

Eskişehir-Ankara Yüksek Hızlı Tren Hattı Elektrifikasyon Tesislerinin
Modellenmesi ve Analizi

Emrah Özdemir

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Raylı Sistemler Anabilim Dalı

Temmuz 2018

Modeling and Analysis of Electrification Systems of Eskisehir-Ankara High Speed Line

Emrah Özdemir

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Railway Systems

July 2018

Eskişehir-Ankara Yüksek Hızlı Tren Hattı Elektrifikasyon Tesislerinin
Modellenmesi ve Analizi

Emrah Özdemir

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Raylı Sistemler Anabilim Dalı
Elektrikli Raylı Sistemler Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek

Temmuz 2018

ONAY

Raylı Sistemler Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Emrah Özdemir'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Eskişehir-Ankara Yüksek Hızlı Tren Hattı Elektrifikasyon Tesislerinin Modellenmesi ve Analizi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek

İkinci Danışman : —

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek

Üye : Prof. Dr. Hasan Hüseyin Erkaya

Üye : Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu

Üye : Prof. Dr. Rıfat Edizkan

Üye : Doç. Dr. Abdurrahman Ünsal

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek danışmanlığında hazırlamış olduğum “Eskişehir-Ankara Yüksek Hızlı Tren Hattı Elektrifikasyon Tesislerinin Modellenmesi ve Analizi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara uygun sunduğumu beyan ederim.
24/07/2018

Emrah Özdemir

İmza

ÖZET

Modern raylı sistemlerin şu anda önemli bir dalı olan yüksek hızlı trenler için elektrifikasyon tesislerinin tasarım gereksinimlerini karşılamak amacıyla, malzeme ve donanımların doğru şekilde seçilmesi ve uygun biçimde boyutlandırılması gerekmektedir. Herhangi bir uygulama ve kurulum aşamasından önce, gerekirse sistemin tasarımı doğrulanmalı ve geliştirilmelidir. Bu nedenle, elektrifikasyon tesislerinin tasarımı ve daha sonra doğrulama amacı için kullanılacak etkin bir boyutlandırma programının mevcudiyeti büyük bir gereklilik olmuştur. Bu yüzden, bu tez çalışmasının amacı MATLAB tabanlı bir boyutlandırma programı geliştirmektir. Bu amaçla, mevcut olan Eskişehir-Ankara yüksek hızlı tren hattında bulunan Nötr Bölge 1 ve Alpu Trafo Merkezi arasındaki bölgenin elektrifikasyon tesisleri; hat profili, tren trafiği, bu bölgede seyreden trenlerin hız profil ve dinamik karakteristikleri temel alınarak modellenmiştir. Geliştirilen boyutlandırma programı; trenler tarafından tüketilen güç, trafodan çekilen güç, hat boyunca gerilim düşümleri gibi birçok niceliği hesaplar. Model ve boyutlandırma programının doğruluğunu teyit etmek için, gerçek zamanlı ölçümler hattın ilgili bölgesinden alınmış ve bir işletme senaryosu için sahada kaydedilmiştir. Program tarafından elde edilen sonuçların saha ölçümleriyle yakından eşleştiği görülmüştür. Bu doğrulamadan sonra, geliştirilen program kullanılarak farklı senaryoların uygulanabilirliği değerlendirilmiş ve gerekirse, elde edilen sonuçlara göre öneriler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Elektrifikasyon Tesisleri, Hat Modelleme, Raylı Sistemler, Yüksek Hızlı Tren.

SUMMARY

In order to meet the design requirements of electrification systems for high speed trains, which is now an important branch of the modern rail systems, materials and equipment must be selected correctly and sized properly. Before any implementation and installation phase, the design of the system should be verified and improved if needed. For this reason, the availability of an effective sizing program that can be used for the design of electrification systems and later for the verification purpose has been a great necessity. Therefore, the objective of this thesis study is to develop a MATLAB based sizing program. For that purpose, the electrification systems of the section between Neutral Zone 1 and Alpu Substation located in the existing Eskisehir-Ankara high speed line are modeled based on the line profile, the train traffic, the speed profiles and the dynamic characteristics of the trains traveling at that section. The developed sizing program calculates many quantities such as the power consumed by trains, the power drawn from transformer, and the voltage drop across the line. To verify the accuracy of the model and the sizing program, the real time measurements were taken from the relevant section of the line and recorded in the field for an operational case. It was seen that the results obtained by the program are closely matching the field measurements. After this verification, the feasibility of different cases has been evaluated by using the developed program and if necessary, design suggestions were made according to the obtained results.

Keywords: Electrification Systems, High Speed Train, Line Modeling, Railway Systems.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince desteğini hep hissettiğim danışman hocam Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek'e, eşim Bilgisayar Mühendisi Ayşe Akın'a ve iş arkadaşlarıma en içten duygularıyla teşekkür ederim. Gerekli dökümanlara ulaşmamı sağlayan ve saha testlerinin yapılmasına olanak tanıyan Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları'na (TCDD) katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Literatür Taraması	3
2.2. Elektrifikasyon Tesisleri	5
2.2.1. Katener tesisleri	6
2.2.1.1. <u>Akım taşıma kapasitesi hesabı</u>	9
2.2.1.2. <u>Kısa devre akım taşıma kapasitesi hesabı</u>	17
2.2.1.3. <u>Gerilim düşümü hesabı</u>	18
2.2.1.4. <u>Güç kayıpları</u>	23
2.2.2. Trafo merkezleri ve cer postaları	24
2.2.3. Telekomand (SCADA) sistemleri	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Materyal	25
3.2. Yöntem	25
3.3. Sistem Bileşenlerinin Modellenmesi	25
3.3.1. Güç kaynağı modeli	27
3.3.2. Güç trafosu modeli	28
3.3.2.1. Kısa devre testinden sargı direnci ve kaçak reaktansların bulunması	29
3.3.2.2. <u>Boşta çalışma testinden demir direnci ve mıknatıslanma reaktansının bulunması</u>	30
3.3.2.3. <u>25 MVA güç trafosu empedansının hesaplanması</u>	31
3.3.3. Hat modeli	32
3.3.3.1. <u>Tellerin öz empedansı</u>	34

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.3.2. <u>Rayların öz empedansı</u>	38
3.3.3.3. <u>Kuplaj empedansı</u>	39
3.3.3.4. <u>MATLAB (Simulink) yardımıyla hat empedansının bulunması</u>	41
3.3.4 Tren modeli	44
3.3.4.1. <u>Tren hareketi ve performans hesabı</u>	44
3.3.4.2. <u>Tren tarafından tüketilen aktif cer gücü ve üretilen aktif rejeneratif güç</u>	49
3.3.4.3. <u>Tren tarafından çekilen görünür güç</u>	50
3.3.4.4. <u>Hız ve konum güncelleme</u>	51
3.4. Boyutlandırma Programının Geliştirilmesi	52
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	54
4.1. Senaryo 1	54
4.2. Sahadan Elde Edilmiş Ölçümler ile Boyutlandırma Programından Elde Edilen Hesaplamaların Kıyaslanması	64
4.3. Senaryo 2	67
4.4. Senaryo 3	70
4.5. Senaryo 4	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR DİZİNİ	78
EK AÇIKLAMALAR	80
Ek Açıklamalar-A: Saatlik Küresel Solar Radyasyon	81
Ek Açıklamalar-B: Alpu TM Kısa Devre Akımı Değerleri	82
Ek Açıklamalar-C: Boyutlandırma Programı MATLAB Kodları	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Tipik bir besleme planı	5
2.2. Katener hat bileşenleri	7
2.3. Etap boyu	7
2.4. Ekipman bölge temel prensip şeması	7
2.5. Seksiyonman bölge temel prensip şeması	8
2.6. Nötr bölge temel prensip şeması	8
2.7. Komple etap temel prensip şeması ile beton direk ve temel tipleri.....	9
2.8. Dezaksman	9
2.9. Bir çıplak telin enerji dengesi	10
2.10. Seyir teli çapı: a) nominal seyir teli çapı, b) %20 aşınmış seyir teli çapı	12
2.11. Saatlik küresel solar radyasyon grafiği	15
2.12. Katener hat şebekesindeki gerilim ilişkileri: a) eşdeğer devre şeması, b) tren akım çekerken, gerilim düşümünün vektör diyagramı	20
2.13. Katener hattın basitleştirilmiş bir taraftan besleme tertibi	21
2.14. Bir katener hat besleme bölgesinde bir trenin oluşturduğu gerilim düşümü	22
2.15. Katener hat besleme bölgesinde üç trenin oluşturduğu gerilim düşümü	22
2.16. Düzgün dağılmış hat yükü	23
3.1. Nötr Bölge 1-Alpu TM arası YHT hattı elektrifikasyon sisteminin genel şeması	26
3.2. Sistem bileşenlerinin sekonder tarafa indirgenmiş eşdeğer devre modeli	26
3.3. Primer gerilimine indirgenmiş trafo T eşdeğer devresi	29
3.4. Sekonder uçları kısa devre edilmiş trafo eşdeğer devresi	30
3.5. Boşta çalışma testinde trafo eşdeğer devresi	31
3.6. Katener hat şebekesinin elektriksel şeması	33
3.7. Eskişehir-Ankara YHT hattındaki iletkenlerin tertibi	40
3.8. 10-iletkenli bir çift hattın şeması	41
3.9. Simulink'te kısa devre durumunda katener hat şebeke modeli	42
3.10. Simulink'te kullanılan elemanlara ait parametreler: a) AC gerilim kaynağı, b) ortak endüktans	42
3.11. Eğimli yol üzerinde trenin toplam ağırlığının bileşenleri	46
3.12. NB1-Alpu TM arası Hat1 ve Hat2 eğim profili	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.13. Cer kuvveti-hız eğrisi	47
3.14. Fren kuvveti-hız eğrisi	48
3.15. Pantoğraftaki gerilim değişimine bağlı cer kuvveti	49
3.16. Kararlı durum koşulları altında cer durumunda güç faktörü-hat gücü grafiği	51
3.17. Besleme bölgesindeki 8 trene ait basitleştirilmiş şema	52
3.18. Boyutlandırma programı akış diyagramı	53
4.1. Besleme bölgesindeki 1 trene ait basitleştirilmiş şema	54
4.2. İvme, ilk hız, son hız grafikleri	55
4.3. İvme, ilk hız, ilk konum ve son konum grafikleri	56
4.4. Tren direnci, rampa direnci, net kuvvet ve cer kuvveti grafikleri	57
4.5. Cer kuvveti, ilk hız ve aktif cer gücü grafikleri	58
4.6. Aktif cer gücü ve tren tarafından çekilen aktif güç grafikleri	59
4.7. Tren tarafından çekilen aktif, reaktif ve görünür güç grafikleri	60
4.8. Tren tarafından çekilen görünür güç, trafo sekonder gerilimi, trafo sekonder gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü ve tren tarafından çekilen akım grafikleri	61
4.9. Tren tarafından çekilen aktif güç, güç kayıpları ve trafodan çekilen aktif güç grafikleri	62
4.10. Trafo sekonder gerilimi, trafo sekonder gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü ve hat sonu gerilimi grafikleri	63
4.11. Trafodan çekilen toplam akım ve aktif güç grafikleri	64
4.12. Tren otonom kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo65 sekonder akımı ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder akımı grafiği	65
4.13. Tren otonom kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder gerilimi ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder gerilimi grafiği	66
4.14. Tren manuel kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder akımı ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder akımı grafiği	67
4.15. Besleme bölgesindeki 4 trene ait basitleştirilmiş şema	67
4.16. Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği	68
4.17. Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği	69
4.18. Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği	70
4.19. Besleme bölgesindeki 6 trene ait basitleştirilmiş şema	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.20. Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği	71
4.21. Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği	72
4.22. Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği	73
4.23. Besleme bölgesindeki 8 trene ait basitleştirilmiş şema	74
4.24. Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği	74
4.25. Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği	75
4.26. Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Havanın özellikleri	12
2.2. Malzemelerin mekanik özellikleri için sıcaklık limitleri	13
2.3. Seyir teli ve portör teline ait fiziksel özellikler	13
2.4. Seyir teli ve portör teli için konveksiyon ile enerji kaybı	14
2.5. Metal yüzeylerine ait solar emilim ve emisyon katsayıları k_a ve k_e	14
2.6. Seyir teli ve portör teli için radyasyon ile enerji kaybı	15
2.7. Seyir teli ve portör teli için solar radyasyon ile enerji girişi	16
2.8. Seyir teli ve portör teli için birim uzunlukta, T sıcaklıktaki direnç	16
2.9. Seyir teli ve portör teli için kısa devre kapasitesi ve başlangıç kısa devre akımı	16
2.10. Pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim $U_{\text{ortalama yararlı}}$ (Volt)	19
3.1. Güç kaynağı empedansı hesabında kullanılacak değerler	27
3.2. Trafonun kademelerine ait gerilim ve akım değerleri	28
3.3. Tellerin fiziksel özellikleri	35
3.4. Tellerin birim uzunlukta direnç değerleri	35
3.5. Bazı iletkenlere ait iletken yarıçapının iletken eşdeğer yarıçapa oranının değerleri	36
3.6. Tellerin birim uzunlukta iç reaktans değerleri	36
3.7. Tellerin birim uzunlukta dış reaktans değerleri	37
3.8. Tellerin birim uzunlukta direnç, toprak direnci, iç reaktans, dış reaktans ve öz empedanslarının değerleri	37
3.9. Re 250 tipi tek faz 50 Hz paralel bağlanmış çift hatta sahip katener hat sisteminde her bir iletken arasındaki akım dağılımı	39
3.10. Rayların birim uzunlukta direnç, toprak direnci, iç reaktans ve öz empedansının değerleri	39
3.11. Birim uzunlukta ortak reaktans değerleri (Ω/km)	41
3.12. Birim uzunlukta direnç matrisi	43
3.13. Birim uzunlukta endüktans matrisi	43
3.14. Cer kuvvetine ilişkin karakteristik değerler	47
3.15. Fren kuvvetine ilişkin karakteristik değerler	48
A.1. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan azami saatlik küresel solar radyasyonunun olduğu güne ait değerler	81

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**Cizelge****Sayfa**

B.1. Alpu TM 154 kV barasında kısa devre akımı değerleri 82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Kısaltmalar****Açıklama**

Fİ	Fider İletkeni
GĐİ	Geri Dönüş İletkeni
NB	Nötr Bölge
OGC	Otomatik Germe Cihazı
PT	Portör Teli
ST	Seyir Teli
TM	Trafo Merkezi
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
YHT	Yüksek Hızlı Tren

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Birçok görüşe göre bir ülkenin ekonomik gelişmişliğinin göstergelerinin arasında ulaşım sistemleri önemli bir yer almaktadır. Şavata vd.ne (2016) göre ulaşım türlerinin toplam taşıma içindeki oranlarının belirlenip ulaşım sisteminde uygun bir şekilde dağıtılması ülkenin sosyo-ekonomik kalkınmasını destekler. İnsanlara sorduğumuzda günümüzdeki beklentileri, genelde modern bir taşıma sisteminin düşük maliyetli, konforlu, yüksek güvenilirliğe sahip ve aynı zamanda hızlı olması yönündedir. Yolcu taşımalarında konfor ile birlikte, çevre ile dost olması ve en düşük enerji tüketimini sağlaması da istenen özelliklerin başında gelmektedir. Bu gereksinimleri karşılayacak ulaşım şekli günümüzde artık hızlı tren taşımacılığıdır. Bu kapsamda kaliteyi belirleyen faktörler, çeken ve çekilen araç teknolojisinin geliştirilmesi ve parkının yeterli seviyeye getirilmesi, mevcut demiryolu ağının fiziki ve geometrik standartlarının yükseltilmesi, tren trafiğinin sıklığı, güvenliği ve kontrolünü sağlayan elektrifikasyon tesislerinin devreye girmesi ve hat kapasitesinin artırılmasıyla yükseltilebilir (Şavata vd., 2016). Bu tezin amacı ise, Eskişehir-Ankara yüksek hızlı tren (YHT) hattındaki elektrifikasyon tesislerinin incelenmesi neticesiyle tren sıklığının artırılmasının yanında elektriksel altyapı güvenliğinin sağlandığı işletme şartlarını belirleyerek ileride yapılması düşünülen iyileştirme çalışmalarına katkıda bulunabilmektir.

Bu tez çalışmasında Eskişehir-Ankara AC (alternatif akım) demiryolu hattında yer alan Nötr Bölge 1 (NB1) ile Alpu Trafo Merkezi (TM) katener hat besleme bölgelerinde meydana gelen gerilim düşümü, trenin tükettiği güçler, trafodan çekilecek güçler gibi niceliklere ait hesaplamalar MATLAB'de (Versiyon: R2017a) yapılmıştır. Elektrifikasyon tesisleri, sistem bileşenleri ve senaryolar ile ilgili çizimler AutoCAD'de (Versiyon: 2015) yapılmıştır.

Giriş bölümüyle başlayan tez 5 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2'de literatür araştırması ve elektrifikasyon tesisleri hakkında genel bilgi verilmektedir. Bölüm 3'te sistem bileşenlerini oluşturan güç kaynağı, trafo, hat ve tren modellenmektedir. Bölüm 4'te ilgili katener hat besleme bölgesindeki hat profili, tren trafiği, trenin dinamik karakteristiği ve hızına göre tren tarafından tüketilen güçler, trafodan çekilecek güçler, gerilim düşümleri

gibi nicelikleri hesaplayan boyutlandırma programının doğruluğu bir işletme senaryosunda denenmektedir. Ayrıca bu program aracılığıyla farklı senaryolar değerlendirilmekte ve gerektiğinde, elde edilen sonuçlara bağlı olarak önerilerde bulunulmaktadır. Bölüm 5'te ise, sonuç ve öneriler takdim edilmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Taraması

Kulworawanichpong'a (2003) göre modern raylı sistemlerin önemli bir kolu olan elektrifikasyon tesislerinin tasarımı ve planında, kendi görevini gerçekleştirmeye yönelik çeşitli simülasyon programları kullanılır. Bu programlar sadece pahalı olmayıp, aynı zamanda karmaşıktır. Tam bir raylı sistem simülasyonu; genellikle tren hareketi, sinyal, güç kaynağı gibi özellikleri içerir. Simülasyonun yüksek doğruluğunu isteyen tasarım mühendisleri, özellikle elektrikli raylı sistem şebekeleri için gelişmiş modelleme ve simülasyona ihtiyaç duyarlar. Elektrikli raylı sistemlerde kullanılan simülasyon programları aşağıda kısaca anlatılacaktır.

- Liden (1992) ve Nyman'a (1998) göre TTS/SIMON Power Log, İsveç Ulusal Demiryolu Yönetimi (Swedish National Rail Administration) tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Kulworawanichpong, 2003). Simülasyon programı; güç hesaplama modülü olan Power Log ve Tren Trafik Simülasyonu'ndan (Train Traffic Simulation - TTS) meydana gelir. Simülasyon programı, öncelikle tren trafik planlaması ve işletimine odaklanır. İşletme boyunca, tren gerilimi sabit olarak varsayılır.
- Uher'e (1987) göre Carnegie Mellon Üniversitesi, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), tarafından demiryolu transit Enerji Yönetimi Modeli (Energy Management Model - EMM) geliştirildi (Kulworawanichpong, 2003). Simülasyon programı; Tren Performans Simülatörü (Train Performance Simulator - TPS) ve Elektrik Şebekesi Simülatörü (Electric Network Simulator - ENS) olmak üzere iki önemli simülatörden oluşur. Bu simülasyon programında, güç şebekesi çözümlerinde Gauss-Seidel güç akış yönteminden yararlanılmıştır. Bu simülasyon programı; WMATA ve MARTA metro sistemleri gibi birçok Kuzey Amerika demiryolu sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- Mellitt vd.ne (1978 a, b) göre Çoklu Tren Simülatörü (Multi-Train Simulator - MTS) Birmingham Üniversitesi, İngiltere, tarafından geliştirildi (Kulworawanichpong, 2003). Tren hareket simülatörleri ve güç şebekesi arasında tam bir arayüze sahiptir. En azından DC (doğru akım) sistemler için, doğrusallaştırılmış düğüm yöntemiyle bulunan

pantoğraf gerilimlerine göre tren performansları güncellenir. İngiltere, Avrupa ve Uzak Doğu'da pek çok üretici ve işletmeci tarafından kullanılmaktadır.

