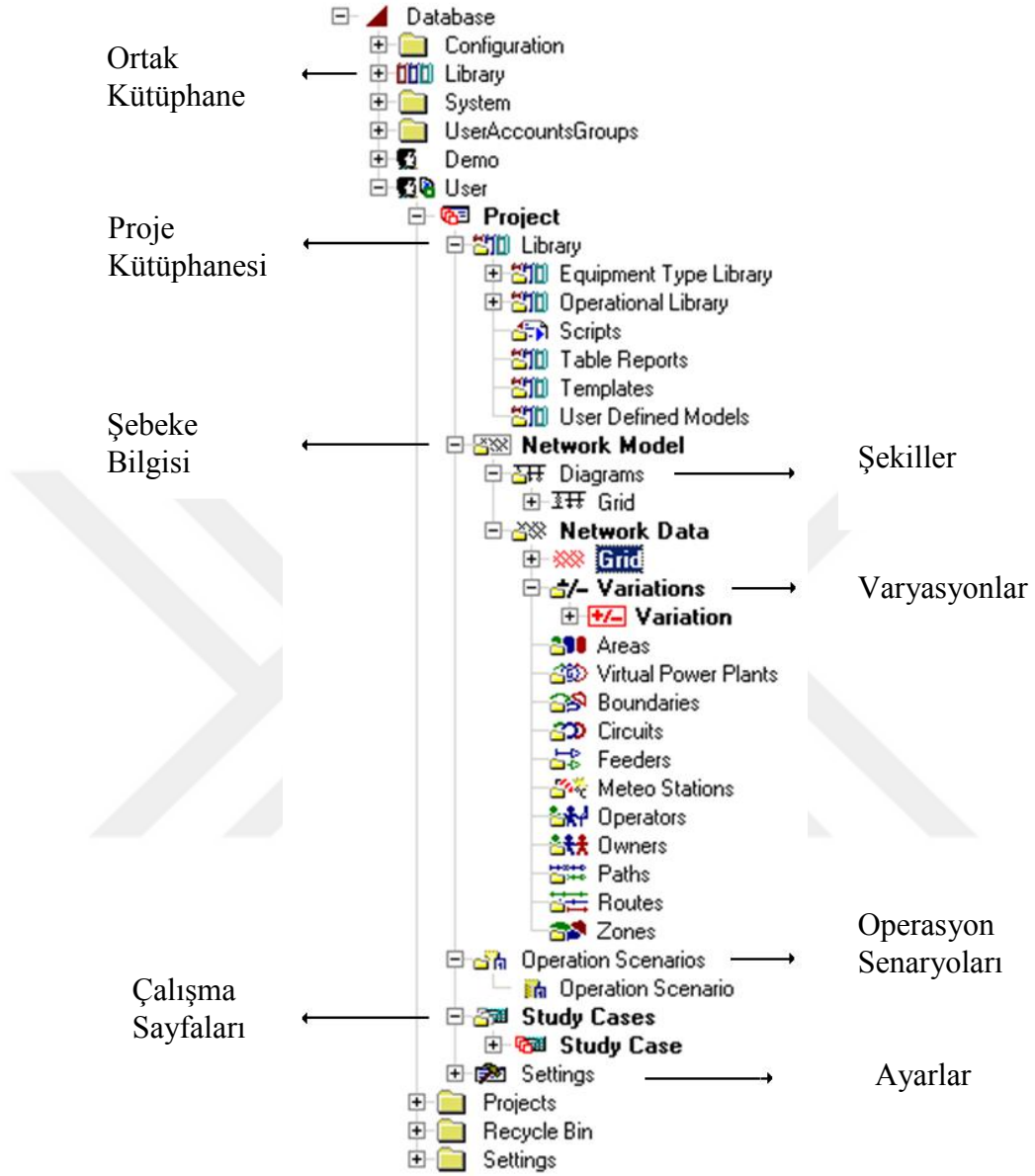


Ek-1 Şekil 4. Sonuç kutusunun özellikleri

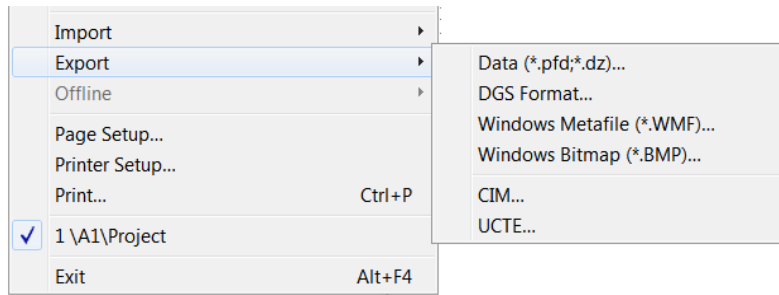
Şebekeye ait tüm verilere veri yöneticisinden erişilir. Veri yöneticisi, ekipmanlara ait kütüphaneyi, diğer kullanıcının hazırlamış olduğu veriler ve çalışma sayfalarını içerir. Çalışma sayfasında her kullanıcı sadece kendine ait verileri görebilir.

Sadece yönetici tüm verilere ulaşabilir, projeleri, kütüphaneleri kopyalayabilir, silebilir veya üzerinde değişiklikler yapabilir.

Ek-1 'in devamı



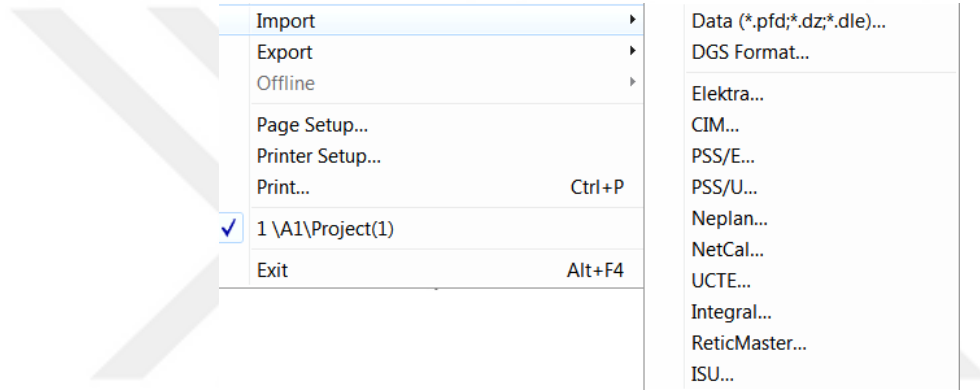
Ek-1 Şekil 5. DPF yazılımının veri yöneticisi



Ek-1 Şekil 6. Modellemenin dosyaya aktarılması

## Ek-1 'in devamı

DPF' de modelleme "File>>Export" ile dosya haline getirilir. Bu dosyanın uzantısı dz veya pfd olabilir. Ayrıca proje görüntüsü WMF, BMP uzantılı olarak kayıt edilebilir. Önceden hazırlanmış proje dosyaları "File>>import" ile çalışma sayfasına aktarılır. Bu işlemin olabilmesi için herhangi bir projenin aktif olmaması gerekir. Proje aktif ise "File>> Deactivate Project" ile proje pasif yapılır. Şebeke modellemesi yapılırken, bazen birden fazla yazılımın kullanılmasına ihtiyaç duyulur. Ek-1 Şekil 7'de Powerfactory yazılımının okuyabildiği, veri tipleri ve diğer yazılımlar sıralanmıştır.



Ek-1 Şekil 7. DPF yazılımının uyumlu olduğu veri tipleri

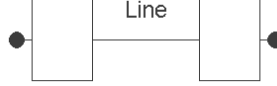
DPF yazılımında enerji hatları  $\tau_1$  simgesini kullanarak oluşturulur. Hat, standart olarak çalışma ekranında "line" ismini alır. Kullanıcı, hat ismini projeye uygun olarak değiştirebilir. Bu değişiklik büyük ölçekli projelerde kolaylık sağlar. Enerji hattı, kablo ve havai hat olarak iki şekilde tanımlanır. Eğer hat bilgisi kütüphanede varsa kullanılır. Kütüphanede hat bilgisi mevcut değilse kullanıcı hat tipini "New Project Type" seçeneğini kullanarak oluşturur.

Hat parametreleri ve hattın GMR'si biliniyorsa kullanıcı "Line Type" ile hat oluşturulup, yazılımın kütüphanesine oluşturduğu bu modeli ekleyebilir. Analizlerde elektrik hatlarının PI modeli ve dağıtılmış parametre yöntemleri kullanılır. Sürekli durum analizinin kısa sürede yapılması için PI modeli tercih edilir.

Gerilim dalgalanmaları, çeltikler ve kısa zaman aralıklarında hattın davranışının incelenmesinde ise dağıtılmış parametreler kullanılır. Bu çalışmada dağıtım hattının PI modeli kullanılmıştır.

Ek-1 'in devamı

Elektik hattına ait nominal gerilim, frekans, iletken cinsi, faz iletkeni sayısı, nötr iletkeni sayısı, kilometre başına düşen empedans değerleri aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi modellenmektedir.



Ek-1 Şekil 8. Enerji hattı

Basic Data	Name	Line Type		OK		
Load Flow	Rated Voltage	0.	kV	Cancel		
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Current	1.	kA (in ground) Rated Current (in air) 1.			
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	50.	Hz			
ANSI Short-Circuit	Cable / OHL	Cable				
IEC 61363	System Type	AC	Phases 3 Number of Neutrals 0			
DC Short-Circuit	Parameters per Length 1,2-Sequence		Parameters per Length Zero Sequence			
RMS-Simulation	AC-Resistance R'(20°C)	0.	Ohm/km	AC-Resistance R0'	0.	Ohm/km
EMT-Simulation	Reactance X'	0.	Ohm/km	Reactance X0'	0.	Ohm/km
Harmonics/Power Quality						
Protection						


Ek-1 Şekil 9. Elektrik dağıtım hat türünün seçilmesi

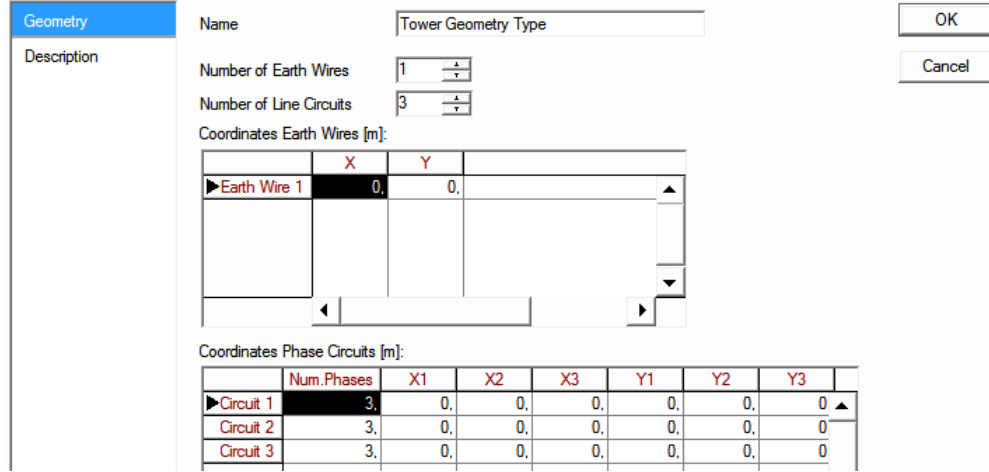
Basic Data	Parameters per Length 1,2-Sequence		OK	
Load Flow	Max. Operational Temperature	80.	degC	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	AC-Resistance R'(20°C)	0.	Ohm/km	
Complete Short-Circuit	Conductor Material	Copper		
ANSI Short-Circuit		Aluminium		
IEC 61363		Copper		
DC Short-Circuit		Aldrey (AlMgSi)		
		Aluminium-Steel		
		Aldrey-Steel		
RMS-Simulation	Susceptance B'	0.	uS/km	
EMT-Simulation	Ins. Factor	0.		
Harmonics/Power Quality				
Protection				
Optimal Power Flow				
	Parameters per Length Zero Sequence			
	Susceptance B0'	0.	uS/km	
	Conductance G0'	0.	uS/km	

Ek-1 Şekil 10. Elektrik dağıtım hattının direnç değerinin belirlenmesi



Ek-1 'in devamı

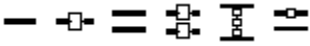
Yeraltı kablolarını modellemek için "New project Type >>Line Type" sekmesi kullanılır. Kablo tip bilgileri, gerilim değerleri, iletken sayıları ve direnç değerleri bu menüden girilir. Havai hatları modellemek için "Basic Data>>New project Type>>Tower Geometry Type" sekmesi kullanılır. Havai hat iletkenlerinin birbirlerine ve toprağa olan mesafeleri metre olarak girilmelidir. Her bir fazdaki iletken sayısı ve direğe ait nötr iletken sayısı girilmelidir. Havai hattın merkez noktası referans kabul edilip, sol taraftaki mesafe negatif değer olarak belirlenir. Tanımlanan havai hatlarının tüm özelliklerini ve sayısını görmek için menüde  simgesi kullanılır.