- Mcguire ve Linder'e (1994) göre Katener Sistemi Yüklmesi (Overhead System Loading - OSLO) İngiliz Demiryolu Araştırma Enstitüsü (British Rail Research) tarafından geliştirilmiştir (Kulworawanichpong, 2003). AC demiryolu güç şebekesi simülatörü olup VISION/OSLO program paketi olarak VISION tren hareket simülatörüne eklenebilmektedir. Şebeke denklemlerini basitleştirmek için, katener sisteminin toplanmış empedans modeli ve yük transfer tekniği kullanılır. Bu simülasyon programı Network demiryolu altyapı şirketi (Network Rail) tarafından kullanılmaktadır. Örneğin; West Coast ana hattı ve bazı ülkelerde bu simülasyon programından istifade edilmiştir.
- Cunha vd.ne (1998) göre Bilgisayar Destekli Tasarım Aracı (Computer Aided Design Tool); Siemens, ABB ve Lizbon Teknik Üniversitesi, Portekiz, konsorsiyumu tarafından geliştirildi (Kulworawanichpong, 2003). Bu yazılım paketi; Veri Tabanı Yönetimi, Tren Hareket Simülasyonu, Trafik Simülasyonu ve Yük Akışı ve Harmonik Analiz olmak üzere dört ana modülden oluşmaktadır. Bu simülasyon programı, güç şebekesi çözümleyicisi olarak Newton-Raphson yöntemini kullanır.
- Van-Alphen vd.ne (1998) göre SIMSPOG simülasyon aracı Hollanda Demiryolu Danışmanlık Şirketi (Holland Railconsult), Hollanda, tarafından geliştirilmiştir (Kulworawanichpong, 2003). MATHCAD yazılımına dayalı AC demiryolu güç sistemlerinin matematiksel modelidir. Bu simülasyon programı, 1×25 kV (basit besleme sistemi) ve 2×25 kV (ototrafo besleme sistemi) AC güç kaynaklarına uygulanabilir. Gerilim hesaplamalarında, basit düğüm denklemleri kümesi oluşturulur ve çözülür. Bu simülasyon programı; Betuweroute ve Havenspoorlijn gibi Hollanda AC demiryolu hatlarının tasarımında ve Lüksemburg Demiryolları Kuzey Hattı'nın (Ligne du Nord of the Luxembourg Railways - CFL) analizinde kullanılmıştır.
- Ho vd. (2004) tarafından AC elektrikli demiryolları için olasılıksal bir yük akışı analizi önerilmiştir (Li, 2010). Tren konumu, trenlerin güç taleplerinin olasılık yoğunluk fonksiyonunu tanımlayan olasılıksal değişken olarak kullanılır.
- Alonso vd.ne (2009) göre Demiryolu Elektrik Gücü Simülasyonu (Railway Electric Power Simulation - REPS) Demiryolu Altyapı Yönetimi (ADIF), Katalonya Teknik Üniversitesi Teknoloji Transfer Merkezi (CITCEA-UPC) ve Mühendislik, İnşaat Yönetimi ve Montajı (IDOM) tarafından geliştirilmiştir. AC ve DC elektrikli demiryolları hatlarında, elektrikli cer araçlarına bağlı farklı elemanların simülasyonu, hesaplanması ve

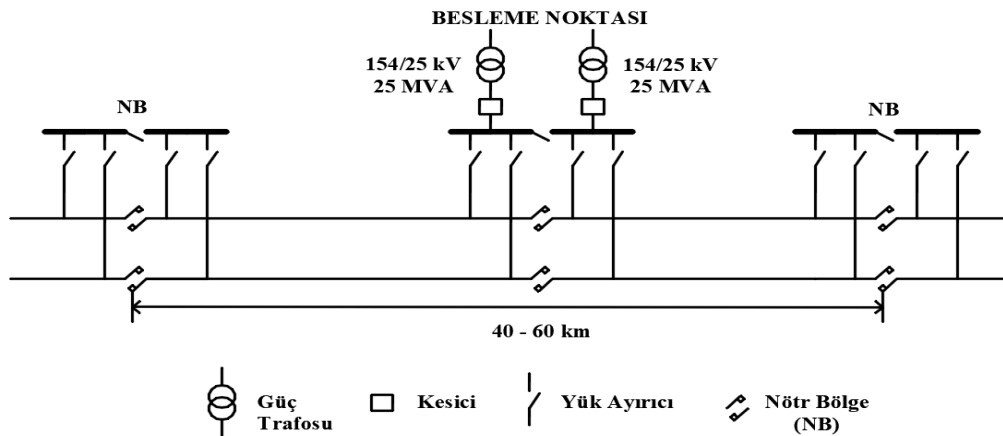
boyutlandırılmasında kullanılır. İşletme ağı oluşturma, empedans hesaplama, elektrik hesaplama, paralel hatlarda endüklenmiş bozulma için elektrik hesaplama ve iletkenler için termal çalışma olmak üzere beş modülden meydana gelir. Simülatör, Madrid – Zaragoza – Barcelona – Fransa sınırı YHT hattı Barcelona – Figueres hat kesimi ve Madrid – Asturias YHT hattı Palencia – Leon hat kesiminde kullanılmıştır.

Eskişehir-Ankara 1×25 kV AC elektrifikasyon tesislerinin modellenmesine geçilmeden önce; elektrifikasyon tesisleri, akım taşıma kapasitesi, kısa devre akımları, gerilim düşümleri ve güç kayıpları hakkında aşağıda kısaca bahsedilecektir.

2.2. Elektrifikasyon Tesisleri

Friedrich vd.ne (2009) göre elektrifikasyon tesislerinin fonksiyonu, insanları ve/veya malları emniyetle bir yerden başka bir yere kontak hatlar yardımıyla taşımaktır. Kontak hat, cer araçlarına pantoğraf gibi akım toplayıcı aracılığıyla enerji sağlayan bir iletken sistemdir. Kontak hat sistemleri; katener hat sistemleri, üçüncü ray sistemleri ve havai iletken ray (rijit katener hat) sistemleri olarak alt gruplara ayrılır. Eskişehir-Ankara YHT hattında Re 250 katener hat sistemi kullanılmıştır.

İşletmeciliğin ekonomik, güvenli ve hızlı olması ereğiyle, elektrifikasyon tesisleri ile donatılacak hat kesimi için oluşturulan plana besleme planı denir. AC 25 kV 50 Hz tipi katener hat şebekesini besleyen trafo merkezleri genellikle 40-60 km aralıklarla yerleştirilir. Şekil 2.1’de tipik bir besleme planı görülmektedir.



Şekil 2.1. Tipik bir besleme planı

Yeşiloğlu'na (2016) göre besleme planı hazırlanırken şunlara dikkat edilmelidir:

- İşletme koşullarında, asgari gerilim düşümü ve güç kaybı sağlanarak verimlilik azami noktada tutulmalı,
- Kısa devre gibi arızaların bakım ve onarım çalışmalarında hattın lokal bölgelere ayrılması sağlanarak, demiryolu trafiği bu tip durumlardan asgari düzeyde etkilenmeli,
- Hatalı manevra işlemleri ve iş kazalarının olmaması için olabildiğince kolay ve doğru anlaşılır olmalı,
- Standart demiryolu işletme uygulamalarına uygun olmalı,
- Gerekli kesici, ayırıcı, bölüm seksiyoneri (IS) gibi teçhizatlarının sayısı mümkün olduğunca az olmalıdır.

TCDD'nda elektrifikasyon tesisleri genel olarak üç alt sistemden oluşur:

- 1) Katener tesisleri,
- 2) Trafo merkezleri ve cer postaları,
- 3) Telekomand (SCADA) sistemleri.

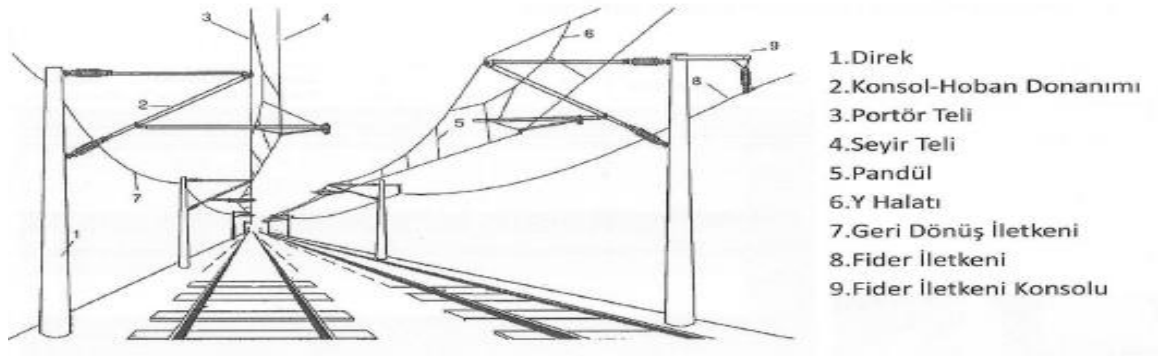
2.2.1. Katener tesisleri

Tren çatısının üzerine monte edilmiş pantoğrafın temasıyla elektrikli trene enerji temin eden sisteme katener hat sistemi denir. Katener hat ve geri dönüş devresinden oluşmaktadır. Katener hattın bileşenlerinden olan seyir teli ile pantoğraf arasındaki temasın kesintisiz olarak alınması için sistemin çok iyi tasarlanması ve imal edilmesi gerekir. Bundan dolayı, Eskişehir-Ankara YHT hattının katener tesisleri TS EN 50119, UIC 794-0 ve UIC 799-0 standartlarındaki şartları sağlayıp 250 + %10 km/sa hıza göre tasarlanmış ve imal edilmiştir.

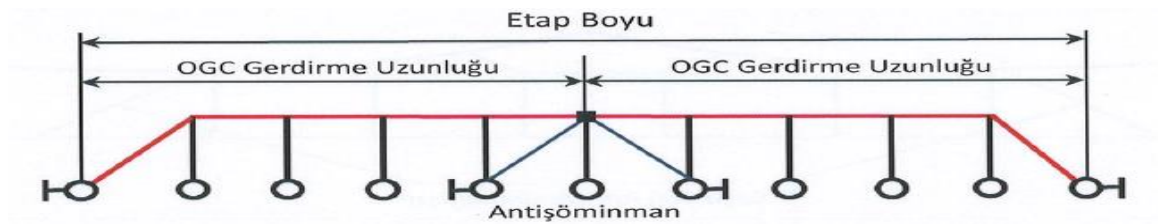
Katener hat sisteminin ana bileşenleri; direk, konsol-hoban donanımı, portör teli (PT), seyir teli (ST), pandül, Y halatı, geri dönüş iletkeni (GDİ), fider iletkeni (Fİ) ve fider iletkeni konsolu olarak Şekil 2.2'de verilmektedir.

Katener tesisleri hat boyunca kesintisiz bir şekilde etaplar halinde inşa edilir. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere iki sonlandırma noktası arasındaki telin uzunluğuna etap boyu denir. Genellikle, katener hattın her iki ucuna otomatik germe cihazı (OGC) monte edilir

ve etabın ortasına antişöminman (sabitleyici) bölge tesis edilir. Azami etap boyu iki adet OGC gerdirme uzunluğunun toplamına eşittir (Bkz. Şekil 2.3). Ancak, tasarlanan etabın boyu bir OGC gerdirme uzunluğundan küçük veya eşitse, etabın bir ucuna otomatik germe cihazı monte edilir, diğer ucuna sabit sonlandırma yapılır ve antişöminman bölge yapılmaz.

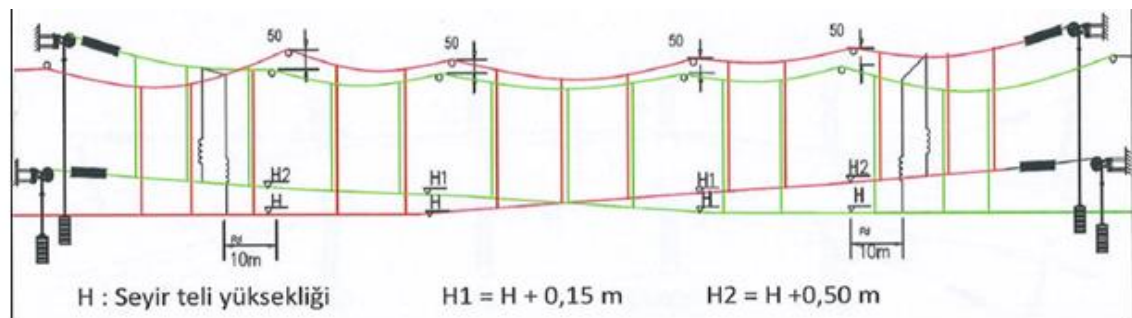


Şekil 2.2. Katener hat bileşenleri (Yeşiloğlu'ndan, 2016)

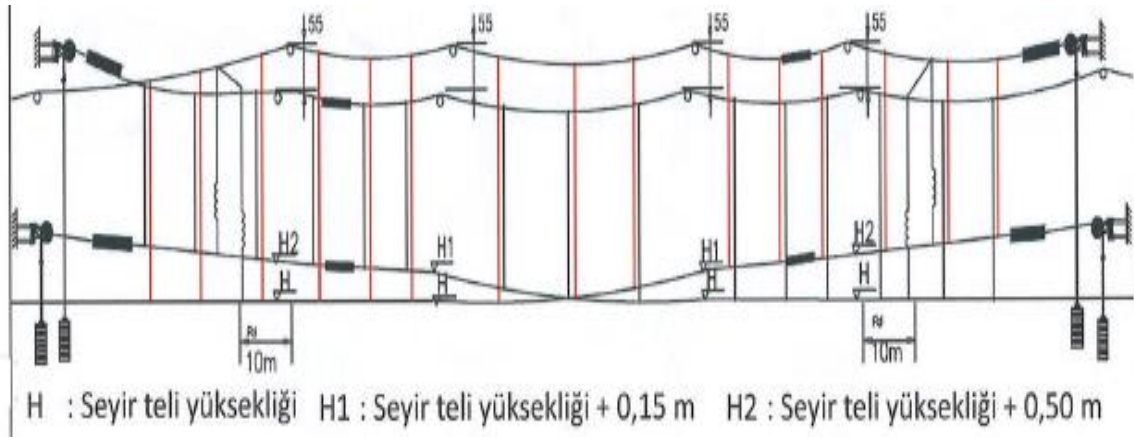


Şekil 2.3. Etap boyu (Yeşiloğlu'ndan, 2016)

İki etabın mekanik ve elektriksel olarak devamlılığını sağlayan bölgeye ekipman bölge denir. Şekil 2.4'te ekipman bölge temel prensip şeması gösterilmektedir. İki etabın mekanik olarak devamlılığını sağlayıp elektriksel olarak etapları birbirinden ayıran bölgeye seksiyonman bölge denir. Şekil 2.5'te seksiyonman bölge temel prensip şeması gösterilmektedir.

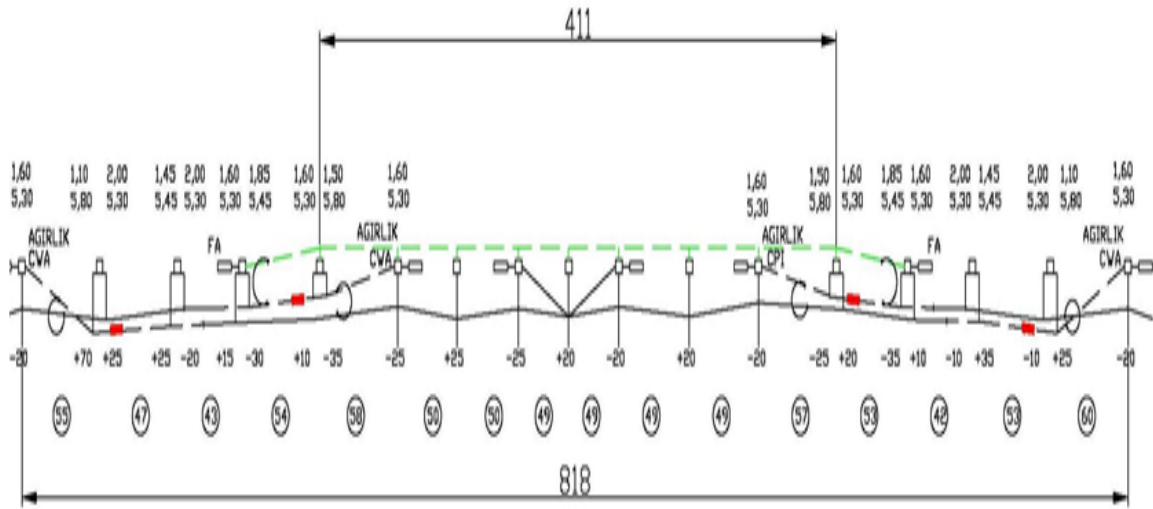


Şekil 2.4. Ekipman bölge temel prensip şeması (Yeşiloğlu'ndan, 2016)



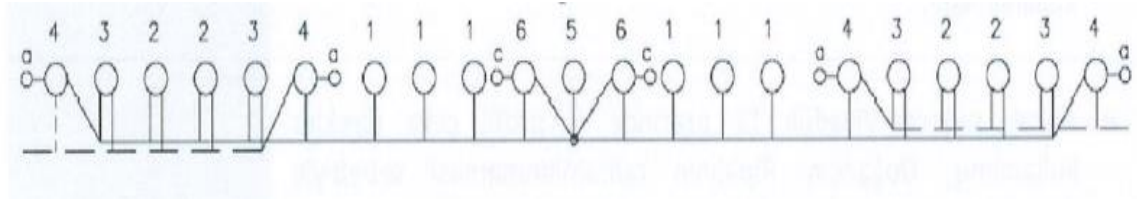
Şekil 2.5. Seksiyonman bölge temel prensip şeması (Yeşiloğlu'ndan, 2016)

Farklı fazlardaki trafolardan beslenen katener tesislerini elektriksel olarak birbirinden ayırmak için iki seksiyonman bölge arasında oluşturulan bölgeye ise nötr bölge denir. Şekil 2.6'da nötr bölge temel prensip şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Nötr bölge temel prensip şeması (Yılmaz vd.nden, 2016)

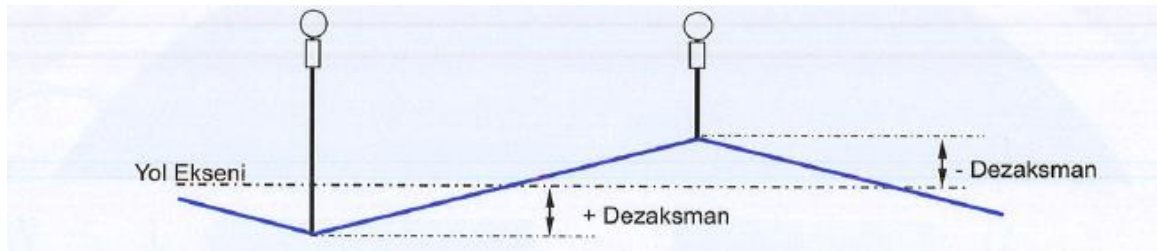
Komple etabı oluşturan direk tipleri ve direklere ait temel tiplerinin mümkün olduğunca standart olması amaçlanır ve Şekil 2.7'de komple etap temel prensip şeması ile beton direk ve temel tipleri görülmektedir.



Kod No	Direğin İşlevi	Direk Tipi	Temel Tipi
1	Tek Konsol Direği	B1-9,5	TA-1
2	Çift Konsol Eksen Direği	B3-9,5	TA-3
3	Çift Konsol Yarı Eksen Direği	B3-9,5	TA-3
4	Tek Konsol ve Ekipman Ankraj Direği	B3-10,5	TA-3
5	Tek Konsol ve Antişöminman Eksen Direği	B2-9,5	TA-2
6	Tek Konsol ve Antişöminman Ankraj Direği	B2-9,5	TA-2

Şekil 2.7. Komple etap temel prensip şeması ile beton direk ve temel tipleri (Yeşiloğlu'ndan, 2016)

Seyir teline temas eden pantoğrafın kömürlü yüzeyinin eşit oranda aşınmasını sağlamak amacıyla katener hattına yol eksenine göre verilen yatay sapmalara dezaksman (zik zak) denir. Şekil 2.8'de dezaksman sunulmaktadır. Bir sonraki bölümde katener tesislerinin akım taşıma kapasitesi hesabı yapılacaktır.

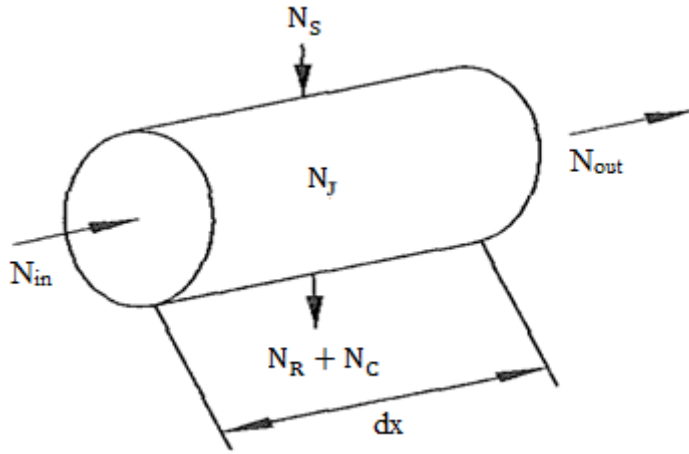


Şekil 2.8. Dezaksman (Yeşiloğlu'ndan, 2016)

2.2.1.1. Akım taşıma kapasitesi hesabı

İletkenin akım taşıma kapasitesi, iletkenin izin verilen azami sıcaklık değerine kadar sürekli taşıyabileceği akım değeridir. Friedrich vd.ne (2009) göre tren yükü nedeniyle katener hattı üzerinde akım yükleri oluşur. Bu yüklerle dayanmak için katener hattı, iletkenlerin izin verilen azami sıcaklıkları tarafından belirlenen yeterli bir akım

taşıma kapasitesine ihtiyaç duyar. Bu yüzden, akım taşıma kapasitesi aynı zamanda ısısal direnç veya ısısal yüklenme kapasitesi olarak adlandırılır. Akım taşıma kapasitesi katener hattın ısısal tasarımını tanımlar. Katener hat birbirine paralel birkaç iletken oluşmasına rağmen, akım taşıma kapasitesi için temel denklemler sadece bir iletkene uygulanır. İletkenin sıcaklık ve akım taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi iletkendeki ısı dengesine dayanmaktadır (Electra, 1992; Webs, 1963; Gorub ve Wolf, 1963; Friedrich vd., 2003: Friedrich vd.nden (2009)). Şekil 2.9'da bir çıplak telin enerji dengesi takdim edilmektedir. Joule ısısı ile enerji girişi N_J , solar radyasyon ile enerji girişi N_S , radyasyon ile enerji kaybı N_R , konveksiyon ile enerji kaybı N_C , iletkene giren enerji N_{in} , iletken çıkışta enerji N_{out} ve iletkenin birim uzunluğu dx ile ifade edilmektedir.



Şekil 2.9. Bir çıplak telin enerji dengesi (Friedrich vd.nden, 2009)

Friedrich vd.ne (2009) göre katener hattın iletkenleri için, tek iletkenin birim uzunluğuna bağlı ısı dengesi (2.1) eşitliğiyle belirlenebilir. (2.1) eşitliğinde, iletken boyunca hiçbir enerji akışının olmadığı, $N_{in}=N_{out}=0$, varsayılır.

$$m_c \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} = N_J + N_S - N_R - N_C \quad (2.1)$$

Birim uzunluktaki iletken kütlesi m_c , öz ısısı c , iletken sıcaklığı T ve zamana göre türev dt ile gösterilmektedir. Joule ısısından dolayı kayıplar (2.2) denklemiyle yazılabilir.

$$N_J = I^2 \cdot R'_T \quad (2.2)$$

Akım taşıma kapasitesi I ve birim uzunlukta, T sıcaklıktaki direnç R'_T ile gösterilmektedir. (2.1) denkleminde (2.2) denklemi yazılır ve (2.1) denklemi $dT/dt=0$ ile çözülürse, kararlı durum koşulunda akım taşıma kapasitesi (2.3) eşitliğiyle bulunabilir.

$$I = \sqrt{\frac{N_C + N_R - N_S}{R'_T}} \quad (2.3)$$

Friedrich vd.ne (2009) göre konveksiyon ile enerji kaybı (2.4) eşitliğiyle hesaplanabilir.

$$N_C = \pi \cdot \lambda \cdot Nu \cdot (T - T_{am}) \quad (2.4)$$

Havanın ısısal iletkenliği λ , Nusselt sayısı Nu , iletken sıcaklığı T ve ortam sıcaklığı T_{am} ile gösterilmektedir. IEC 61 597'ye göre Reynolds sayısına bağlı olan zorlanmış konveksiyon halindeki Nusselt sayısı (2.5) eşitliğiyle verilir. Reynolds sayısı Re (2.6) eşitliğiyle yazılır.

$$Nu = 0,65 Re^{0,2} + 0,23 Re^{0,61} \quad (2.5)$$

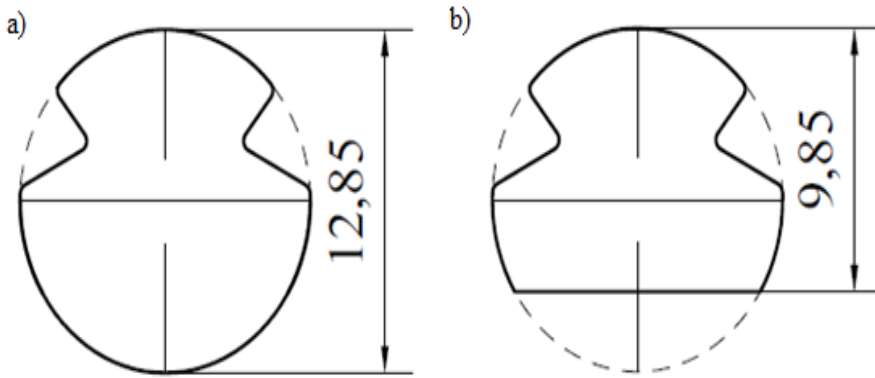
$$Re = V \cdot D \cdot \gamma / \eta \quad (2.6)$$

Rüzgar hızı V , iletken çapı D , havanın öz kütlesi γ ve havanın dinamik viskozitesi η ile gösterilmektedir. Rüzgar hızı, havanın öz kütlesi ve dinamik viskozitesi sıcaklık ve hava basıncına bağlıdır. Pratik hesaplamalarda, deniz seviyesindeki havanın özellikleri, iletken ve ortam sıcaklığının aritmetik ortalamasındaki sıcaklık değeriyle, $T_{air}=(T+T_{am})/2$, değerlendirilebilir. Havanın özellikleri Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Katener hatlarda genellikle rüzgar hızı 1 m/s ve ortam sıcaklığı 40 °C olarak varsayılır. Eskişehir-Ankara YHT hattının katener hattı CuAg BC 120 seyir teli ve Bz II 70 portör telinden oluşmaktadır. TCDD'nda seyir teli kesit alanının %20 değerine kadar aşınmasına izin verildiğinden, seyir teli çapı %20 aşınmış olarak alınmalıdır. TS EN 50149'da seyir tellerinin yapısal biçimleri mevcuttur. Seyir telinin nominal çapı ve düzgün bir biçimde %20 aşınmış seyir teli çapı mm cinsinden Şekil 2.10'da verilmektedir.

Çizelge 2.1. Havanın özellikleri (Friedrich vd.nden, 2009)

Sıcaklık T_{air} (°C)	Öz kütle γ (kg/m ³)	Isısal iletkenlik λ (W/K·m)	Dinamik viskozite η (Ns/m ²)
0	1,29	0,0243	$0,175 \cdot 10^{-4}$
10	1,25	0,0250	$0,180 \cdot 10^{-4}$
20	1,20	0,0257	$0,184 \cdot 10^{-4}$
30	1,17	0,0265	$0,189 \cdot 10^{-4}$
40	1,13	0,0272	$0,194 \cdot 10^{-4}$
50	1,09	0,0280	$0,199 \cdot 10^{-4}$
60	1,06	0,0287	$0,203 \cdot 10^{-4}$
70	1,04	0,0294	$0,208 \cdot 10^{-4}$
80	1,01	0,0301	$0,213 \cdot 10^{-4}$
90	0,97	0,0309	$0,217 \cdot 10^{-4}$
100	0,95	0,0316	$0,222 \cdot 10^{-4}$



Şekil 2.10. Seyir teli çapı: a) nominal seyir teli çapı, b) %20 aşınmış seyir teli çapı

TS EN 50119'a göre malzemelerin mekanik özellikleri için sıcaklık limitleri Çizelge 2.2'de gösterilmektedir. Çelik özlü alüminyum iletken ACSR ve çelik özlü alüminyum alaşımlı iletken AACSR ile ifade edilmektedir. Mevcut üstyapı kullanımında olan seyir teli ve portör teline ait fiziksel özellikler Çizelge 2.3'te sunulmaktadır.

Çizelge 2.2. Malzemelerin mekanik özellikleri için sıcaklık limitleri (TS EN 50119'dan, 2010)

Malzeme	Sıcaklık (°C)		
	1 s'ye kadar (kısa devre akımı)	30 dk'ya kadar (pantoğraf sabit)	Sürekli (işletme koşulu)
Yüksek iletkenli normal ve yüksek mukavemetli bakır	170	120	80
Gümüş-bakır alaşımı	200	150	100
Kalay-bakır alaşımı	170	130	100
Magnezyum-bakır alaşımı Bronz (0,2)	170	130	100
Magnezyum-bakır alaşımı Bronz (0,5)	200	150	100
Alüminyum alaşımlar	130	-	80
ACSR / AACSR	160	-	80

Çizelge 2.3. Seyir teli ve portör teline ait fiziksel özellikler

Sembol	Anlam	Birim	CuAg BC 120	Bz II 70
D	iletken çapı	m	0,00985 ¹⁾	0,0105
ρ_{20}	20 °C sıcaklıktaki öz direnç	$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0,01777	0,02257
α_R	öz direnç sıcaklık katsayısı	K^{-1}	0,00381	0,004
γ	öz kütle	kg/m^3	8900	8900
c	öz ısı	$(\text{W}\cdot\text{s}/(\text{kg}\cdot\text{K}))$	380	380

¹⁾ %20 aşınmış

Seyir teli ve portör teli için konveksiyon ile enerji kaybı Çizelge 2.4'te takdir edilmektedir.

IEC 61 597'e göre radyasyon ile enerji kaybı (2.7) eşitliğiyle verilir (Friedrich vd., 2009). $5,67\cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ değerine eşit olan Stefan-Boltzmann sabiti k_s , solar emisyon katsayısı k_e , iletkenin mutlak sıcaklığı θ ve mutlak ortam sıcaklığı θ_{am} ile gösterilmektedir. Çizelge 2.5'te metal yüzeylerine ait solar emilim ve emisyon katsayıları verilmektedir.

Çizelge 2.4. Seyir teli ve portör teli için konveksiyon ile enerji kaybı

Sembol	Anlam	Birim	CuAg BC 120	Bz II 70
λ	havanın ısısal iletkenliği	W/K·m	0,0294	0,0294
V	rüzgar hızı	m/s	1	1
D	iletken çapı	m	0,00985	0,0105
γ	havanın öz kütlesi	kg/m ³	1,04	1,04
η	havanın dinamik viskozitesi	Ns/m ²	$0,208 \cdot 10^{-4}$	$0,208 \cdot 10^{-4}$
Re	Reynolds sayısı		492,5	525
Nu	Nusselt sayısı		12,3406	12,7708
T	iletken sıcaklığı	°C	100	100
T _{am}	ortam sıcaklığı	°C	40	40
N_C	konveksiyon ile enerji kaybı	W/m	68,3891	70,7729

$$N_R = k_s \cdot k_e \cdot D \cdot \pi \cdot (\theta^4 - \theta_{am}^4) \quad (2.7)$$

Çizelge 2.5. Metal yüzeylerine ait solar emilim ve emisyon katsayıları k_a ve k_e (Webs, 1963; Friedrich vd., 2003; Friedrich vd.nden (2009))

Yüzey	Bakır	Alüminyum	Demir
yarı parlatılmış	0,15	0,08	
matlaştırılmış, pürüzsüz	0,24	0,23	0,45 ¹⁾
oksitlenmiş, hafif kirli	0,6	0,5	
ağır oksitlenmiş	0,75	0,7	0,96 ¹⁾
ağır oksitlenmiş, kirli	0,85-0,95	0,88-0,93	
haddelenmiş			0,65
kumlanmış			0,67
paslanmış			0,61-0,85

¹⁾ dökme demir

Mutlak sıcaklık (2.8) eşitliğiyle bulunur. Seyir teli ve portör teli için konveksiyon ile enerji kaybı Çizelge 2.6'da verilmektedir.

$$\theta = T + 273 \quad (2.8)$$

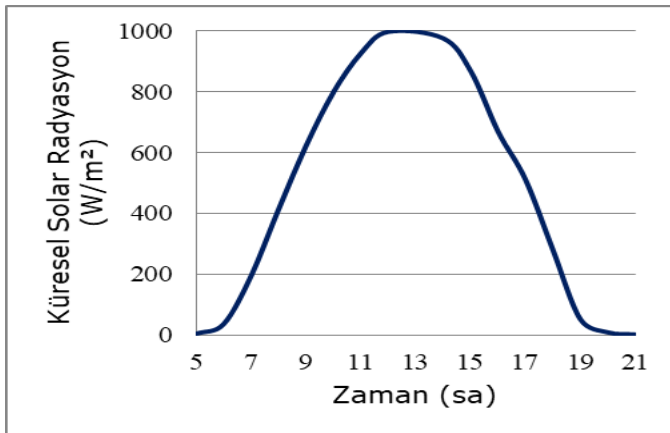
Çizelge 2.6. Seyir teli ve portör teli için radyasyon ile enerji kaybı

Sembol	Anlam	Birim	CuAg BC 120	Bz II 70
k_s	Stefan-Boltzmann sabiti	$W/(m^2K^4)$	$5,67 \cdot 10^{-8}$	$5,67 \cdot 10^{-8}$
k_e	solar emisyon katsayısı		0,75	0,75
D	iletken çapı	m	0,00985	0,0105
θ	iletkenin mutlak sıcaklığı	K	373	373
θ_{ort}	mutlak ortam sıcaklığı	K	313	313
N_R	radyasyon ile enerji kaybı	W/m	12,8420	13,6894

IEC 61 597'ye göre solar radyasyon (2.9) eşitliğinden çıkarılır (Friedrich vd., 2009).

$$N_S = k_a \cdot D \cdot N_{Sh} \quad (2.9)$$

Solar emilim katsayısı k_a , küresel solar radyasyon N_{Sh} ile gösterilmektedir. Rakım, güneş konumu, hava kirliliği ve yıl/gün zamanına bağlı olarak standart solar radyasyon 850-1350 W/m^2 aralığında değiştiği varsayılır (Friedrich vd., 2009). Eskişehir-Ankara YHT hattı güzergahına yakın olan ve güneşlenme ölçümü yapılan Ankara (Kalaba) meteoroloji kayıtlarından son 5 yıla ait veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Ek Açıklamalar-A'da son 5 yılda gerçekleşen azami saatlik küresel solar radyasyonunun olduğu güne ait değerler Çizelge A.1'de sunulmaktadır. Bu verilere göre oluşturulan saatlik küresel solar radyasyonu grafiği Şekil 2.11'de verilmektedir. Bu tezde, küresel solar radyasyon değeri 1000 W/m^2 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2.11. Saatlik küresel solar radyasyon grafiği

Seyir teli ve portör teli için solar radyasyon ile enerji girişi Çizelge 2.7’de takdim edilmektedir.

Çizelge 2.7. Seyir teli ve portör teli için solar radyasyon ile enerji girişi

Sembol	Anlam	Birim	CuAg BC 120	Bz II 70
k_a	Solar emilim katsayısı		0,75	0,75
D	iletken çapı	m	0,00985	0,0105
N_{Sh}	küresel solar radyasyon	W/m ²	1000	1000
N_s	solar radyasyon ile enerji girişi	W/m	7,3875	7,8750

Birim uzunlukta, T sıcaklıktaki direnç 200 °C sıcaklığa kadar (2.10) eşitliğiyle verilir. Birim uzunlukta, 20 °C sıcaklıktaki direnç R'_{20} ve öz direnç sıcaklık katsayısı α_R ile gösterilmektedir. Birim uzunlukta, 20 °C sıcaklıktaki direnç (2.11) eşitliğiyle bulunur.

$$R'_T = R'_{20} \cdot [1 + \alpha_R \cdot (T - 20)] \quad (2.10)$$

$$R'_{20} = R_{20}/l = \rho_{20} \cdot l/(A \cdot l) = \rho_{20}/A \quad (2.11)$$

20 °C sıcaklıktaki direnç R_{20} , iletken uzunluğu l , 20 °C sıcaklıktaki öz direnç ρ_{20} ve iletkenin kesit alanı A ile gösterilmektedir. Seyir teli ve portör teli için birim uzunlukta, T sıcaklıktaki direnç Çizelge 2.8’de sunulmaktadır.

Çizelge 2.8. Seyir teli ve portör teli için birim uzunlukta, T sıcaklıktaki direnç

Sembol	Anlam	Birim	CuAg BC 120	Bz II 70
ρ_{20}	20 °C sıcaklıktaki öz direnç	$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0,01777	0,02257
A	iletkenin kesit alanı	mm ²	96 ¹⁾	65,81
R'_{20}	Birim uzunlukta, 20 °C sıcaklıktaki direnç	Ω/m	$1,8510 \cdot 10^{-4}$	$3,4295 \cdot 10^{-4}$
α_R	öz direnç sıcaklık katsayısı	K ⁻¹	0,00381	0,004
T	iletken sıcaklığı	°C	100	100
R'_T	T sıcaklıktaki direnç	Ω/m	$2,4152 \cdot 10^{-4}$	$4,5270 \cdot 10^{-4}$

¹⁾ %20 aşınmış

(2.3) eşitliğinden seyir telinin akım taşıma kapasitesi $I_{ST}=552,938$ A ve portör telinin akım taşıma kapasitesi $I_{PT}=411,312$ A olarak bulunur. Katener hattın akım taşıma kapasitesi ilk olarak ısısal limitine ulaşan iletken tarafından belirlenir. Burada, iletkenlerin sıcaklık limitleri aynı olduğu için katener hattın akım taşıma kapasitesi I_{dKH} (2.12) eşitliğiyle hesaplanabilir.

$$I_{dKH} = I_{ST} + I_{PT} \quad (2.12)$$

Böylece Eskişehir-Ankara arası katener hattın akım taşıma kapasitesi (2.12) eşitliğinden $I_{dKH}=964,25$ A olarak bulunur.

2.2.1.2. Kısa devre akım taşıma kapasitesi hesabı

Kısa devre akımı, kısa devrenin meydana geldiği noktada kısa devre süresince akan akımdır ve alternatif akım sistemlerinde zamana göre değişir. Friedrich vd.ne (2009) göre kısa devre akım taşıma kapasitesi, aynı zamanda kısa devre kapasitesi ya da kısa devre değeri olarak adlandırılır. Katener hattın ısısal tasarımı için önemlidir. Eğer (2.1) eşitliğindeki dış kaynaklar ile uygulanan ısı değeri ihmal edilir ve kısa devre akımının hızlı yükselmesinden dolayı, iletkenin ısının dağılmadığı varsayılırsa, kısa devre akımı tarafından açığa çıkan tüm enerji iletkeni ısıtacaktır. Eğer koruma önlemleri başarısız olursa, iletken sonunda eriyebilir.