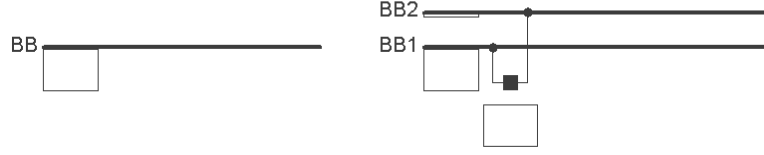
	X	Y
▶Earth Wire 1	0.	0.

	Num.Phases	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3
▶Circuit 1	3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Circuit 2	3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Circuit 3	3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.


Ek-1 Şekil 11. Hava dağıtım hatlarının iletkenler arası mesafelerinin belirlenmesi

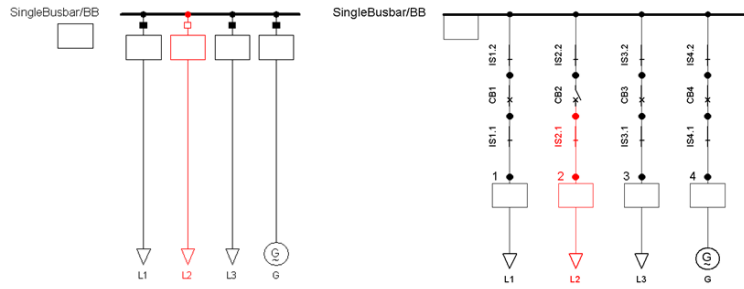
DPF yazılımında baralar  simgeleri ile gösterilir. Bara, kısaca aynı gerilim ve frekandaki elektrik enerjisinin toplandığı ve dağıtıldığı noktaya denir. Baralar birçok çeşitte ve tipte imal edilirler. Bakır ve alüminyumdan imal edilen baraların bulunduğu merkezde ayırıcı ve kesici olabilir. Sık kullanılan bara çeşitleri tek bara, çift bara, bypass baradır. Kullanılacak bara çeşidinin tespit edilmesinde yükün cinsi, miktarı, kullanıldığı yerin özelliği, besleme kaynaklarının sayısı ve enerjinin sürekliliği dikkate alınmalıdır. Baralar standart olarak çalışma ekranında "BB" ismini alır.

Ek-1 'in devamı



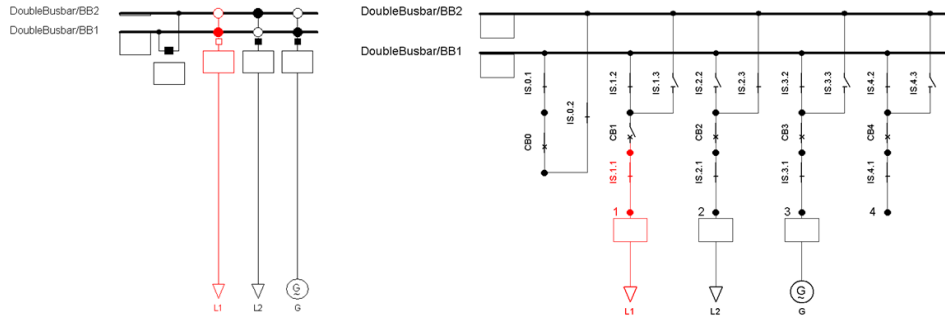
Ek-1 Şekil 12. Tek bara ve çift bara sisteminin tek hat şeması

Tek bara sistemi genellikle 34,5 kV ve daha düşük gerilimler için tercih edilir, çok yüksek gerilimler için uygun değildir. Baraların bağlandığı sonsuz şebeke bağlantı noktası ise  simgesi ile belirlenir.



Ek-1 Şekil 13. Tek bara sisteminin detaylı gösterimi

Çift baralar genellikle 154 kV ve altı sistemler için kullanılır. Arıza durumunda yükteki enerjinin devamlılığı sağlanır. Bu tür baralar elektrik üretim santrallerinde, trafo merkezlerinde, şalt sahalarda, yük tevzi ve ölçüm merkezlerinde sıkça kullanılırlar.




Ek-1 Şekil 14. Çift bara sisteminin detaylı gösterimi

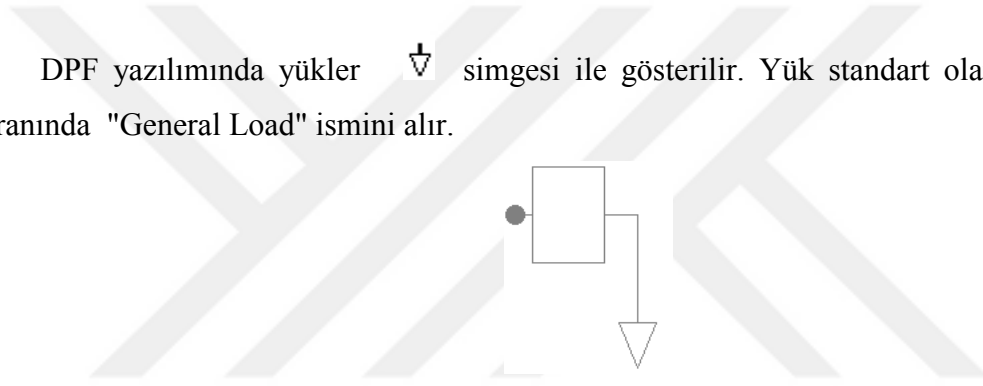
Ek-1 'in devamı

Yük akışı hesaplamalarında bara bilgileri kullanılır. Ancak bu bilgiler her barada aynı değildir.

Ek-1 Tablo 1. Bara cinsi ve bilgileri

Bara Cinsi	Bilinenler	Bulunanlar	Bara Sayısı
Yük Barası (P-Q)	$P_L, Q_L$	$ V_L , \delta_L$	pq
Gen. Barası (P-V)	$P_i,  V_i , Q_{max}, Q_{min}$	$Q_i, \delta_i$	pv
Salınım Barası (S-L)	$ V_i , \delta_i$	$P_i, Q_i$	1
Şebekedeki Toplam Bara Sayısı			pq+pv+1

DPF yazılımında yükler  simgesi ile gösterilir. Yük standart olarak çalışma ekranında "General Load" ismini alır.