Kısa devre kapasitesi (2.13) eşitliğiyle hesaplanabilir (Friedrich vd., 2009).

$$I_{th} = A \cdot \sqrt{\frac{c \cdot \gamma}{\rho_{20} \cdot \alpha_R \cdot t_k} \cdot \ln \left(\frac{1 + \alpha_R \cdot (T_{lim} - 20)}{1 + \alpha_R \cdot (T_1 - 20)} \right)} \quad (2.13)$$

Kısa devre akımının süresi t_k , kısa devre durumunda iletkenin izin verilen son sıcaklığı T_{lim} ve kısa devre meydana geldiğinde iletkenin ilk sıcaklığı T_1 olarak gösterilmektedir. (2.13) denklemi kullanılarak bulunan kısa devre kapasitesi değeri ısısal olarak eşdeğer kısa devre akımları olarak adlandırılır. Seyir teli ve portör teli için kısa devre kapasitesi ve başlangıç kısa devre akımı Çizelge 2.9'da verilmektedir.

Çizelge 2.9. Seyir teli ve portör teli için kısa devre kapasitesi ve başlangıç kısa devre akımı

Sembol	Anlam	Birim	CuAg BC 120	Bz II 70
A	kesit alanı	mm ²	96	65,81
c	öz ısı	(W·s/(kg·K))	380	380
γ	öz kütle	kg/m ³	8900	8900
ρ ₂₀	20 °C sıcaklıktaki öz direnç	Ωmm ² /m	0,01777	0,02257
α _R	öz direnç sıcaklık katsayısı	K ⁻¹	0,00381	0,004
t _k	kısa devre akımının süresi	s	1	1
T _{lim}	son sıcaklık	°C	200	200
T ₁	ilk sıcaklık	°C	40	40
I_{th}	kısa devre kapasitesi	kA	14,374	8,689
I_k''	başlangıç kısa devre akımı	kA	11,499	6,951

Friedrich vd.ne (2009) göre EN 60865-1 standardında belirtildiği üzere izin verilen başlangıç kısa devre akımı I_k' için (2.14) eşitliği uygulanır.

$$I_k'' = I_{th} / \sqrt{m + n} \quad (2.14)$$

DC bileşen tarafından üretilen ısı m ve AC bileşen tarafından üretilen ısı n ile ifade edilmektedir. EN 60865-1, kısa devre süresi t_k ve kısa devre süresi ile frekansın çarpımının, t_k·f, fonksiyonları olarak m ve n faktörlerini verir. İzin verilen başlangıç kısa devre akımı merkezi olarak beslenen şebekeler (16,7 Hz sistemler) ve dağıtılmış olarak beslenen şebekeler (50 Hz sistemler) için sırasıyla (2.15) ve (2.16) eşitlikleri kullanılabilir.

$$I_k'' \approx 1 \cdot I_{th} \quad (2.15)$$

$$I_k'' \approx 0,8 \cdot I_{th} \quad (2.16)$$

2.2.1.3. Gerilim düşümü hesabı

Friedrich vd.ne (2009) göre trafo merkezlerinden katener hat boyunca hareket eden cer araçlarına elektrik enerjisi aktarıldığında, katener hat boyunca gerilim düşümü

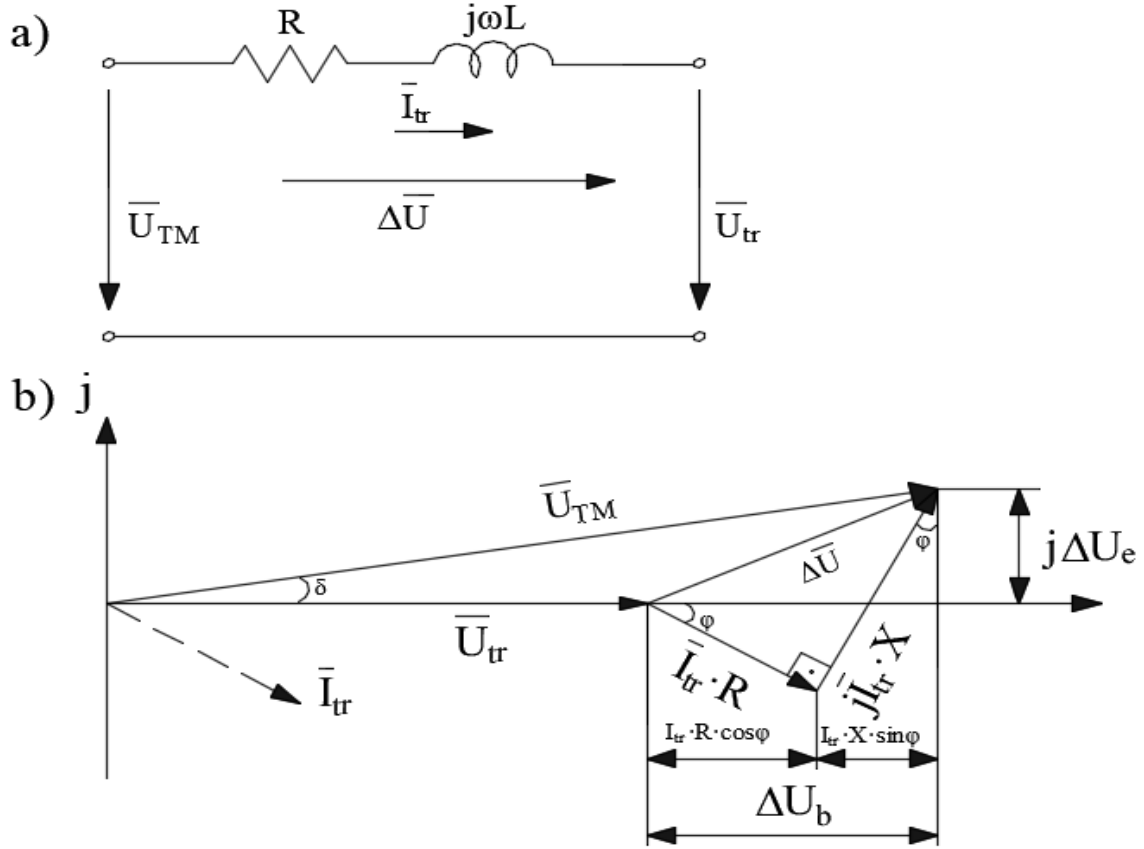
meydana gelir. Diğer taraftan, rejeneratif frenleme sistemine sahip cer aracı fren yaparsa, frenleme enerjisini katener hatta aktarmak için cer aracının bulunduğu konumda gerilim artacaktır. Siemens Velaro E80100 rejeneratif frenleme sistemine sahip olup, bu tez rejeneratif frenlemeyi kapsamamaktadır.

Yüksek hızlı ve yoğun trafiğe sahip hatlarda, katener hat gerilimi normal işletme koşullarında herhangi bir noktada nominal gerilimin altına düşmemelidir (Milz, 1991: Friedrich vd.nden (2009)). TSI Energy (EC, 2002, 2008) ve EN 50388’de güç kaynağının kalite göstergesi tanımlanmakta ve pantoğraf ya da trafo merkezi barasındaki ortalama yararlı gerilim olarak ifade edilmektedir (Friedrich vd., 2009). Çizelge 2.10’da TS EN 50388’e göre normal işletme koşulları altında ortalama yararlı gerilimler için minimum değerler verilmektedir. TS EN 50388’e göre 25 kV ile çalışan elektrifikasyon sistemleri istatistiksel olarak 19 kV asgari sınırın altına düşmemelidir.

Çizelge 2.10. Pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim $U_{\text{ortalama yararlı}}$ (Volt) (TS EN 50388’den, 2006)

Güç kaynağı sistemi	Yüksek hızlı TSI hatlar	Konvensiyonel TSI hatlar ve klasik hatlar
	Bölge ve tren	Bölge ve tren
a.c. 25000 V 50 Hz	22500	22000
a.c. 15000 V 16,7 Hz	14200	13500
d.c. 3000 V	2800	2700
d.c. 1500 V	1300	1300
d.c. 750 V	U.D.	675
U.D. : Uygulanabilir Değil		

Şekil 2.12’de katener hat besleme bölgesine ait basitleştirilmiş eşdeğer devre şeması ve tren akım çekerken gerilim düşümünün vektör diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2.12. Katener hat şebekesindeki gerilim ilişkileri: a) eşdeğer devre şeması, b) tren akım çekerken, gerilim düşümünün vektör diyagramı (Friedrich vd.nden, 2009)

Trafo merkezindeki trafonun çıkış (sekonder) gerilimi \bar{U}_{TM} , pantoğraftaki gerilim \bar{U}_{tr} , trenin çektiği akım \bar{I}_{tr} , trafo merkezindeki trafonun çıkış gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü $\Delta\bar{U}$, hat direnci R , hat reaktansı X , boyuna gerilim düşümü ΔU_b , enine gerilim düşümü ΔU_e , trafo merkezindeki trafonun çıkış gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki faz açısı δ ve tren gücünün (yük) faz açısı φ ile ifade edilmektedir. Hat direnci ve reaktansı boyunca akan trenin çektiği akıma bağlı boyuna ve enine gerilim düşümleri sırasıyla (2.17) ve (2.18) eşitliklerinden çıkarılabilir.

$$\Delta U_b = I_{tr} \cdot l \cdot (R' \cos \varphi + X' \sin \varphi) \quad (2.17)$$

$$\Delta U_e = I_{tr} \cdot l \cdot (X' \cos \varphi - R' \sin \varphi) \quad (2.18)$$

Trafo merkezindeki trafonun çıkışıyla trenin pantoğrafi arasındaki mesafe l , birim uzunluktaki hat direnci R' , birim uzunluktaki hat reaktansı X' olarak gösterilmektedir. Böylece, ortaya çıkan gerilim düşümü $\Delta\bar{U}$ (2.19) eşitliğiyle yazılır.

$$\Delta \bar{U} = \bar{U}_{TM} - \bar{U}_{tr} = \bar{I}_{tr} \cdot l \cdot (R' + jX') \quad (2.19)$$

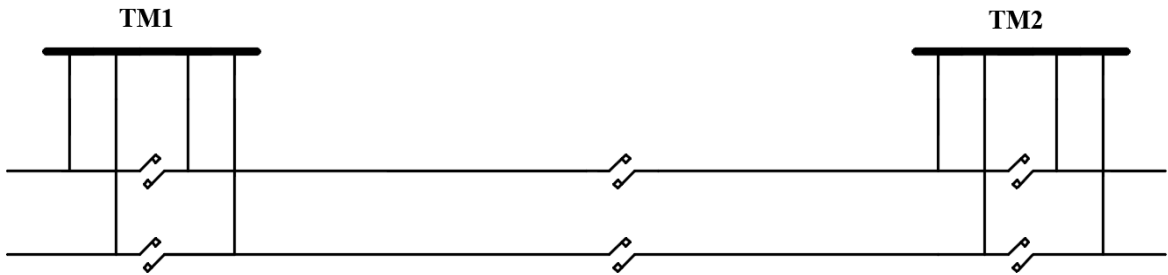
Friedrich vd.ne (2009) göre tüm pratik uygulamalarda enine gerilim düşümü ihmal edilir. Bu yüzden, boyuna gerilim düşümü gerilim düşümü olarak kullanılabilir. AC katener hat şebekesinde, gerilim düşümü (2.20) eşitliğiyle yeterli doğrulukla elde edilebilir.

$$\Delta \bar{U} \approx \Delta U_b = I_{tr} \cdot l \cdot (R' \cos \varphi + X' \sin \varphi) \quad (2.20)$$

Yüzde olarak hat boyunca gerilim düşümü %e (2.21) denklemiyle bulunur. Trafo merkezindeki trafonun nominal çıkış gerilimi U_{TMn} ile ifade edilmektedir.

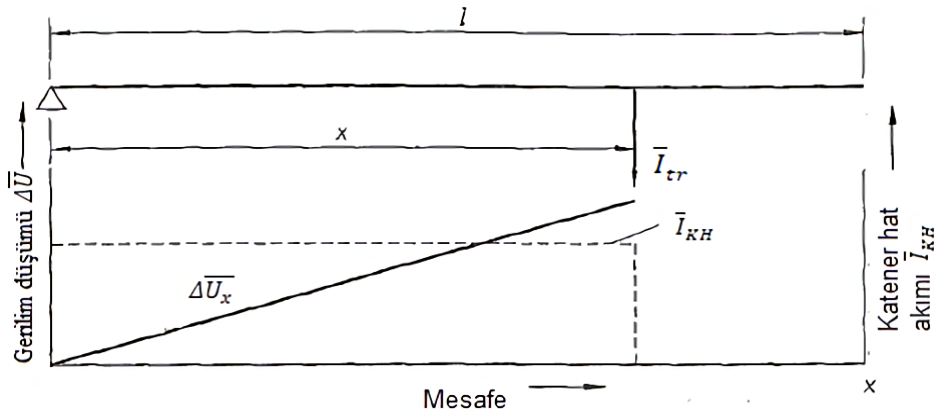
$$\%e = \frac{\Delta U_b}{U_{TMn}} \times 100 \quad (2.21)$$

Normal işletme koşullarında, bir trafo merkezi tarafından beslenen tüm katener hat bölgeleri trafo merkezi besleme bölgesi ya da besleme bölgesi olarak adlandırılır. Ayrıca belirli bir besleme hattı aracılığıyla enerjisini trafo merkezinin bir besleme kolundan alan katener hat bölgesi katener hat besleme bölgesi olarak tanımlanır. Eskişehir-Ankara YHT hattının basitleştirilmiş bir taraftan besleme tertibi Şekil 2.13'te görülmektedir.



Şekil 2.13. Katener hattın basitleştirilmiş bir taraftan besleme tertibi (Friedrich vd.nden, 2009)

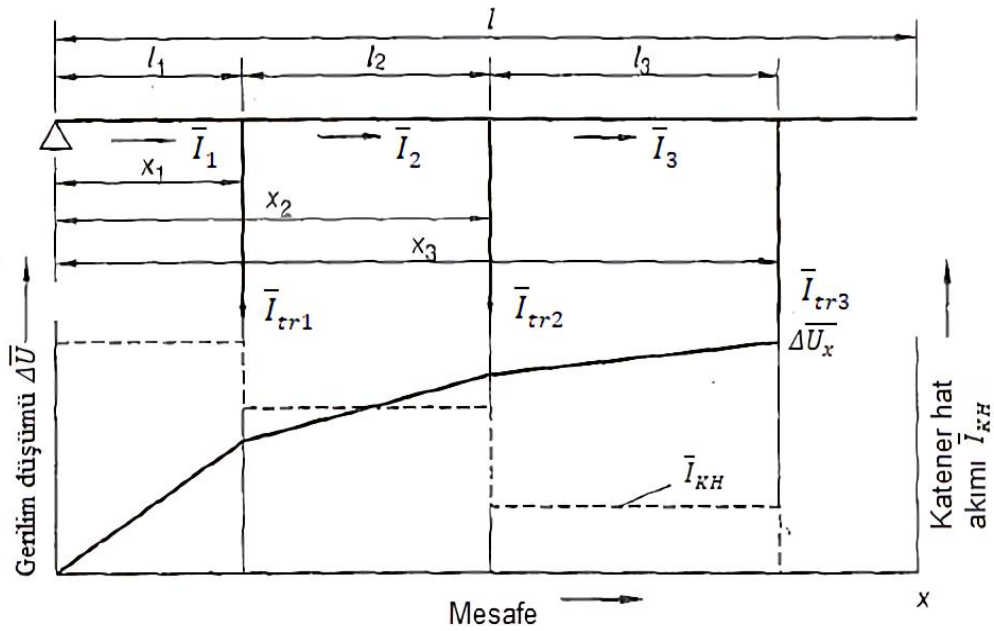
Şekil 2.14'te bir katener hat besleme bölgesinde trafo merkezinden x birim uzaklıktaki bir trenin oluşturduğu gerilim düşümü $\Delta \bar{U}_x$ sunulmaktadır ve (2.22) eşitliğiyle yazılabilir. Tren katener hat besleme bölgesinin en uzak ucuna ulaştığında, maksimum gerilim düşümü $\Delta \bar{U}_{\max}$ meydana gelir ve (2.23) eşitliğiyle ifade edilir. Trafo merkeziyle katener hat besleme bölgesinin en uzak ucu arasındaki mesafe l ile ifade edilmektedir.



Şekil 2.14. Bir katener hat besleme bölgesinde bir trenin oluşturduğu gerilim düşümü (Friedrich vd.nden, 2009)

$$\Delta\bar{U}_x = \bar{I}_{tr} \cdot \bar{Z}' \cdot x \quad (2.22)$$

$$\Delta\bar{U}_{max} = \bar{I}_{tr} \cdot \bar{Z}' \cdot l \quad (2.23)$$



Şekil 2.15. Katener hat besleme bölgesinde üç trenin oluşturduğu gerilim düşümü (Friedrich vd.nden, 2009)

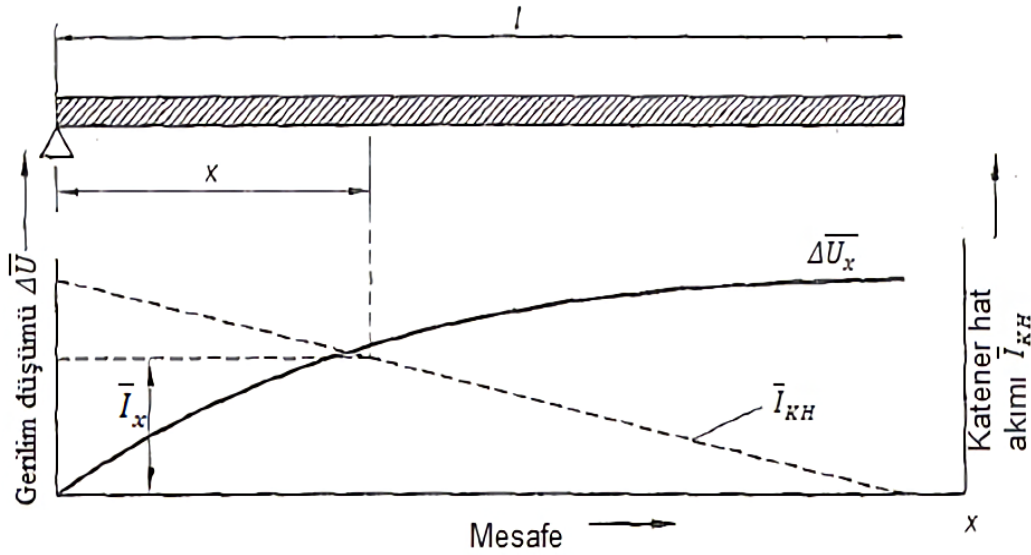
Katener hat besleme bölgesinde üç trenin oluşturduğu gerilim düşümü Şekil 2.15'te takdim edilmektedir ve trafo merkeziyle üçüncü tren arasındaki gerilim düşümü $\Delta\bar{U}_3$ (2.24) eşitliğiyle hesaplanabilir. Trafo merkeziyle birinci tren arasındaki mesafe l_1 , birinci trenle ikinci tren arasındaki mesafe l_2 , ikinci trenle üçüncü tren arasındaki mesafe l_3 ve l_1 , l_2 ve l_3

aralığındaki akımlar sırasıyla \bar{I}_1 , \bar{I}_2 ve \bar{I}_3 olarak ifade edilmektedir. Katener hat besleme bölgesinde n tane tren için (2.25) eşitliği genel olarak yazılabilir.

$$\Delta\bar{U}_3 = \bar{Z}' \cdot (\bar{I}_1 \cdot l_1 + \bar{I}_2 \cdot l_2 + \bar{I}_3 \cdot l_3) = \bar{Z}' \cdot (\bar{I}_{tr1} \cdot x_1 + \bar{I}_{tr2} \cdot x_2 + \bar{I}_{tr3} \cdot x_3) \quad (2.24)$$

$$\Delta\bar{U}_n = \bar{Z}' \cdot \sum_{i=1}^n \bar{I}_i \cdot l_i = \bar{Z}' \cdot \sum_{i=1}^n \bar{I}_{tr1} \cdot x_i \quad (2.25)$$

Eğer katener hat besleme bölgesinde trenlerin sayısı çok fazlaysa, Şekil 2.16'daki gibi düzgün dağılmış hat yüküne ulaşılır (Friedrich vd., 2009).



Şekil 2.16. Düzgün dağılmış hat yükü (Friedrich vd.nden, 2009)

2.2.1.4. Güç kayıpları

Katener hat şebekesinde ısı şeklinde güç kayıpları ortaya çıkar. Güç kayıplarının nedeni hat direncidir. AC sistemlerde birim uzunluktaki hat direncine bağlı birim uzunluktaki güç kaybı P'_{KH} (2.26) eşitliğiyle hesaplanabilir. Güç kayıpları arttıkça iletkenlerin sıcaklığı artar.

$$P'_{KH} = I_{KH}^2 \cdot R' \quad (2.26)$$

2.2.2. Trafo merkezleri ve cer postaları

Trafo merkezlerinin başlıca görevi; belli frekans ve gerilimde gelen enerjiyi, katener hat şebekesinin nominal frekans ve gerilimine dönüştürmektir. Bu merkezler; genellikle trafolar, kompanzasyon sistemleri, redresör ve akü grupları, açık şalt sahası anahtarlama teçhizatları, koruma röleleri ve lokal kumanda panellerinden meydana gelir. Cer postalarının fonksiyonu ise; işletmecilik esnasında gerekli olabilecek elektriksel manevraları yapabilmektir. Cer postalarında; redresör ve akü grupları, açık şalt sahası anahtarlama teçhizatları ve lokal kumanda panelleri bulunur. Güç trafosu modeli adlı bölümde, trafo konusu detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

2.2.3. Telekomand (SCADA) sistemleri

Sahadaki cihaz, anahtarlama teçhizatı gibi donanımların bir kısmı ya da tamamı telekomand (SCADA) sistemleri aracılığıyla, telekomand merkezi olarak adlandırılan bir merkezden kontrol ve kumanda edilir. Telekomand sistemleri; bu donanımların durumları hakkında bilgi vermekle birlikte, elektriksel manevraların uzaktan yapılabilmesini sağlamaktadır. Telekomand sistemleri tez kapsamının dışında olduğu için, detaylı olarak değinilmeyecektir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, ana bileşenler olarak güç kaynağı, trafo, hat, tren ve sahadan elde edilen ölçüm bilgilerini alabilmek için enerji analizörü kullanılacaktır. Yazılım MATLAB’de yapılacaktır.

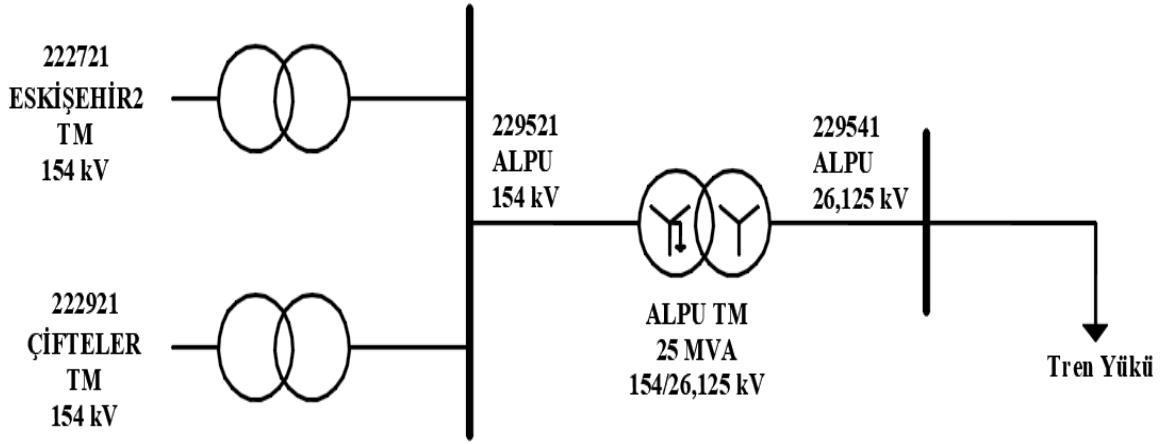
3.2. Yöntem

Güç hesaplamalarındaki doğruluğu yüksek tutabilmek için öncelikle, pantograf gerilimleri düğüm yöntemiyle çözülecek ve sonra güç hesaplamaları yapılacaktır. Tren hareket ve performansında, dinamiğin temel prensipleri ve hareket denklemleri kullanılacaktır.

Çalışma kapsamındaki sistem bileşenleri ilk önce modellenecek ve ardından boyutlandırma programının yazılımı yapılacaktır. Daha sonra, bu program çıktıları ile sahadan elde edilen ölçümler kıyaslanarak değerlendirilecektir.

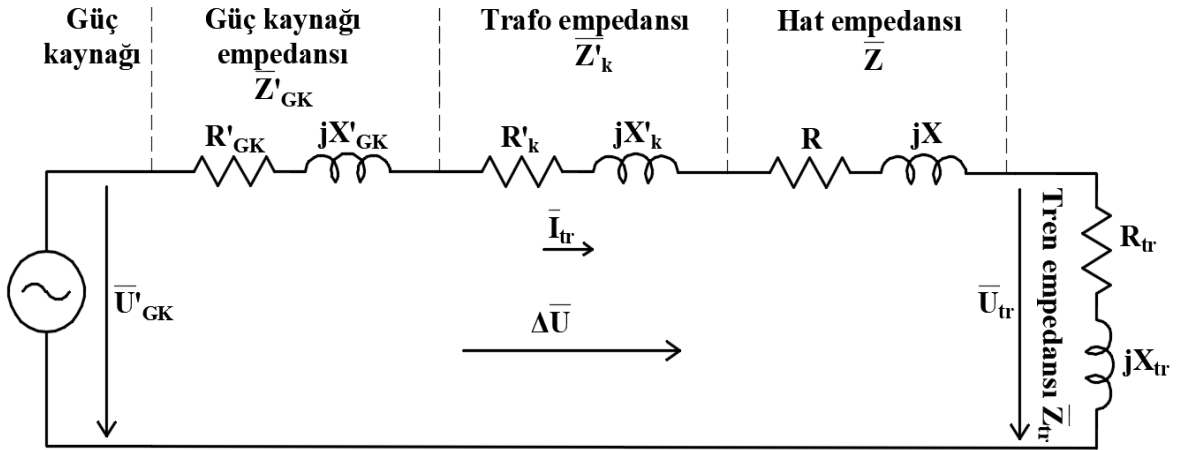
3.3. Sistem Bileşenlerinin Modellenmesi

Bu bölümde tezin kapsamı olan Nötr Bölge 1-Alpu TM arası yüksek hızlı tren hattı elektrifikasyon tesislerinin analizi ve boyutlandırma için sistemde yer alan tüm bileşenlerin modellenmesi yapılacaktır. Sistem; güç kaynağı, trafo, hat ve tren bileşenlerinden oluşmaktadır. Şekil 3.1’de sistem ve sistem bileşenlerine yönelik genel şema gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Nötr Bölge 1-Alpu TM arası YHT hattı elektrifikasyon sisteminin genel şeması

Bileşenlerin sekonder gerilim tarafına indirgenmiş eşdeğer devre modeli Şekil 3.2’de verilmektedir ve buna göre bileşenler modellenecektir.



Şekil 3.2. Sistem bileşenlerinin sekonder tarafa indirgenmiş eşdeğer devre modeli

Sekonder gerilim tarafına indirgenmiş güç kaynağı gerilimi \bar{U}'_{GK} , sekonder gerilimine indirgenmiş güç kaynağı empedansı \bar{Z}'_{GK} , sekonder gerilimine indirgenmiş güç kaynağı direnci \bar{R}'_{GK} , sekonder gerilimine indirgenmiş güç kaynağı reaktansı \bar{X}'_{GK} , sekonder gerilimine indirgenmiş trafo empedansı \bar{Z}'_k , sekonder gerilimine indirgenmiş trafo direnci \bar{R}'_k , sekonder gerilimine indirgenmiş trafo reaktansı \bar{X}'_k , hat empedansı \bar{Z} , hat direnci R , hat reaktansı X , tren empedansı \bar{Z}_{tr} , tren direnci R_{tr} , tren reaktansı X_{tr} , pantoğraftaki gerilim \bar{U}_{tr} , tren tarafından çekilen akım \bar{I}_{tr} ve sekonder gerilimine indirgenmiş güç kaynağı gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü $\Delta\bar{U}$ ile ifade edilmektedir.

3.3.1. Güç kaynağı modeli

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, 154 kV Eskişehir2 TM ile 154 kV Çifteler TM enerji iletim hattına saplama bağlantılı Alpu TM, katener hat şebekesini beslemektedir. Sekonder gerilimine indirgenmiş eşdeğer devre modelinde güç kaynağı, Alpu TM’nde gösterilmiştir. Güç kaynağına ait parametreler Türkiye Elektrik İletim A.Ş. kurumundan alınmıştır. Ek Açıklamalar-B’de Alpu TM 154 kV barasındaki kısa devre akımı değerlerinden güç kaynağı empedansı hesaplanabilir. Hesapta kullanılacak değerler Çizelge 3.1’de takdim edilmiştir.

Çizelge 3.1. Güç kaynağı empedansı hesabında kullanılacak değerler (TEİAŞ’nden, 2018)

Sembol	Anlam	Birim	Değer
U_{baz}	baz gerilimi	kV	154
\bar{Z}_{baz}	baz empedansı	Ω	237,16
\bar{Z}_{GK}	güç kaynağı empedansı	pu	0,083213
X/R	güç kaynağı reaktansının dirence oranı		3,09972

Güç kaynağı direnci R_{GK} (pu) ve reaktansı X_{GK} (pu) (3.1) denklemiyle hesaplanır.

$$\bar{Z}_{\text{GK}} = \sqrt{R_{\text{GK}}^2 + X_{\text{GK}}^2} \quad (3.1)$$

(3.1) eşitliğinden $R_{\text{GK}}=0,0255$ pu ve $X_{\text{GK}}=0,0792$ pu olarak bulunur. Güç kaynağı direnci ve reaktansının gerçek değerleri, pu değeri ile baz empedansının çarpımıyla elde edilir. Buradan, $R_{\text{GK}}=6,0591 \Omega$ ve $X_{\text{GK}}=18,7816 \Omega$ olur.

Sekonder gerilimine indirgenmiş güç kaynağı direnci R'_{GK} ve reaktansı X'_{GK} sırasıyla (3.2) ve (3.3) eşitlikleriyle hesaplanır. (3.2) eşitliğinden $R'_{\text{GK}}=0,1744 \Omega$ ve (3.3) eşitliğinden $X'_{\text{GK}}=0,5405 \Omega$ olur.

$$R'_{\text{GK}} = \frac{R_{\text{GK}}}{(154/26,125)^2} \quad (3.2)$$

$$X'_{\text{GK}} = \frac{X_{\text{GK}}}{(154/26,125)^2} \quad (3.3)$$

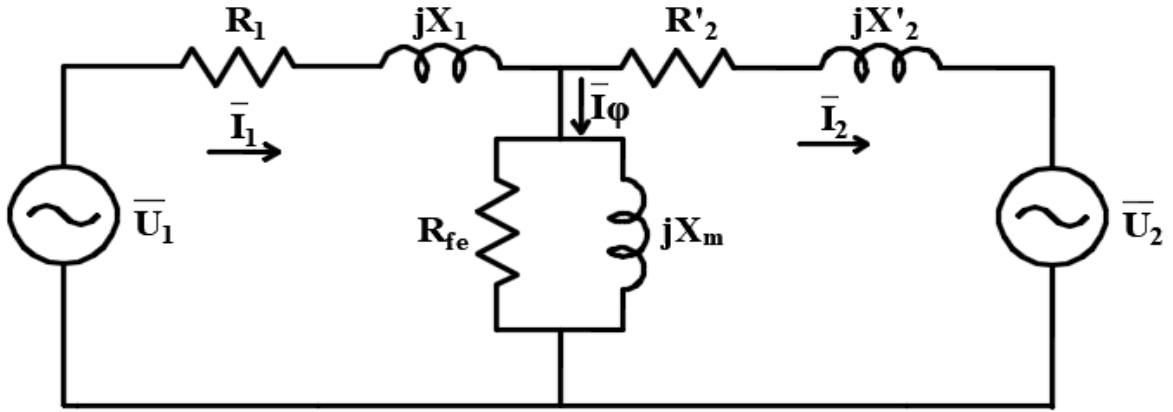
3.3.2. Güç trafosu modeli

Güç trafosu, elektromanyetik endüksiyonla alternatif akım ya da gerilimin frekansını değiştirmeden şiddetini değiştirmeye yarayan durağan elektrik makinesi olarak tanımlanabilir. İletim şebekesindeki 154 kV gerilim, trafo merkezlerinde katener hat şebekesinin nominal gerilimi olan 25 kV gerilime indirilir. Çizelge 3.2’de 25 MVA güce sahip trafonun kademelerine ait gerilim ve akım değerleri yer almaktadır. İletim şebekesindeki gerilimin genellikle 158 kV civarında olması, katener hat şebekesinin nominal geriliminin 25 kV olması ve Siemens Velaro E80100 tren setinin pantoğrafındaki gerilimin 27,5 kV değerini aştığında cer motorlarını besleyen invertörlere ait kesicinin açmasından dolayı, TCDD’nda genellikle trafonun 1. ya da 2. kademesinde işletmecilik yapılır.

Çizelge 3.2. Trafonun kademelerine ait gerilim ve akım değerleri (ABB’den, 2007)

Kademe	Gerilim (V)	Akım (A)
1	24750	1010,10
2	26125	956,94
3	27500	909,09
4	28875	865,80
5	30250	826,45

Gerçek trafo modeli oluşturulurken, trafoda meydana gelen kayıplar hesaba katılmalıdır. Modelde, sargı kayıpları (bakır veya alüminyum), histerizis ve girdap akımları nedeniyle ortaya çıkan çekirdek (demir) kayıpları ve kaçak akı göz önüne alınır. Trafo empedansı ohm veya per unit cinsinden verilebilir. İki sargılı bir güç trafosundaki tüm büyüklükler primer ya da sekonder gerilimine indirgenebilir. Karışmaması açısından, bu tezde yüksek gerilim tarafı primer gerilimi olarak alınmıştır. Şekil 3.3’te görüldüğü üzere primer gerilimine indirgenmiş trafo T eşdeğer devresi gösterilmektedir.

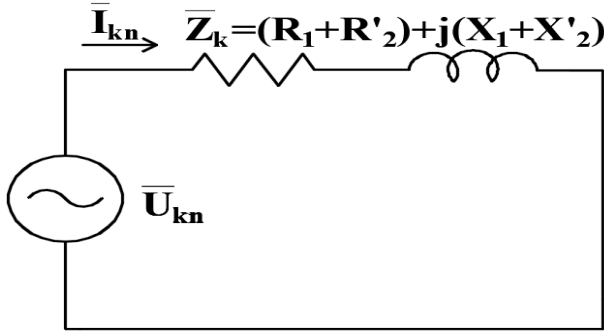


Şekil 3.3. Primer gerilimine indirgenmiş trafo T eşdeğer devresi (Fitzgerald vd.nden, 1992)

Primer sargı direnci R_1 , primer gerilimine indirgenmiş sekonder sargı direnci R'_2 , primer sargı kaçak reaktansı X_1 , primer gerilimine indirgenmiş sekonder sargı reaktansı X'_2 , demir kayıp direnci R_{fe} , mıknatıslanma reaktansı X_m , primer sargı gerilimi \bar{U}_1 , sekonder sargı gerilimi \bar{U}_2 , primer sargı akımı \bar{I}_1 , sekonder sargı akımı \bar{I}_2 ve uyarım akımı \bar{I}_ϕ olarak gösterilmektedir. Eşdeğer devrenin parametreleri kısa devre testi ve boşa çalışma testi yardımıyla bulunur. Sargı direnci ve kaçak reaktanslar trafonun kısa devre testinden bulunurken, demir kayıp direnci ve mıknatıslanma reaktansı trafonun boşa çalışma testinden bulunmaktadır.

3.3.2.1. Kısa devre testinden sargı direnci ve kaçak reaktansların bulunması

Kısa devre testinde trafo sekonder uçları kısa devre edilir ve sekonder tarafta nominal akım oluşuncaya kadar primer taraftan gerilim uygulanır. Bu gerilim genellikle primer gerilimin %2 ile %12 arasındaki bir değere tekabül eder (Fitzgerald vd., 1992). Sekonder üzerinden nominal akım aktığı andaki değerler ise kısa devre değerleridir. Ayrıca çekirdek akısının değeri küçük olduğundan, uyarım akımı ve çekirdek kayıpları ihmal edilir. Sekonder uçları kısa devre edilmiş trafo eşdeğer devresi Şekil 3.4'te oluşturulmuştur. Kısa devre nominal gerilimi \bar{U}_{kn} , kısa devre nominal akımı \bar{I}_{kn} ve kısa devre empedansı \bar{Z}_k ile gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Sekonder uçları kısa devre edilmiş trafo eşdeğer devresi

Fitzgerald vd.ne (1992) göre kısa devre empedansı (3.4) denklemiyle yazılır. Kısa devre sargı direnci R_k ve kaçak reaktansı X_k ile ifade edilir. Kısa devre sargı direnci ve kaçak reaktansı (3.5) ve (3.6) denklemleriyle yazılır.

$$\bar{Z}_k = \frac{\bar{U}_{kn}}{\bar{I}_{kn}} = R_k + jX_k \quad (3.4)$$

$$R_k = P_k / I_{kn}^2 \quad (3.5)$$

$$X_k = \sqrt{|Z_k|^2 - R_k^2} \quad (3.6)$$

Kısa devre güç kaybı P_k ile gösterilmektedir. Tüm empedanslar aynı tarafa indirildiğinde, primer sargı direnci ile primer tarafa indirgenmiş sekonder sargı direnci ve primer sargı kaçak reaktansı ile primer tarafa indirgenmiş sekonder sargı kaçak reaktansı birbirine çok yakın değerde olduğundan eşit olduğu varsayılır. Buradan, kısa devre sargı direnci ve kaçak reaktansı sırasıyla (3.7) ve (3.8) denklemleriyle yazılabilir.