Ek-1 Şekil 15. Yükün gösterimi

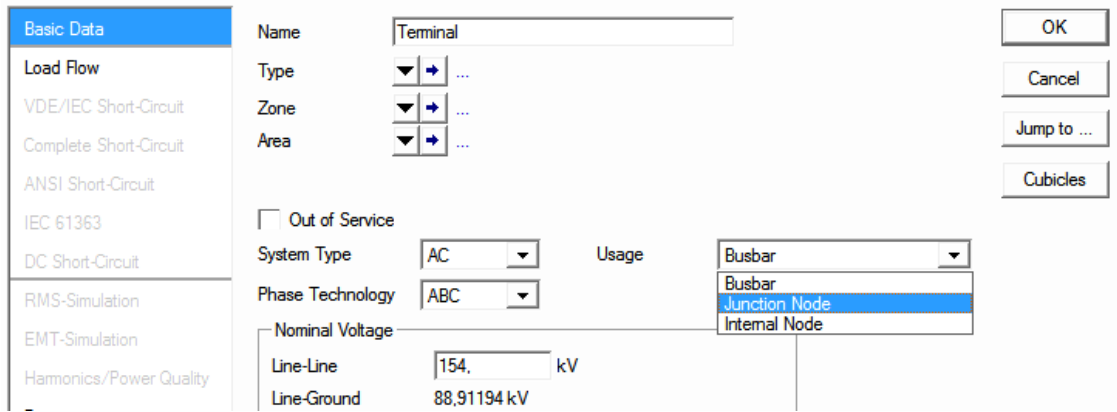
Şebekeye ait yükler, sabit empedanslı veya gerilime bağlı olabilir. Bu çalışmada sabit empedanslı yükler kullanılmıştır. Gerilim kararlılığı ile ilgili analizlerde sabit yüke ilave olarak gerilime bağlı yüklerde modellemeye dâhil edilebilir.

Ek-1 Şekil 16. Elektrik yük çeşidinin belirlenmesi

## Ek-1 'in devamı


Modellemede kullanılacak yük tipinin bilgisi DPF programının kütüphanesinde olabilir. Eğer yoksa yeni yük tipi "New project Type" seçeneği kullanarak yeni bir model oluşturulur. Oluşturulan yük tipi yazılımın kütüphanesine eklenebilir. Yükler tek fazlı veya üç fazlı olabilir. Üç fazlı yükler dengeli veya dengesiz olabilir. Bu seçenekler "Load Flow" sekmesinde yer almaktadır. Çalışmamızda bütün yüklerin dengeli olduğu varsayılmıştır. Projede birçok yük değerlerini özel olarak değiştirmek zahmetlidir ve zaman alır. Program buna çözüm bulmak için yük ölçeklendirme faktörü geliştirmiştir. Bu özelliği kullanarak aynı anda birçok yük istenilen oranda artırılıp azaltılır.

Terminaller, elektrik bağlantı noktalarıdır. Terminaller  sembelleri ile gösterilir. Bağlantı noktaları standart olarak çalışma ekranında "Terminal" ismini alır. Bağlantı noktalarının gerilim değeri ve faz cinsi değiştirilebilir.



Basic Data	Name	Terminal	OK
Load Flow	Type	▼ ▸ ...	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Zone	▼ ▸ ...	Jump to ...
Complete Short-Circuit	Area	▼ ▸ ...	Cubicles
ANSI Short-Circuit	<input type="checkbox"/> Out of Service		
IEC 61363	System Type	AC	Usage
DC Short-Circuit	Phase Technology	ABC	Busbar
RMS-Simulation	Nominal Voltage		Busbar
EMT-Simulation	Line-Line	154 kV	Junction Node
Harmonics/Power Quality	Line-Ground	88,91194 kV	Internal Node

Ek-1 Şekil 17. Terminal özellikleri

Sabit bir hızda dönen alternatif akım makinelerine senkron makine denir. Senkron makine, hem motor hemde generatör olarak çalışabilir. Generatörler,  simgesi ile gösterilir ve çalışma ekranında standart olarak "Synchronous Machine" ismini alır.

Modellemede şebekede aynı noktaya bağlı ve aynı özelliğe sahip birden fazla makine varsa bu makineler tek bir simge olarak gösterilir.

## Ek-1 'in devamı

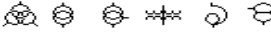
Ek-1 Şekil 18. Senkron makinenin temel özellikleri

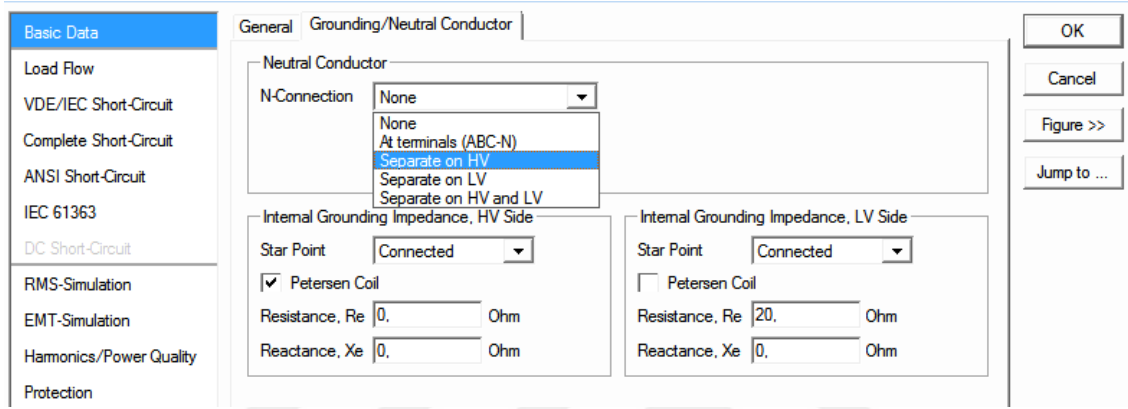
Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi, generatörün tipi seçilmelidir. DPF programında generatörlerin kullanıldıkları tesiste belirtilmelidir. Bu tesisler kömür, petrol, gaz, nükleer, hidroelektrik, rüzgâr, biyogaz, güneş santrali şeklinde olabilir.

Generatörün anlık üreteceği aktif güç bilgisi ve gerilimin kontrol tipi "Load Flow" sekmesinden girilir. Modellemede generatör, referans generatör olarak çalışacaksa güç değeri "0" ve bara gerilimi 1,05 p.u. olarak girilir. Tesiste kullanılacak generatör sayısı toplam güç açısından önemlidir.

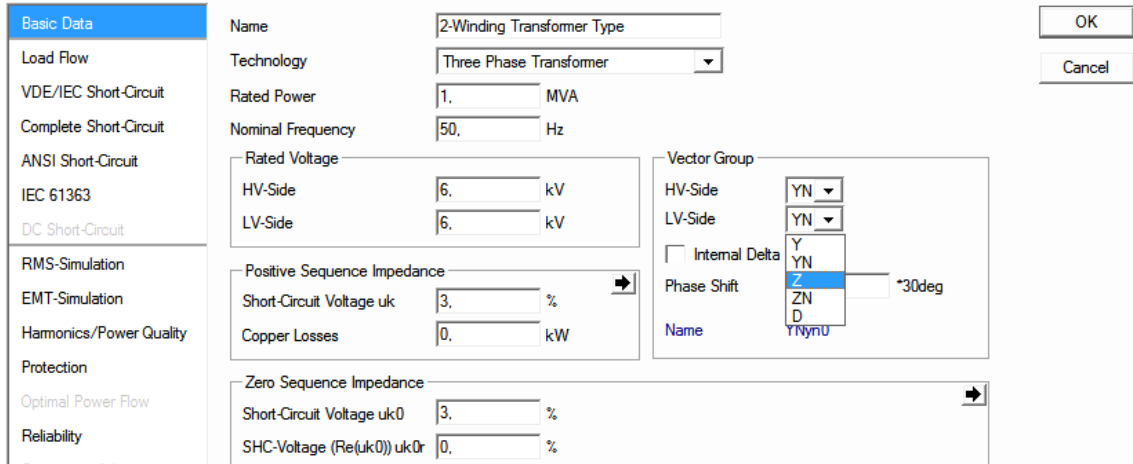
Ek-1 Şekil 19. Senkron makinenin gerilim ve güç değerlerinin belirlenmesi

## Ek-1 'in devamı

Trafo, iki veya daha fazla elektrik devresini elektromanyetik indüksiyonla birbirine bağlayan bir elektrik cihazıdır. Trafolar,  simgeleri kullanılarak modellenir. Bağlantı tipleri kullanılacakları yere göre YN, Y,ZN, Z ve D olabilir. Nötr noktaları KD açısından önemli olup, Ek-1 Şekil 20'de bu değerlerin girişi yapılmalıdır.

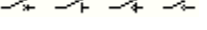


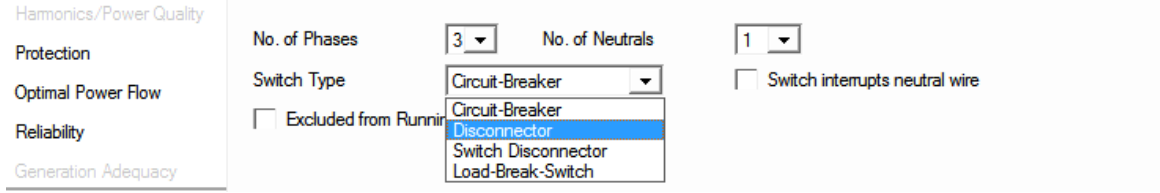
Ek-1 Şekil 20. Trafoların topraklama ve empedans değerlerinin tanımlanması





Ek-1 Şekil 21. Trafoların gücü, bağlantı grubu ve % uk değerlerinin belirlenmesi

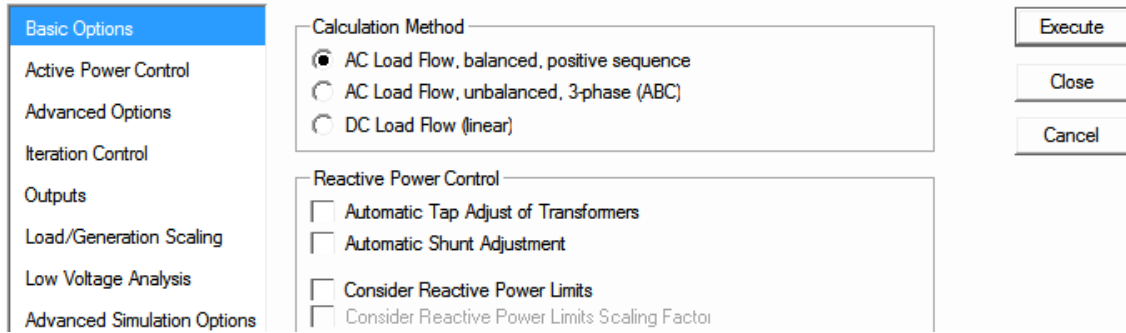
## Ek-1 'in devamı

Elektrik devresini, aşırı akım veya kısa devreden koruyan cihaza kesici, devre yüksüz iken açma kapama yapabilen cihaza ayırıcı denir. Ayırıcı ve kesiciler yazılımda  simgeleri ile gösterilir, çalışma ekranında "Breaker/Switch " ismini alır.



Ek-1 Şekil 22. Kesici ve ayırıcıların faz sayısını belirlenmesi

DIgSILENT Programlama Dilinin (DSL) Python dili ile kontrol edilebilme özelliği vardır. Bu dil kullanılarak sistemlere ait matematiksel modeller görsel simgelerle yapılabilir. Modellenen şebekenin yük akışı ve kısa devre analizi yapmak için  ve  simgesi kullanılır. Bu programda yük akışı hesaplamaları "Newton-Raphson" yöntemi ile çözmüştür. Akış sonuçları modelleme üzerindeki kutucuklarda gözükmektedir.