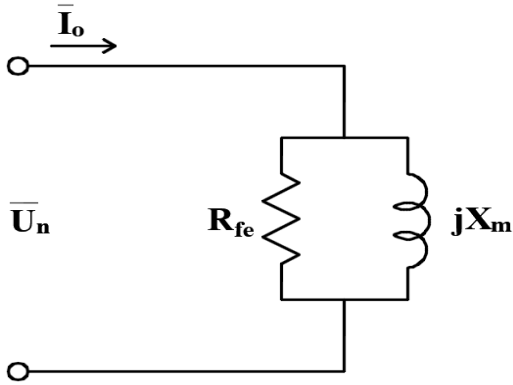
$$R_k = R_1 + R'_2 = 2R_1 \quad (3.7)$$

$$X_k = X_1 + X'_2 = 2X_1 \quad (3.8)$$

3.3.2.2. Boşta çalışma testinden demir direnci ve mıknatıslanma reaktansının bulunması

Boşta çalışma testinde trafonun primer uçları açık devre yapılarak sekonder tarafına anma gerilim uygulanmaktadır. Bu durumda, boşta çalışma akımının hemen hemen tamamı

uyartım kolu üzerinden akar. Bu yüzden, nüvede kayıplar oluşur. Ayrıca sargı direnci ve kaçak reaktansı ihmal edilir. Dolayısıyla, boşa çalışma testinde trafo eşdeğer devresi Şekil 3.5'teki gibi olmaktadır. Nominal gerilim \bar{U}_n ve boşa çalışma akımı \bar{I}_o ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.5. Boşa çalışma testinde trafo eşdeğer devresi

Fitzgerald vd.ne (1992) göre uyartım empedansı \bar{Z}_o (3.9) denklemiyle yazılır. Demir direnci ve mıknatıslanma reaktansı sırasıyla (3.10) ve (3.11) eşitlikleriyle elde edilir. Boşa çalışma güç kaybı P_o ile ifade edilmektedir.

$$\bar{Z}_o = R_{fe} + jX_m = \bar{U}_n / \bar{I}_o \quad (3.9)$$

$$R_{fe} = U_n^2 / P_o \quad (3.10)$$

$$X_m = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{|Z_o|^2} - \frac{1}{R_{fe}^2}}} \quad (3.11)$$

3.3.2.3. 25 MVA güç trafosu empedansının hesaplanması

Bu bölümde sistemde kullanılan trafoya yönelik hesaplamalar yapılmıştır. Kısa devre testinde, 75°C sıcaklıkta kısa devre güç kaybı $P_k=116650$ W, kısa devre nominal akımı $\bar{I}_{kn}=86,77$ A, kısa devre nominal gerilimi $\bar{U}_{kn}=9849$ V olarak verilmektedir (ABB, 2007). (3.4) denkleminde kısa devre empedansı $\bar{Z}_k=113,5070$ Ω olarak hesaplanır. (3.5) ve (3.6) denklemlerinden kısa devre sargı direnci $R_k=15,4934$ Ω ve kaçak reaktansı

$X_k=112,4446 \Omega$ olarak bulunur. (3.7) denkleminde primer sargı direnci ve primer gerilimine indirgenmiş sekonder sargı direnci $R_1=R_2'=7,7467 \Omega$ olarak bulunur. (3.8) eşitliğinden primer sargı reaktansı ve primer gerilime indirgenmiş sekonder sargı reaktansı $X_1=X_2'=56,2223 \Omega$ olarak bulunur.

Boşta çalışma testinde, boşta çalışma kaybı $P_o=16210 \text{ W}$, boşta çalışma akımı $\bar{I}_o=1,69 \text{ A}$ ve nominal gerilim $\bar{U}_n=27500 \text{ V}$ olarak verilmektedir (ABB, 2007). (3.9) denkleminde uyartım empedansı $\bar{Z}_o=16272,1893 \Omega$ olarak hesaplanır. (3.10) ve (3.11) eşitliklerinden demir direnci $R_{fe}=46653,3004 \Omega$ ve mıknatıslanma reaktansı $X_m=17362,5390 \Omega$ olarak elde edilir.

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere trafo empedansında, uyartım empedansı ihmal edilmiştir. Dolayısıyla, sadece kısa devre empedansını sekonder gerilimine indirmek yeterli olacaktır. Sekonder gerilimine indirgenmiş kısa devre sargı direnci R'_k ve kaçak reaktansı X'_k sırasıyla (3.11) ve (3.12) eşitlikleriyle hesaplanır. (3.11) eşitliğinden $R'_k=0,4459 \Omega$ ve (3.12) eşitliğinden $X'_k=3,2360 \Omega$ olur.

$$R'_k = \frac{R_k}{(154/26,125)^2} \quad (3.11)$$

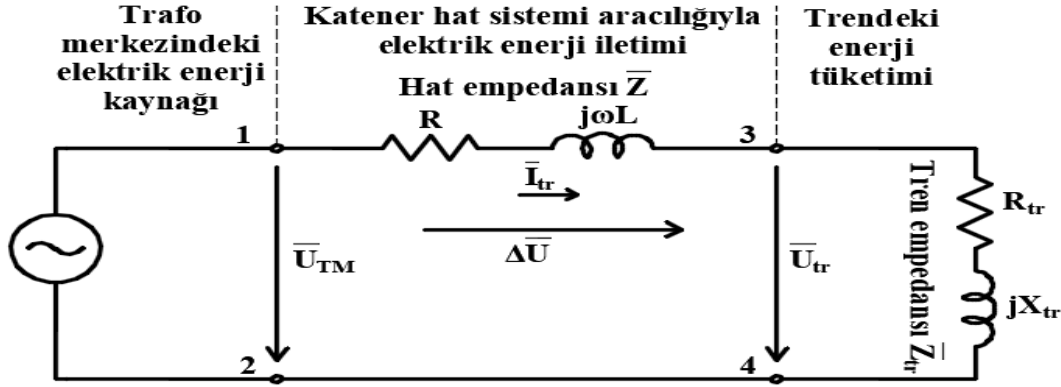
$$X'_k = \frac{X_k}{(154/26,125)^2} \quad (3.12)$$

3.3.3. Hat modeli

Trafo merkezlerinden cer araçlarına enerji, katener hat sistemi aracılığıyla aktarılır. Temel olarak, Eskişehir-Ankara YHT hattının katener hat sistemini oluşturan iletkenler şunlardır: seyir teli, portör teli, geri dönüş iletkeni ve raylar. Seyir teli ve portör teli katener hattını, geri dönüş iletkeni ve raylar ise geri dönüş devresini oluşturup bu kapalı devre hat empedansı olarak adlandırılır. Ayrıca toprak da, AC sistemlerde geri dönüş devresi bileşenlerinden biridir. Hat empedansı genellikle birim uzunluğa bağlı olarak ifade edilir. Katener hat sisteminin enerji iletim davranışı hat empedansından etkilenir. Katener hat şebekesinin elektriksel şeması Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Tren gücü \bar{S}_{tr} , ilgili koşullar

altında pantoğraf aracılığıyla trene aktarılmalıdır. Tren gücü (3.13) denklemiyle ifade edilir.

$$\bar{S}_{tr} = \bar{U}_{tr} \cdot \bar{I}_{tr}^* \quad (3.13)$$



Şekil 3.6. Katener hat şebekesinin elektriksel şeması (Friedrich vd.nden, 2009)

Pantoğraftaki gerilim \bar{U}_{tr} ve tren tarafından çekilen akımın eşlenik karmaşık değeri \bar{I}_{tr}^* ile temsil edilmektedir. Friedrich vd.ne (2009) göre Şekil 3.6'da 1 ve 2 noktaları arasında bir gerilim kaynağı uygulanır. Ardından 3 ile 4 noktaları arası kısa devre yapılarak hat empedansı ölçülebilir. Hat empedansı, 1 ve 2 noktaları arasında uygulanan gerilim \bar{U}_{12} ve 1 ile 2 noktaları arasından geçen akım \bar{I}_{12} ile belirlenir. Hat empedansı (3.14) eşitliğiyle bulunur.

$$\bar{Z}_{12} = \bar{U}_{12} / \bar{I}_{12} \quad (3.14)$$

Empedans karmaşık bir değere sahiptir. Direnç R ve reaktans X bileşenlerinden oluşur. Reaktans (3.15) denklemiyle ifade edilir. Açısal frekans ω , katener hat şebekesinin frekansı f ile orantılıdır ve (3.16) denklemiyle yazılır. Sistem endüktansı L olarak gösterilmektedir.

$$X = \omega L \quad (3.15)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (3.16)$$

Toplam empedans (3.17) eşitliğiyle verilir.

$$\bar{Z}_{12} = R + j\omega L \quad (3.17)$$

Yaygın olarak kullanılan formatlarda toplam empedans $\bar{Z}=\bar{Z}_{12}$ (3.18) eşitliğiyle yazılabilir.

$$\bar{Z} = R + j\omega L = R + jX = |\bar{Z}| \angle \arctan (X/R) = |\bar{Z}| \angle \varphi \quad (3.18)$$

Empedansın büyüklüğü $|\bar{Z}|$ ve faz açısı $\arctan (X / R)$ veya φ olarak ifade edilir. Trafo merkezindeki trafonun çıkış gerilimi \bar{U}_{TM} ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü $\Delta\bar{U}$ (3.19) denklemiyle yazılır.

$$\Delta\bar{U} = \bar{U}_{TM} - \bar{U}_{tr} \quad (3.19)$$

Tren empedansı (3.20) eşitliğiyle ifade edilir.

$$\bar{Z}_{tr} = R_{tr} + jX_{tr} \quad (3.20)$$

Genel olarak katener hat sisteminde iletkenler; teller ve raylar olmak üzere ikiye ayrılabilir. İletkenlerin empedansı öz ve ortak empedans bileşenlerinden oluşmaktadır.

3.3.3.1. Tellerin öz empedansı

Friedrich vd.ne (2009) göre iletken-toprak devresinin öz empedansı; direnç, toprak direnci, iç ve dış reaktanstan meydana gelir. Bir \hat{i} devresine ait birim uzunluktaki öz empedans (3.21) denklemiyle ifade edilebilir.

$$\bar{Z}'_{\hat{i}} = R' + R'_t + j(X'_{iç} + X'_{dış}) \quad (3.21)$$

Birim uzunluktaki direnç R' , birim uzunluktaki toprak direnci R'_t , birim uzunluktaki iç reaktans $X'_{iç}$ ve birim uzunluktaki dış reaktans $X'_{dış}$ ile ifade edilmektedir. Birim

uzunluktaki direnç (2.11) eşitliğinden hesaplanabilir. Tellerin fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'te sunulmaktadır. Tellerin birim uzunluktaki direnç değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tellerin fiziksel özellikleri

Özellik	Birim	Tel tipi		
		CuAg BC 120	Bz II 70	LA 180
Öz direnç ρ_{20}	$\Omega\text{mm}^2/\text{km}$	17,77	22,57	35,65
Kesit alanı A	mm^2	120	65,81	181,6
Yarıçap r	m	0,006425	0,00525	0,00875

Çizelge 3.4. Tellerin birim uzunluktaki direnç değerleri

Özellik	Birim	Tel tipi		
		CuAg BC 120	Bz II 70	LA 180
Öz direnç ρ_{20}	$\Omega\text{mm}^2/\text{km}$	17,77	22,57	35,65
Kesit alanı A	mm^2	120	65,81	181,6
Direnç R'	Ω/km	0,148083	0,342957	0,196311

Toprağın çok büyük bir kesit alanına sahip olmasından dolayı, DC akımlara toprak direnci sıfırken, AC akımlar için toprak bir dirence sahiptir (Friedrich vd., 2009). Birim uzunluktaki toprak direnci (3.22) denklemiyle verilir (Eichhorn, 1997: Friedrich vd.nden (2009)).

$$R'_t = (\pi/4) \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot f \quad (3.22)$$

Manyetik alan sabiti μ_0 ve bağıl manyetik geçirgenlik μ_r ile gösterilmektedir. Manyetik alan sabiti $\mu_0=4\pi 10^{-4}$ Vs/(A km) olarak alınır. Toprağın bağıl manyetik geçirgenliği 1 olarak varsayılabılır (Carson, 1926: Friedrich vd.nden (2009)). Buradan, (3.22) denklemi (3.23) denklemine dönüştürülebilir.

$$R'_t = 10^{-4} \cdot \pi^2 \cdot f \quad (3.23)$$

Toprak direncinin katener hattı şebeke frekansının bir fonksiyonu olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, 50 Hz frekansta birim uzunluktaki toprak direnci $R'_t=0,049348$ Ω/km olarak hesaplanır.

Birim uzunluktaki iç reaktans (3.24) denklemiyle bulunur (Friedrich vd., 2009).

$$X'_{iç} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-4} \cdot f \cdot \ln (r/r_{eş}) \quad (3.24)$$

İletken yarıçapı r ve iletken eşdeğer yarıçapı $r_{eş}$ ile ifade edilmektedir. Çizelge 3.5'te bazı iletkenlere ait iletken yarıçapının eşdeğer yarıçapa oranının değerleri mevcuttur. Tellerin birim uzunluktaki iç reaktans değerleri Çizelge 3.6'da takdim edilmektedir.

Çizelge 3.5. Bazı iletkenlere ait iletken yarıçapının iletken eşdeğer yarıçapa oranının değerleri (Friedrich vd.nden, 2009)

İletkenler	($r / r_{eş}$)
Seyir telleri	1,284
Portör, fider ve topraklama telleri	
7 telli 10.....50 mm ²	1,377
19 telli 70.....120 mm ²	1,319
37 telli 150.....185 mm ²	1,302
61 telli 240.....500 mm ²	1,295
91 telli 630 mm ²	1,292

Çizelge 3.6. Tellerin birim uzunluktaki iç reaktans değerleri

Özellik	Birim	Tel tipi		
		CuAg BC 120	Bz II 70	LA 180
Frekans f	Hz	50	50	50
($r / r_{eş}$)		1,284	1,319	1,302
İç reaktans $X'_{iç}$	Ω/km	0,015707	0,017396	0,016581

Birim uzunluktaki dış reaktans (3.25) denklemiyle bulunur (Friedrich vd., 2009).

$$X'_{dış} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-4} \cdot f \cdot \ln (\delta_T/r) \quad (3.25)$$

Topraktaki akımın nüfuz derinliği δ_T ile gösterilmektedir. Toprakta akan akımın nüfuz derinliği 50 Hz için (3.26) eşitliğinden bulunur (Friedrich vd., 2009).

$$\delta_T \approx 90\sqrt{\rho_T} \quad (3.26)$$

Toprak öz direnci ρ_T farklı toprak türlerinde farklı değerlere sahiptir. Bu bilgiler tablolar halinde mevcut olup bulunması kolaydır. Bu tez kapsamındaki bölgede ortalama toprak öz direnci $100 \Omega\text{m}$ olarak alınmıştır. Buradan, $\delta_T \approx 90\sqrt{100} \approx 900$ m elde edilir. Tellerin birim uzunluktaki dış reaktans değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Tellerin birim uzunluktaki dış reaktans değerleri

Özellik	Birim	Tel tipi		
		CuAg BC 120	Bz II 70	LA 180
Frekans f	Hz	50	50	50
Nüfuz derinliği δ_T	m	900	900	900
Yarıçap r	m	0,006425	0,00525	0,00875
Dış reaktans $X'_{dış}$	Ω/km	0,744553	0,757243	0,725147

Tellerin birim uzunluktaki direnç, toprak direnci, iç reaktans, dış reaktans ve öz empedanslarının değerleri Çizelge 3.8’de sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Tellerin birim uzunluktaki direnç, toprak direnci, iç reaktans, dış reaktans ve öz empedanslarının değerleri

Tel tipi	Direnç Ω/km R'	Toprak direnci Ω/km R'_t	Reaktans Ω/km		Öz empedans Ω/km \bar{Z}'_{ii}
			$X'_{dış}$	$X'_{iç}$	
CuAg BC 120	0,148083	0,049348	0,744553	0,015707	0,197431 + j0,760260
Bz II 70	0,342957	0,049348	0,757243	0,017396	0,392305 + j0,774640
LA 180	0,196311	0,049348	0,725147	0,016581	0,245659 + j0,741729

3.3.3.2. Rayların öz empedansı

Friedrich vd.ne (2009) göre çeliğin akım ile frekansa bağlı manyetik geçirgenliği ve deri etkisinden dolayı, rayların öz empedansını yukarıda bahsedilen denklemlerle hesaplamak uygun değildir. Akıma bağlı işletme frekansında rayların direnç ve reaktansını ölçmek daha güvenilirdir. Ölçülen direnç ve reaktans değerleri, iç öz empedans değerleri olarak hat empedansı hesabında doğrudan kullanılabilir.

Dolara ve Leva (2009) tarafından 50 Hz frekanstaki akım ve iç parametrelerin arasındaki ifade, ölçülen verilerin interpolasyonu ile hesaplanmıştır. Mariscoti ve Pozzobon (2000) tarafından direnç ve iç endüktans sırasıyla üçüncü ve dördüncü dereceli polinomlar kullanılarak interpolasyon yapılmıştır (Dolara ve Leva, 2009). Birim uzunluktaki direnç ($m\Omega/km$) ve iç endüktans L' ($m\Omega/km$) sırasıyla (3.27) ve (3.28) eşitlikleriyle ifade edilir.

$$R' = -2,96 \cdot 10^{-8} \cdot I^3 - 5,08 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0,26 \cdot I + 62,69 \quad (3.27)$$

$$L'_{iç} = 3,45 \cdot 10^{-13} \cdot I^4 - 8,82 \cdot 10^{-10} \cdot I^3 + 2,44 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 5,92 \cdot 10^{-4} \cdot I + 0,21 \quad (3.28)$$

Re 250 tipi tek faz 50 Hz paralel bağlanmış çift hatta sahip katener hat sisteminde her bir iletken arasındaki akım dağılımı Çizelge 3.9'da takdim edilmiştir. Eskişehir-Ankara YHT hattında kullanılan katener hat sistemi ile Çizelge 3.9'da sunulan katener hat sistemi arasındaki bazı farkları belirtmek gerekir. Eskişehir-Ankara YHT hattı katener hat sisteminde kullanılan ve Çizelge 3.9'deki iletkenlerden farklı olan iletkenler şunlardır: yeni seyir teli CuAg BC 120 ve geri dönüş iletkeni LA 180. Dahası, katener hatlar birbirine paralel bağlanmamıştır. Dolayısıyla, raydan farklı bir akım akacağı aşıkak olmakla birlikte, benzerliği nedeniyle, bu tezde raylardan akacak akım Çizelge 3.9'daki gibi alınmıştır. İletkenlere ait akım dağılımı toplamının 100'den farklı olmasının nedeni, her bir iletken arasındaki faz farklarıdır (Friedrich vd., 2009).

Çizelge 3.9. Re 250 tipi tek faz 50 Hz paralel bağlanmış çift hatta sahip katener hat sisteminde her bir iletken arasındaki akım dağılımı (Behrends vd., 1994; Friedrich ve Schneider, 1994: Friedrich vd.nden (2009))

Katener tipi	Katener hat sayısı	Fider iletkeni	Geri dönüş iletkeni	Akım dağılımı (%)				
				Seyir teli	Portör teli	Fider iletkeni	Ray	Geri dönüş iletkeni
Re 250	2	Yok	Var	62	40	-	48	35

Re250 = seyir teli CuAg AC 120, yeni; portör teli Bz II 70; raylar UIC 60; geri dönüş iletkeni 243-AL1

Eskişehir-Ankara YHT hattına ait iki katener hat besleme bölgesindeki akım taşıma kapasitesi 1928,5 A olup Çizelge 3.9'da sunulduğu üzere, bu akımın %48 kısmı raylardan akmaktadır. Her bir raydan akacak azami akım ise yaklaşık 231,42 A olur. Buna göre, rayların birim uzunluktaki direnç, toprak direnci, iç reaktans ve öz empedansının değerleri Çizelge 3.10'daki gibi olmaktadır. İç reaktans (3.15) eşitliğiyle bulunur.

Çizelge 3.10. Rayların birim uzunluktaki direnç, toprak direnci, iç reaktans ve öz empedansının değerleri

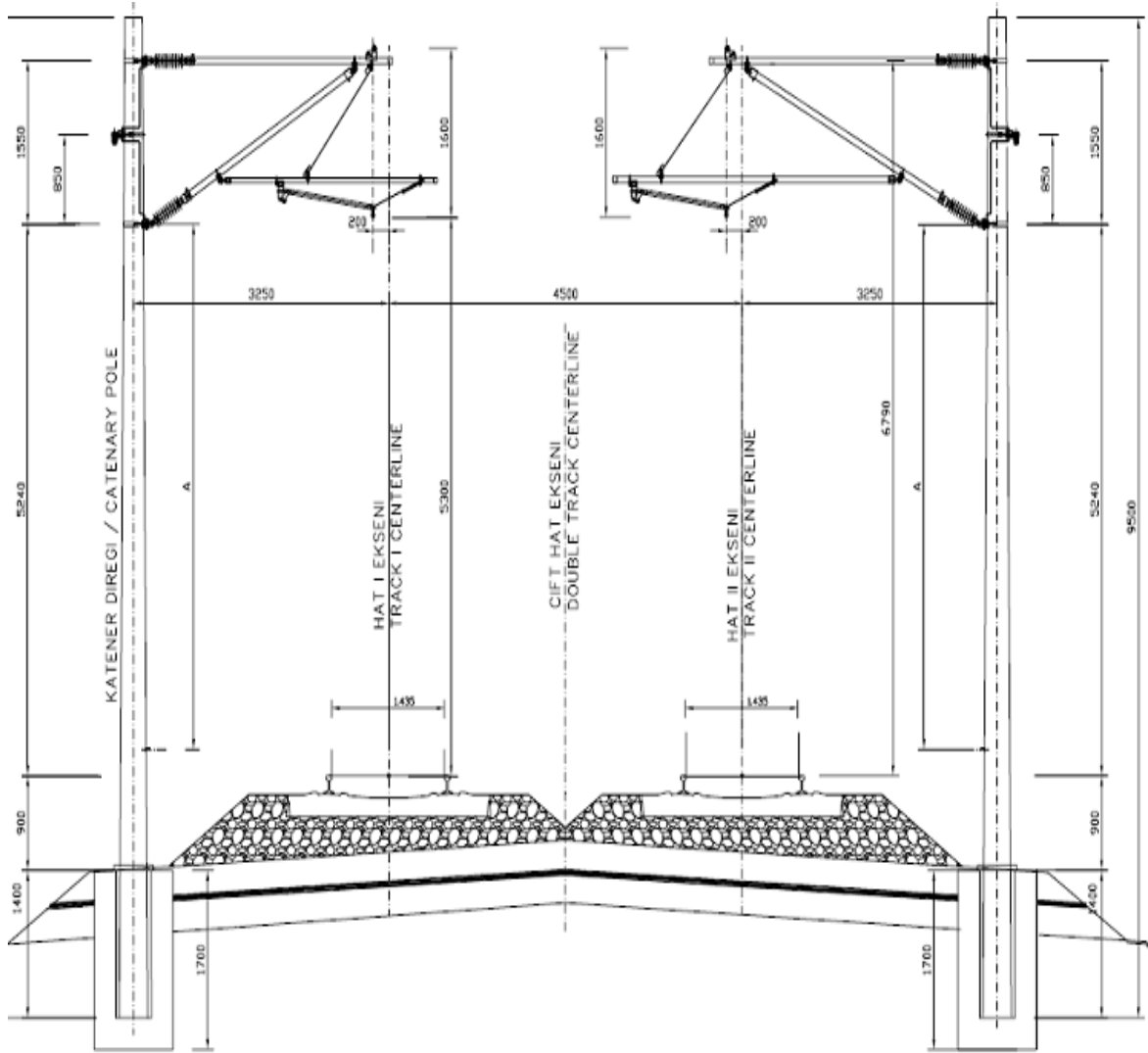
İletken	Direnç Ω/km R'	Toprak direnci Ω/km R'_t	İç reaktans Ω/km $X'_{iç}$	Öz empedans Ω/km \overline{Z}'_{ii}
UIC 60	0,119771	0,049348	0,109995	0,169119 + j0,109995

3.3.3.3. Kuplaj empedansı

Friedrich vd.ne (2009) göre iki iletken-toprak devresi karşılıklı olarak birbirine etki ederek bir kuplaj empedansı oluşturur. İki iletken-toprak devresi \hat{i} ve \hat{k} ile gösterilirse, iki iletken-toprak devresinin birim uzunluktaki ortak empedansı (3.29) denklemiyle ifade edilebilir. Birim uzunluktaki ortak reaktans $X'_{i\hat{k}}$ (3.30) denklemiyle ifade edilir. (3.30) denklemine m cinsinden devreleri oluşturan iletkenler arasındaki ortak mesafe $d_{i\hat{k}}$ ile gösterilmektedir. Eskişehir-Ankara YHT hattındaki iletkenlerin tertibi Şekil 3.7'de sunulmaktadır.

$$\bar{Z}'_{ik} = R'_T + jX'_{ik} \quad (3.29)$$

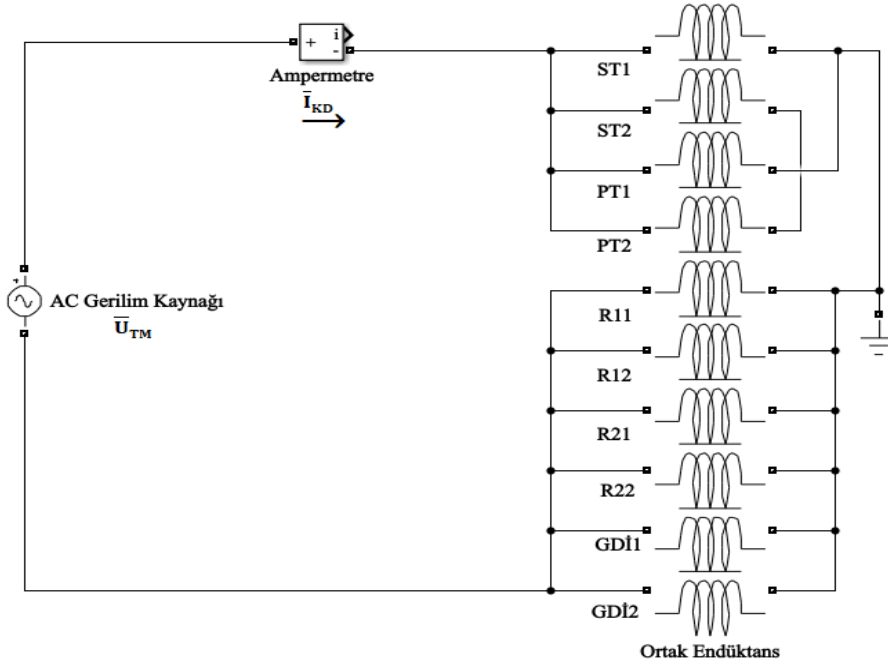
$$X'_{ik} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-4} \cdot f \cdot \ln(\delta_T/d_{ik}) \quad (3.30)$$



Şekil 3.7. Eskişehir-Ankara YHT hattındaki iletkenlerin tertibi (Yılmaz vd.nden, 2016)

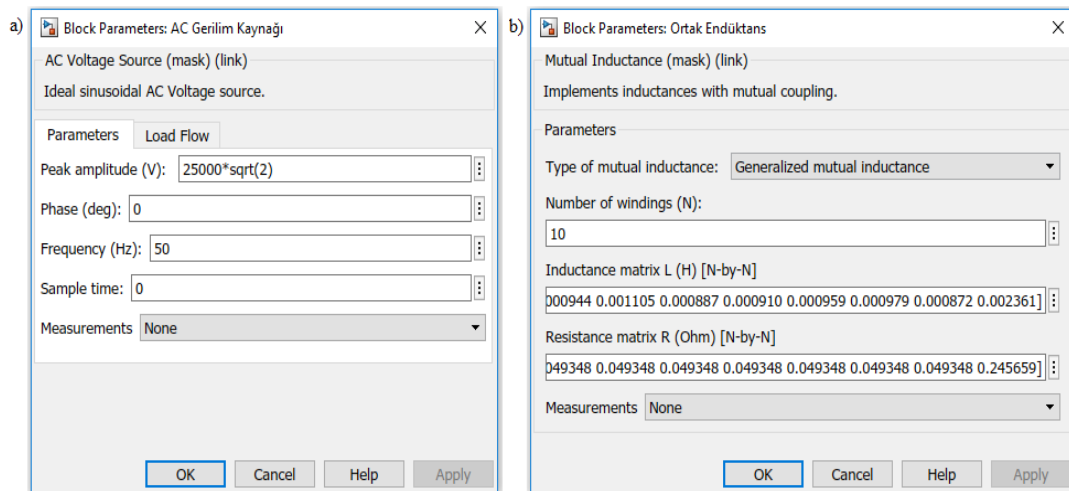
Şekil 3.7'deki seyir teli ve portör teli hat ekseninde alınırsa, Şekil 3.8 elde edilir. Şekil 3.8'de görüldüğü üzere 1 ile 2 seyir telleri, 3 ile 4 portör telleri, 5, 6, 7 ile 8 raylar ve 9 ile 10 geri dönüş iletkenlerini temsil etmektedir. Birim uzunluktaki ortak reaktans değerleri Çizelge 3.11'de verilmektedir.

ölçülen değer kısa devre akımı olup \bar{I}_{KD} ile gösterilmektedir. AC gerilim kaynağı ve ortak endüktans için gerekli parametreler Şekil 3.10'da takdim edilmektedir.



Şekil 3.9. Simulink'te kısa devre durumunda katener hat şebeke modeli

Şekil 3.9'da seyir teli 1, seyir teli 2, portör teli 1, portör teli 2, Hat1' e ait 1. ray, Hat1'e ait 2. ray, Hat2'ye ait 1. ray, Hat2'ye ait 2. ray, geri dönüş iletkeni 1 ve geri dönüş iletkeni 2 sırasıyla ST1, ST2, PT1, PT2, R11, R12, R21, R22, GD11 ve GD12 olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Simulink'te kullanılan elemanlara ait parametreler: a) AC gerilim kaynağı, b) ortak endüktans.

Birim uzunluktaki ortak endüktans için birim uzunluktaki direnç R' ve endüktans L' matrisleri oluşturulur. Birim uzunluktaki direnç matrisi $[10 \times 10]$ Çizelge 3.12'de verilmektedir.

Çizelge 3.12. Birim uzunluktaki direnç matrisi

0.197431	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348
0.049348	0.197431	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348
0.049348	0.049348	0.392305	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348
0.049348	0.049348	0.049348	0.392305	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348
0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.169119	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348
0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.169119	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348
0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.169119	0.049348	0.049348	0.049348
0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.169119	0.049348	0.049348
0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.245659	0.049348
0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.049348	0.245659

Birim uzunluktaki endüktans (3.15) denklemiyle hesaplanır. Birim uzunluktaki endüktans matrisi $[10 \times 10]$ Çizelge 3.13'te sunulmaktadır.

Çizelge 3.13. Birim uzunluktaki endüktans matrisi

0.002361	0.001060	0.001266	0.001048	0.001025	0.001025	0.000986	0.000959	0.001104	0.000943
0.001060	0.002361	0.001048	0.001266	0.000959	0.000986	0.001025	0.001025	0.000943	0.001104
0.001266	0.001048	0.002465	0.001060	0.000973	0.000973	0.000948	0.000929	0.001105	0.000944
0.001048	0.001266	0.001060	0.002465	0.000929	0.000948	0.000973	0.000973	0.000944	0.001105
0.001025	0.000959	0.000973	0.000929	0.000350	0.001288	0.001060	0.001004	0.000979	0.000887
0.001025	0.000986	0.000973	0.000948	0.001288	0.000350	0.001137	0.001060	0.000959	0.000910
0.000986	0.001025	0.000948	0.000973	0.001060	0.001137	0.000350	0.001288	0.000910	0.000959
0.000959	0.001025	0.000929	0.000973	0.001004	0.001060	0.001288	0.000350	0.000887	0.000979
0.001104	0.000943	0.001105	0.000944	0.000979	0.000959	0.000910	0.000887	0.002361	0.000872
0.000943	0.001104	0.000944	0.001105	0.000887	0.000910	0.000959	0.000979	0.000872	0.002361

Birim uzunluktaki hat empedansı (3.31) denklemiyle bulunur.

$$\bar{Z}' = \bar{U}_{TM} / \bar{I}_{KD} \quad (3.31)$$

Hat empedansı $\bar{Z}' = (25000 \angle 0^\circ) / (84155,78 \angle -62,10^\circ) = 0,297 \angle 62,10^\circ = 0,139 + j0,262 \text{ } \Omega/\text{km}$ olarak bulunur. Ölçülen değer ise $\bar{Z}' = 0,3398 \angle 70^\circ = 0,116 + j0,319 \text{ } \Omega/\text{km}$. Hesaplanan değer ölçülen değere kabul edilebilir bir farkla yakınsamaktadır. Bu farkın nedenleri; hat boyunca katener hat sistemi tertibinin ekipman bölge, tünel, köprü gibi yerlerde değişmesi, hat boyunca toprak öz direncinin farklılık göstermesi ve ray öz empedansının tam olarak hesaplanamaması olarak sıralanabilir. Yeni tasarımı yapılacak sistemlerde hesaplanan değer kullanılabilir. Ancak bu çalışmada halihazırda mevcut bir sisteme yönelik boyutlandırma programı geliştirildiği ve bu sisteme ait elektriksel parametreler girdi olarak kullanıldığı için hesaplanan değer yerine ölçülen hat empedansı kullanılmıştır.

3.3.4. Tren modeli

TCDD’nda genel olarak trenler; yolcu trenleri, yük trenleri ve karma trenler olarak sınıflandırılabilir (Urlu, 1999). Eskişehir-Ankara YHT hattında yolcu trenleriyle işletmecilik yapılmaktadır. Yolcu trenlerinde bir/birkaç vagon hem yolcu taşıma hem de lokomotif işlevini yaparlar. Bu tip yolcu taşıtlarına otomotris veya ünite veya tren seti adı verilir (Urlu, 1999). Bu hatta kullanılan tren setlerinden biri olan Siemens Velaro E80100 için bu tezde modelleme yapılmıştır.

3.3.4.1. Tren hareketi ve performans hesabı

Demiryolu üzerinde hareket eden trenin hareket koşulları dinamiğin temel prensipleri içerisinde incelenir. Harekete etki eden ve sınırlamalar getiren bir dizi etkenler mevcuttur: tren direnci, rampa, hız sınırı, cer kuvveti eğrisi, fren kuvveti eğrisi vb. Tren direnci hıza bağlı olup (3.31) eşitliğiyle ifade edilir (HT 80100, 2013).

$$R = C_1 + C_2V + C_3V^2 \quad (3.31)$$

Tren direnci R (N), hız V (km/sa) ve C_1 , C_2 ile C_3 tren direnç faktörleri olarak temsil edilir. Tren direnç faktörleri için açık hat veya tünel durumlarında farklı değerlerin kullanımı yaygındır (Goodman ve Zhang, 1992; Kulworawanichpong'dan (2003)). Tren direnç faktörü C_1 (N) (3.32) eşitliğiyle yazılır (HT 80100, 2013).

$$C_1 = 0,571 \cdot M_T \cdot g \quad (3.32)$$

Trenin toplam kütlesi M_T (t) ve yer çekimi ivmesi g (m/s^2) ile gösterilir. Trenin toplam kütlesi M_T (3.33) eşitliğiyle ifade edilir (Kulworawanichpong, 2003).

$$M_T = M_{boş}(1 + \tau) + M_{yolcu} + M_{yük} \quad (3.33)$$

Trenin boş kütlesi $M_{boş}$, döner kütle toleransı τ , yolcu kütlesi M_{yolcu} ve yük kütlesi $M_{yük}$ ile gösterilmektedir. 2/3 sarf malzemeleri ve personelin dahil olduğu trenin boş kütlesi 437,3 t, döner kütle toleransı %5 ve %100 taşıma yükü ($M_{yolcu} + M_{yük}$) 44,7 t olarak verilmektedir (HT 80100, 2013). Kulworawanichpong'a (2003) göre tren hızlanırken, doğrusal ve dönel hareketler oluşur. Trenin toplam kütlesi doğrusal artarken, tekerlek düzenekleri, dişliler ve motorlar dönel hareket ederler. Trenin toplam kütlelerinde bir artış yaratan bu dönme etkisi döner kütle toleransı olarak adlandırılır. Ayrıca döner kütle toleransı tren boş kütlelerinin bir parçası olarak ifade edilir. Tasarım kütlelerine göre tren direnç faktörleri $C_2=29$ (N/(km/sa)) ve $C_3=0,50926$ (N/(km/sa)²) olarak verilmektedir (HT 80100, 2013). Tren direnci aerodinamik direnci de içermektedir. Aerodinamik direncini hesapla bulmak zor olduğu için tren direnci rüzgar etkisi olmadan, açık, doğru ve düz yolda yapılan testlerdeki ölçüm değerleriyle oluşturulabilir (Goodman, 1997; Goodman ve Zhang, 1992; Barnwell, 1987; Kulworawanichpong'dan (2003)). Tren direnci hızlanırken negatif etki gösterirken, yavaşlarken pozitif etki gösterir.

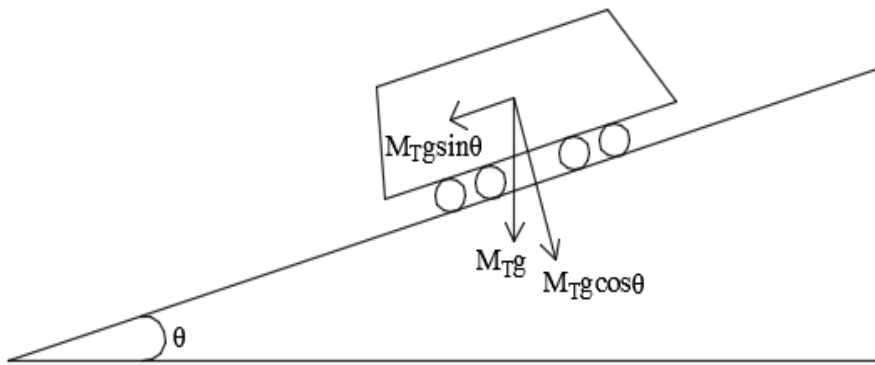
Trene etkileyen dirençlerden biri de rampa direnci olup demiryollarında rampalar % olarak ifade edilir. Hızlanma durumunda rampaya çıkarken negatif etki eden bu faktör, rampadan inerken pozitif olarak kendini gösterir. Frenleme durumunda ise tam tersi olarak etki gösterir. Rampa direnci R_r (3.34) eşitliğiyle ifade edilir.

$$R_r = M_T \cdot g \cdot \sin \theta \quad (3.34)$$

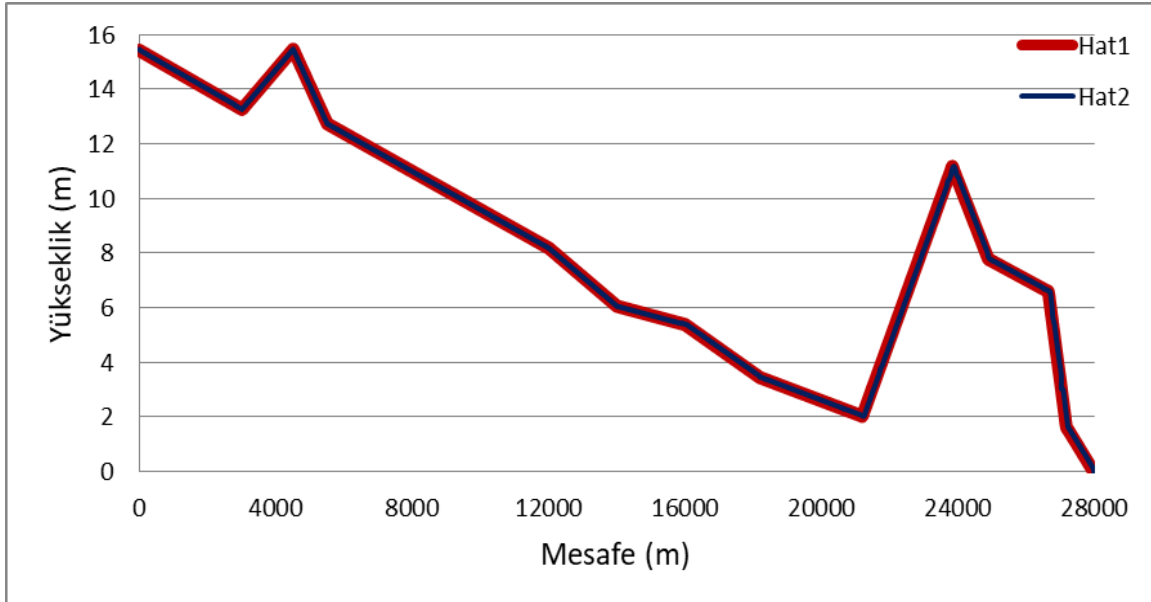
(3.34) eşitliğinde trenin toplam kütlesi kg cinsinden yazılır, YHT hatlarında rampa eğimleri çok küçük açılarda olduğundan $\sin\theta \approx \tan\theta$ eşitliği yazılır ve eğim de ‰os olarak ifade edilirse, rampa direnci R_r (N) (3.35) eşitliğiyle ifade edilebilir.

$$R_r = 1000 \cdot M_T \cdot g \cdot \frac{s}{1000} = M_T \cdot g \cdot s \quad (3.35)$$

Eğimli yol üzerinde trenin toplam ağırlığının bileşenleri Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Nötr Bölge 1-Alpu TM arası Hat1 ve Hat2 eğim profili Şekil 3.12’de takdim edilmektedir.