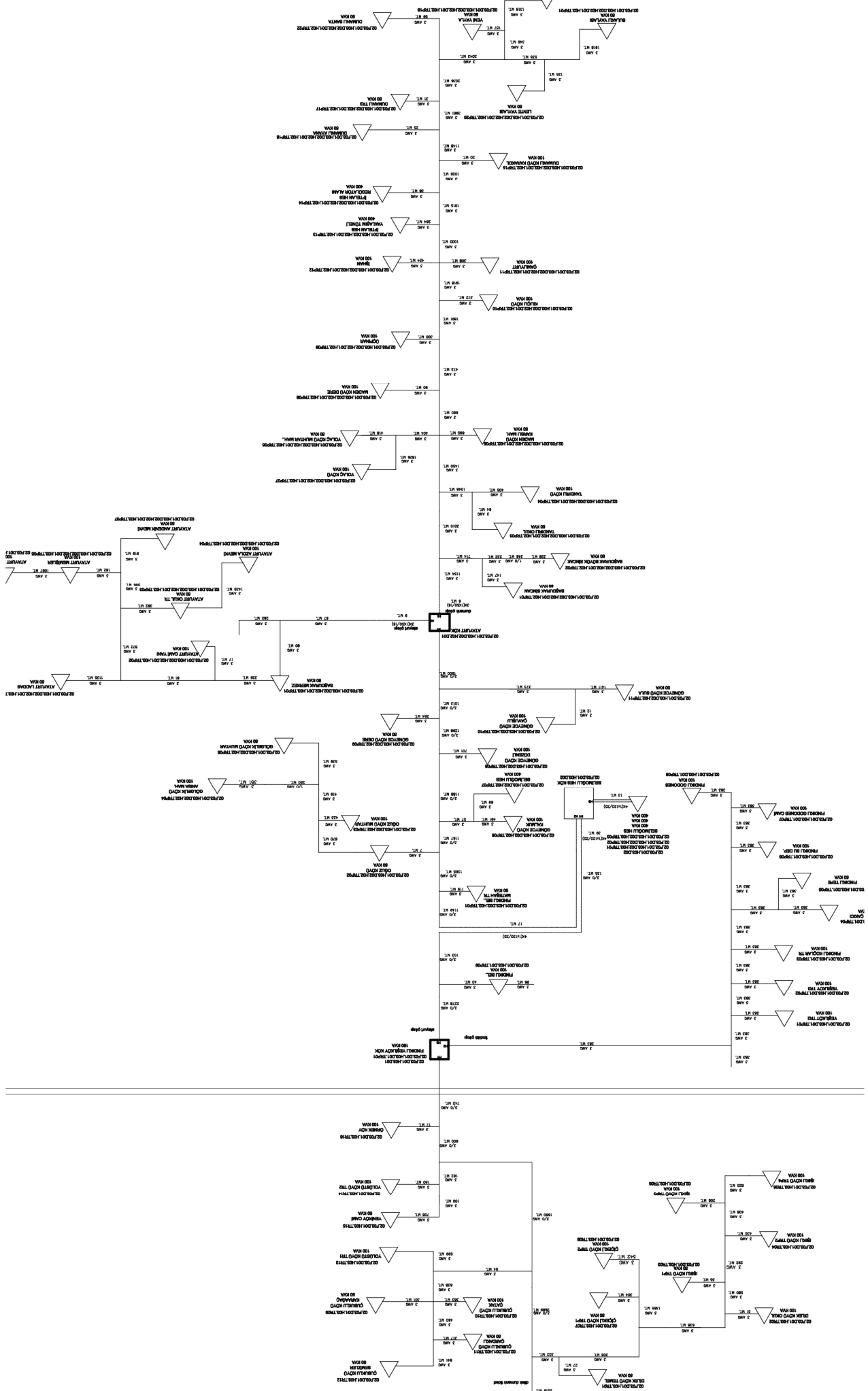


Ek-1 Şekil 23. Yük akışı analizi seçenekleri



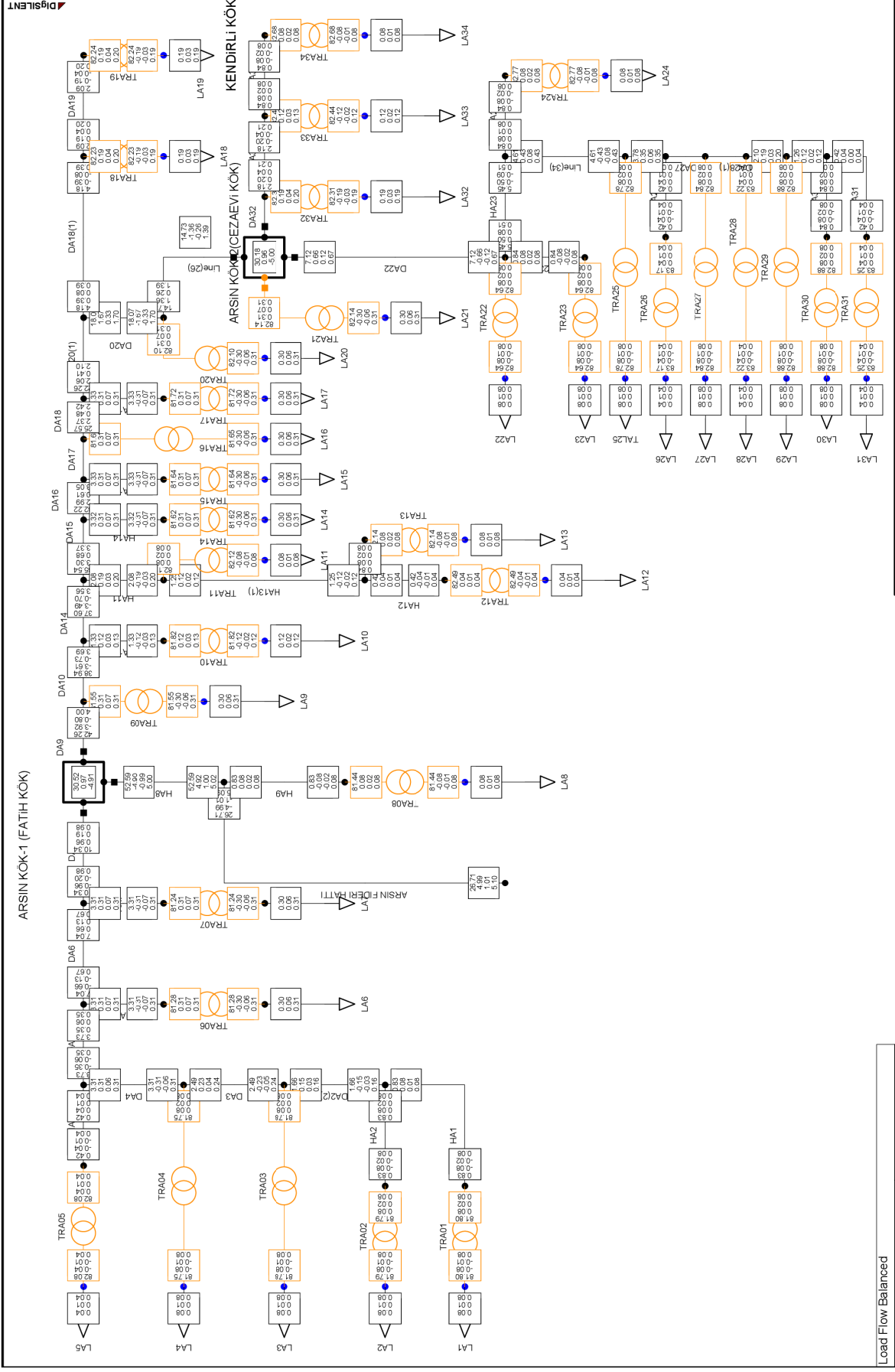






Ek-1'in devamı

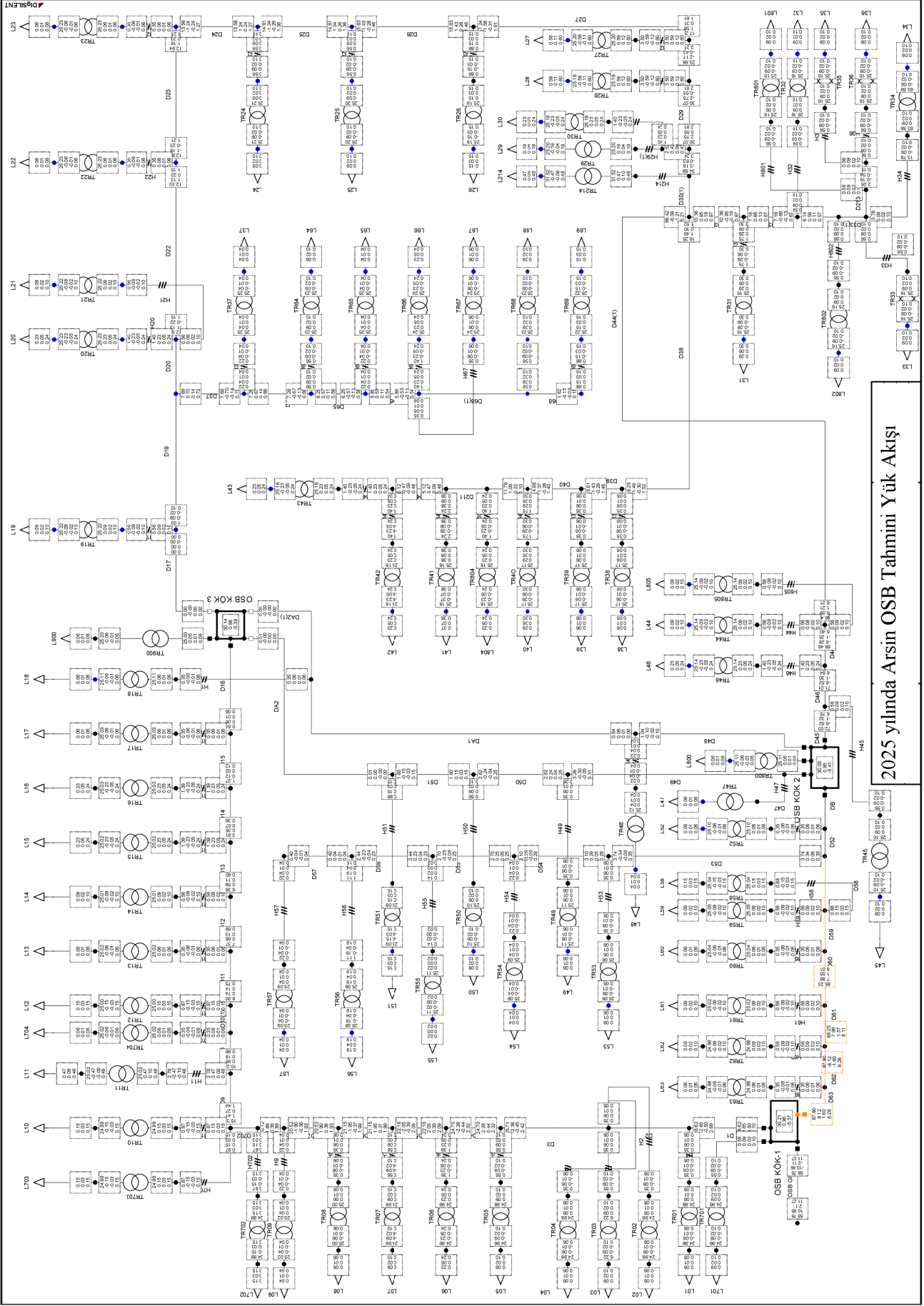
Ek-2 Şekil 3. Araklı-II fideri tek hat şeması



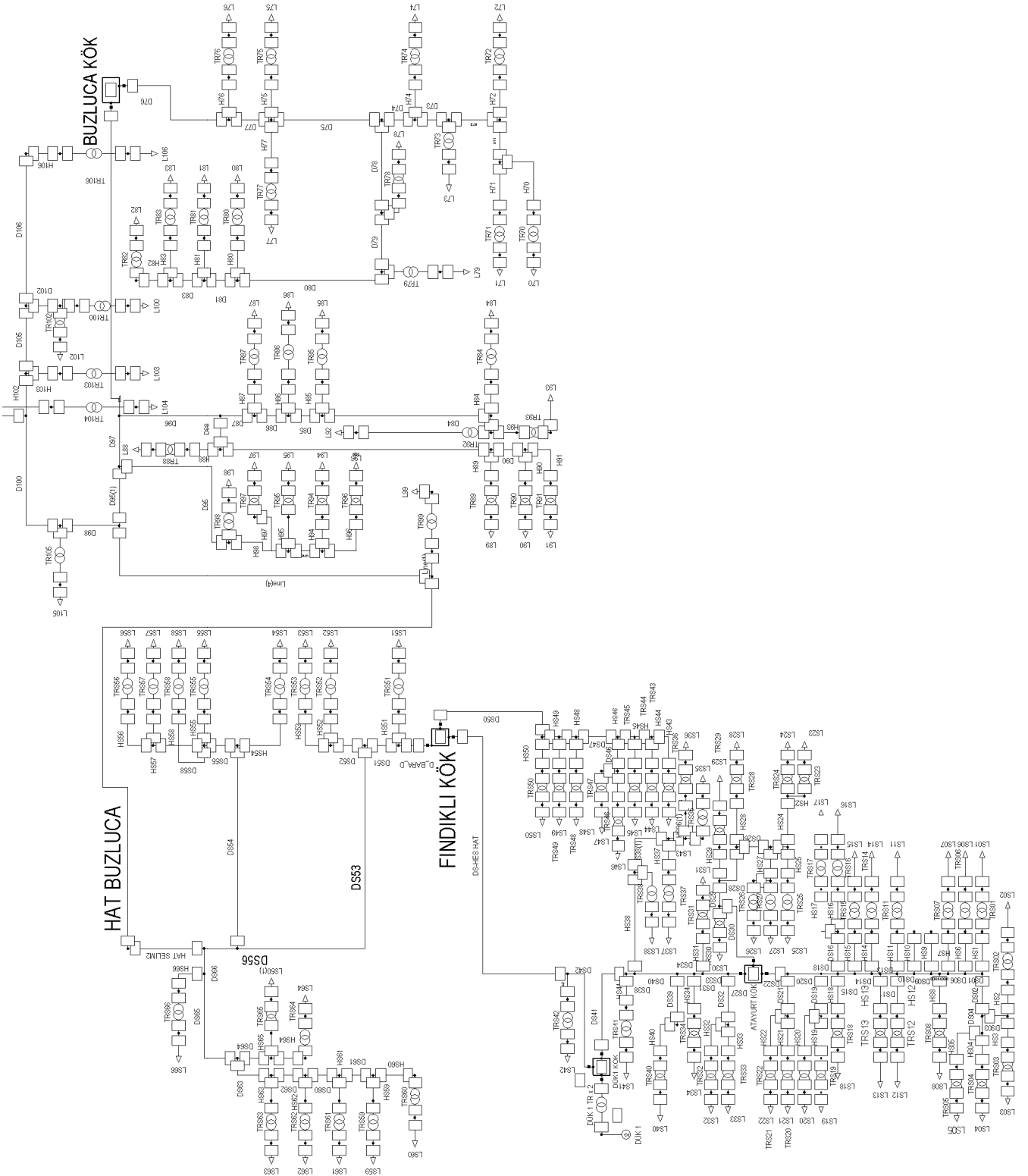
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Loading [%]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Active Power [MW]
Voltage, Angle [deg.]	Reactive Power [Mvar]

2025 yılında Arsin Fideri tahmini Yük Akışı

Ek-2 Şekil 4. Arsin fiderinin modellenmesi ve 2025 yılındaki tahmini yük akışı



Ek-2 Şekil 5. Arsin Organize Sanayi Bölgesi (Arsin OSB) fiderinin modellenmesi ve 2025 yılındaki tahmini yük akışı



Ek-2 Şekil 6. Araklı-II fiderinin modellenmesi

### EK-3 . Hava Hattı İletkenlerin Akım Taşıma Kapasiteleri

#### YG HAVA HATTI İLETKENLERİ

##### Çelik Alüminyum İletkenler

1 - MEKANİK ÖZELLİKLERİ								
KANADA STANDARDINDAKİ		ELASTİSİTE MODÜLÜ		Lineer Uzama K.S	Kopma Dayanım (kg)	ANMA ÇAPI (mm)	ANMA KESİTİ (mm <sup>2</sup> )	ANMA AĞIRLIĞI (kg/km)
İŞARETİ	ADI	İlk	Nihayi					
3 AWG	SWALLOW	6500	8000	19,2 .10 <sup>6</sup>	1023	7,14	31,14	0,108
1/0 AWG	RAVEN			19,1 .10 <sup>6</sup>	1940	10,11	62,38	0,2159
3/0 AWG	PIGEON	6200	8000	18,9 .10 <sup>6</sup>	3030	12,75	99,23	0,3429
266.8 MCM	PATRIDGE				5100	16,28	157,2	0,5454
477 MCM	HAWK				8820	21,80	281,10	0,9749

2 - YAPISAL ÖZELLİKLER					
KANADA STANDARDINDAKİ		Damar Sayıları	KESİTLER (mm <sup>2</sup> )		
İŞARETİ	ADI		Al / Çe	AL	Çe.
3 AWG	SWALLOW	6 / 1	26,69	4,45	31,14
1/0 AWG	RAVEN	6 / 1	53,52	8,92	62,44
3/0 AWG	PIGEON	6 / 1	85,12	14,18	99,3
266.8 MCM	PATRIDGE	26 / 7	134,87	21,99	156,86
477 MCM	HAWK	26 / 7	241,65	39,19	280,84

3 - ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER									
KANADA STANDARDINDAKİ		AKIM TAŞIMA KAPASİTESİ			R (20 °C) Ohm/m	X <sub>L</sub>			Eşdeğer Cu mm <sup>2</sup>
İŞARETİ	ADI	- 1 - (A)	- 2 - (A)	- 3 - (A)		10 kV Ohm/m	15 kV Ohm/m	35 kV Ohm/m	
3 AWG	SWALLOW	120	160	180	1,0742	0,371		0,420	13,31
1/0 AWG	RAVEN	195	230	280	0,5362	0,347		0,387	33,73
3/0 AWG	PIGEON	275	300	360	0,3366	0,335		0,373	53,52
266.8 MCM	PATRIDGE	345	460	510	0,214	0,318		0,335	85,17
477 MCM	HAWK	540	670	740	0,1194	0,300		0,337	152

##### AKIM TAŞIMA KAPASİTESİNİ ETKİLİYEN FAKTÖRLER

İŞARETLER	1	2	3
Rüzgar Hızı (m/sn)	0	0,61	0,6
Ortam Sıcaklığı (oC)	40	25	20
İletken Yüzeyi	80	75	80
Güneş Isısı	-	-	1

kaynak: [www.erelektrik.com.tr](http://www.erelektrik.com.tr)

## ÖZGEÇMİŞ

Alkan AKSOY 1980 yılında Trabzon Vakfıkebir ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 1997 yılında Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2003 yılında lisans programından mezun olduktan sonra 2004-2005 yılları arasında askerlik görevini Ankara'da Muhabere Okulu ve İstanbul'da NATO Muhabere Alay Komutanlığında yedek subay olarak tamamladı. 2005 yılından itibaren özel sektörde elektrik mühendisi olarak göreve başladı. 2005 yılında Trabzon TEDAŞ ve 2005-2007 yılları arasında İzmit ELİMSAN Şalt Cihazları ve Elektromekanik A.Ş fabrikasında dış ticaret satış sorumlusu olarak görev yaptı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2008 Eylül ayından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu Elektrik Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.