Şekil 3.11. Eğimli yol üzerinde trenin toplam ağırlığının bileşenleri



Şekil 3.12. NB1-Alpu TM arası Hat1 ve Hat2 eğim profili

Kulworawanichpong'a (2003) göre tren hareketi aerodinamik direnç, rampa direnci gibi çeşitli dirençlere maruz kalır. Newton'un ikinci yasası uygulanarak, hızlanma durumunda tren hareket denklemi (3.36) eşitliğiyle ifade edilebilir.

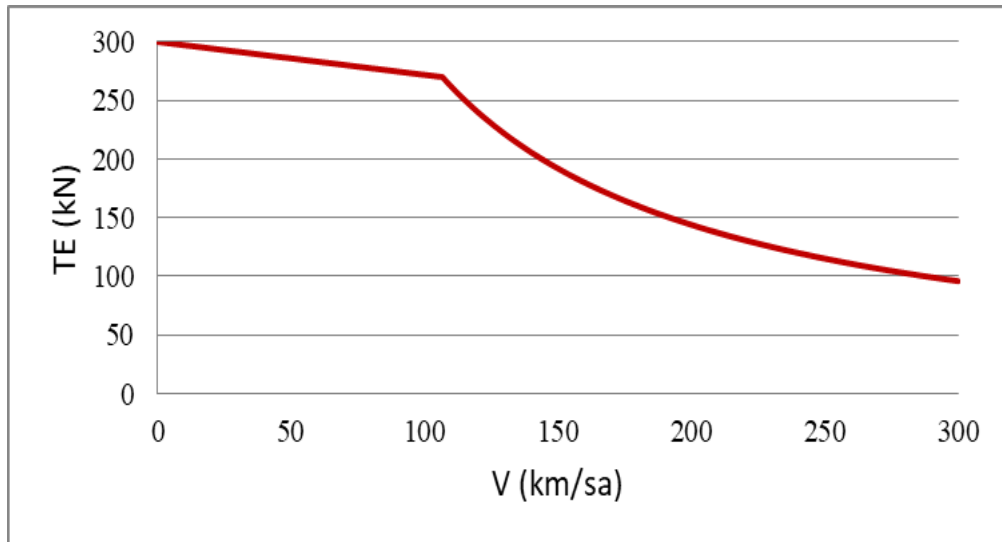
$$TE - R - R_r = M_T \cdot a \quad (3.36)$$

Tren cer kuvveti TE (N) ve tren ivmesi a (m/s^2) ile gösterilmektedir. Aynı zamanda (3.36) eşitliği, net kuvvet $F_{net}=M_T a$ olarak yazılabilir. Tren cer üniteleri cer kuvvetini sağlar. Cer kuvvetine ilişkin karakteristik değerler Çizelge 3.14'te sunulmaktadır.

Çizelge 3.14. Cer kuvvetine ilişkin karakteristik değerler (HT 80100'den, 2013)

Cer kuvveti (kN)	Hız (km/sa)	Aktif güç (kW)	Kuvvet
TE	V	P	
300	0		doğrusal
270	106,7	8000	(3.38)
	300		

Cer kuvvetine ilişkin karakteristik değerlerden cer kuvveti hesaplanabilir ve %100 cer uygulandığında, cer kuvveti-hız eğrisi Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Cer kuvveti-hız eğrisi

Yavaşlama durumunda tren hareket denklemi (3.37) eşitliğiyle ifade edilebilir.

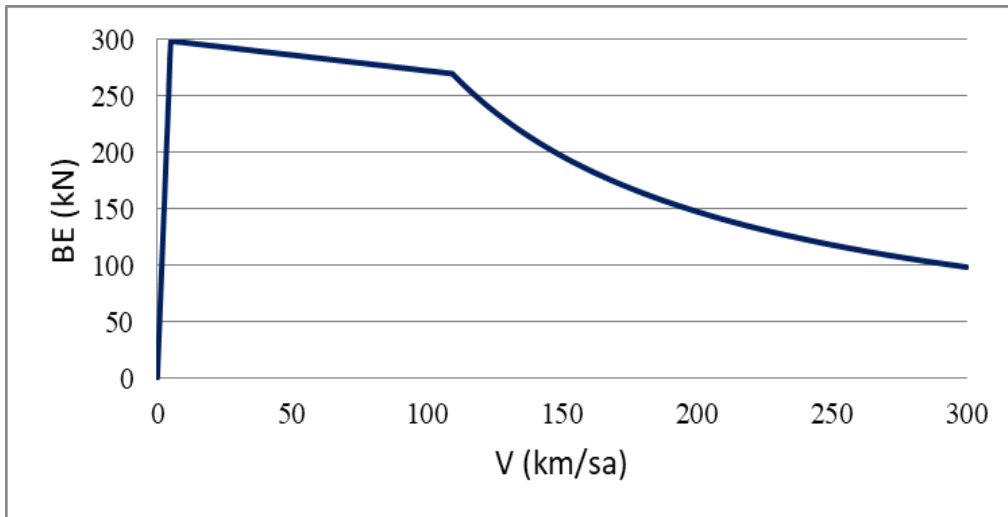
$$-(BE + R + R_r) = M_T \cdot a \quad (3.37)$$

Tren fren kuvveti BE (N) ile gösterilmektedir. Tren fren ekipmanları, pnömatik ve elektrikli frenleme ile fren kuvvetini sağlar. Fren kuvvetine ilişkin karakteristik değerler Çizelge 3.15'te takdim edilmektedir.

Çizelge 3.15. Fren kuvvetine ilişkin karakteristik değerler (HT 80100'den, 2013)

Fren kuvveti (kN) BE	Hız (km/sa) V	Aktif güç (kW) P	Kuvvet
0	0		doğrusal
299	5		doğrusal
270	109,3	8200	(3.39)
	300		

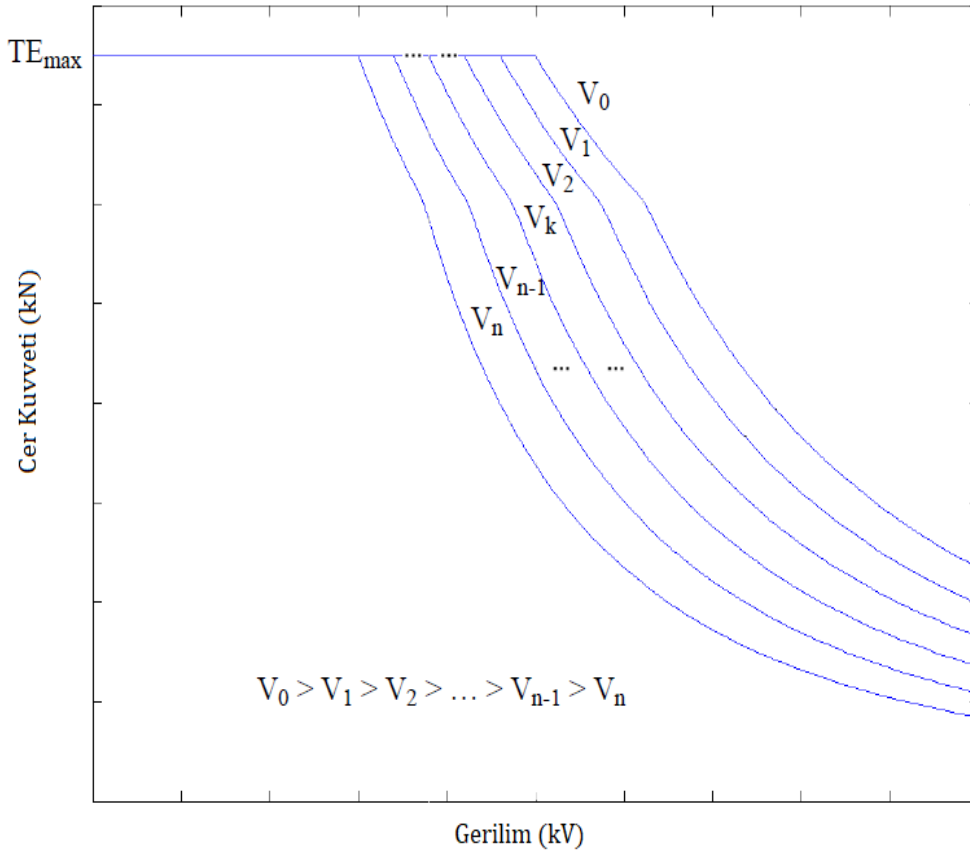
Fren kuvvetine ilişkin karakteristik değerlerden fren kuvveti bulunabilir ve %100 fren uygulandığında, fren kuvveti-hız eğrisi Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Fren kuvveti-hız eğrisi

Kulworawanichpong (2003) DC bara gerilim düzenleyicili AC/DC güç konvertörüyle beslenen cer motorlarının olduğu AC demiryollarında tren performansının,

pantoğraf gerilimine çok az bağımlı olduğunu belirtmektedir. Ayrıca EN 50388'e göre pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim 22,5 kV olduğundan, Siemens Velaro E80100 tren setinin performansı bu gerilime kadar sabit olacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Dahası, Kulworawanichpong'a (2003) göre merkezi kontrolörün ana görevlerinden biri tam olarak iyi bir gerilim kararlılığı sağlamaktır. Bundan dolayı, bu çalışma pantoğraftaki gerilimle değişen cer kuvvetini kapsamamaktadır. Bununla birlikte, pantoğrafta 19,5 kV değerinden daha düşük bir gerilim meydana gelirse, Şekil 3.15'teki gibi pantoğraftaki gerilim değişimine bağlı cer kuvveti göz önüne alınacak şekilde çalışılması gerekecektir.



Şekil 3.15. Pantoğraftaki gerilim değişimine bağlı cer kuvveti (Kulworawanichpong'dan, 2003)

3.3.4.2. Tren tarafından tüketilen aktif cer gücü ve üretilen aktif rejeneratif güc

Tren tarafından çekilen aktif cer gücü P_{cer} (kW) (3.38) eşitliğiyle ifade edilir (Urlu, 1999). Cer kuvveti TE (kgf) ile temsil edilmektedir.

$$P_{cer} = TE \cdot V/367 \quad (3.38)$$

Frenleme durumunda cer motorlarından akım çekilmeyeceğinden, çekilen aktif cer gücü $\bar{P}_{cer}=0$ olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte, elektrikli frenleme durumunda tren, rejeneratif frenleme yaptığıında, ürettiği elektrik enerjisini kendi iç ihtiyacında kullanır. Hatta, üretilen elektrik enerjisi iç ihtiyaçtan daha fazla ise, kalan elektrik enerjisi katener hat şebekesine verilir. Üretilen aktif rejeneratif güç P_{rejen} (kW) (3.39) denklemiyle yazılabilir. Fren kuvveti BE (kgf) olarak gösterilmektedir. Bu tezde, rejeneratif frenleme durumunda rejeneratif güç üretilmediği kabul edilmiştir.

$$P_{rejen} = BE \cdot V/367 \quad (3.39)$$

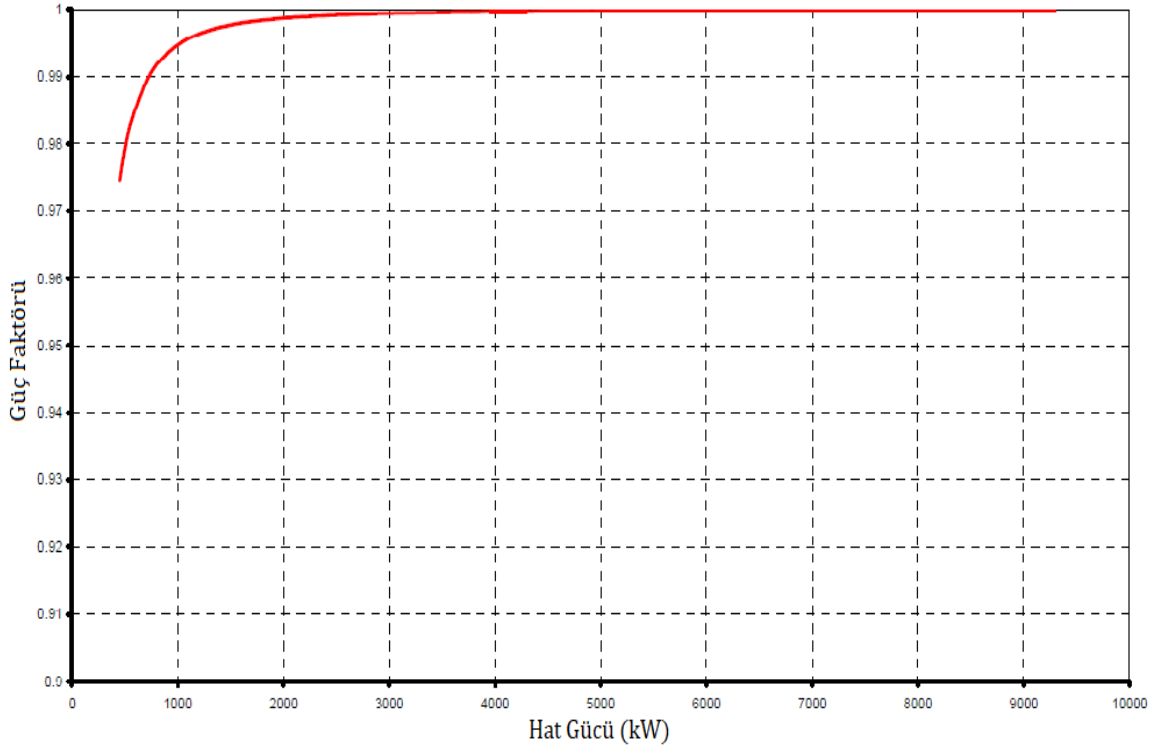
3.3.4.3. Tren tarafından çekilen görünür güç

Urlu'ya (1999) göre tren gücü hesaplanırken, trene ait kayıplar ve yardımcı devre güçleri tren cer gücüne ilave edilir. Ancak, trene ait kayıplar ve yardımcı devre güçleri hakkında önceden kesin bir bilgi vermek mümkün olamamaktadır. Cer motorlarının kayıpları, aktarma organları kayıpları ve besleyici kayıpları genel olarak kayıpları oluşturur. Cer motor vantilatörleri, alçak gerilim ekipman kabini, yağ ve su soğutucuları, cer konvertörleri, kompresörler, AC yüksek gerilim ekipman kabini, DC yüksek gerilim ekipman kabini, tren koruma kabinleri, makinist kontrol paneli, harici güç kaynakları, iklimlendirme, aydınlatma gibi bileşenler yardımcı devre güçlerini oluşturur. Trene ait kayıplar ve yardımcı devre güçleri \bar{P}_k ile ifade edilirse, tren tarafından çekilen aktif güç \bar{P}_{tr} (3.40) eşitliğiyle ifade edilebilir. Trenin tükettiği reaktif güç Q_{tr} (kVar) (3.41) denklemiyle bulunabilir.

$$P_{tr} = P_{cer} + P_k \quad (3.40)$$

$$Q_{tr} = P_{tr} \tan (\cos^{-1}(pf)) \quad (3.41)$$

Güç faktörü pf ile ifade edilmektedir. Kararlı durum koşulları altında cer durumunda güç faktörü-hat gücü grafiği Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Bu tezde, güç faktörü 0,999 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.16. Kararlı durum koşulları altında cer durumunda güç faktörü-hat gücü grafiği (HT 80100'den, 2013)

Trenin tükettiği görünür güç \bar{S}_{tr} (kVA) ise (3.42) denklemiyle hesaplanabilir.

$$\bar{S}_{tr} = \sqrt{P_{tr}^2 + Q_{tr}^2} = P_{tr} / \cos(\cos^{-1}(pf)) \quad (3.42)$$

3.3.4.4. Hız ve konum güncelleme

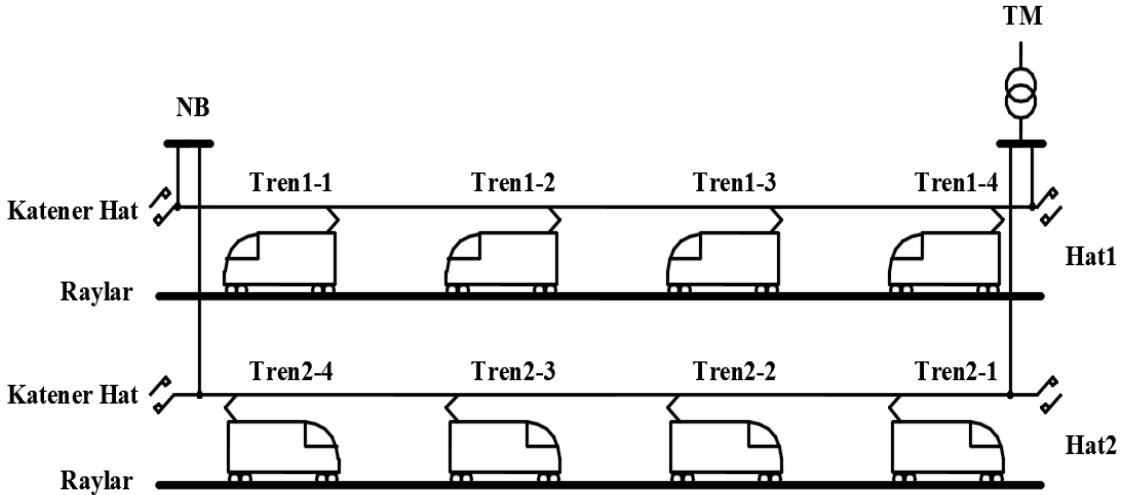
YHT hatlarında rampa eğimleri çok küçük açılarda olduğundan, tren hareketinin sadece bir doğru boyunca olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca, tren pantoğraf noktasında toplanmış bir yük olarak varsayılmıştır. Tren ivmesi bilinirse, zamanın fonksiyonu olarak trenin hız ve konumu sırasıyla (3.43) ve (3.44) denklemleriyle hesaplanabilir. Son hız V_s (m/s), ilk hız V_i (m/s), zaman aralığı Δt (s), son konum d_s (m) ve ilk konum d_i (m) ile gösterilmektedir.

$$V_s = V_i + a\Delta t \quad (3.43)$$

$$d_s = d_i + V_i\Delta t + 0,5a\Delta t^2 \quad (3.44)$$

3.4. Boyutlandırma Programının Geliştirilmesi

Bu bölümde katener hat besleme bölgesinde azami dört tren olacak şekilde, hat profilini temel alarak, farklı sefer aralıklarında, tren setinin dinamik karakteristiği ve hızına göre tren tarafından tüketilen güçler, trafodan çekilecek güçler, gerilim düşümleri gibi nicelikleri her 0,5 saniyede bir güncelleyerek hesaplayan bir boyutlandırma programı geliştirilmiştir. Böylelikle, herhangi bir işletme senaryosunun mevcut elektrifikasyon tesislerinin tasarımına göre uygulanabilirliği kontrol edilebilecektir. Ayrıca, öngörülen bir işletme senaryosunda, trafo gücü, katener hat besleme bölgesinin uzunluğu gibi elektrifikasyon tesislerinin tasarımındaki boyutlandırmalarda geliştirilen program yardımcı olabilecektir. Besleme bölgesindeki 8 trene ait basitleştirilmiş şema Şekil 3.17’de takdim edilmektedir. Hat1’deki birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü tren sırasıyla Tren1-1, Tren1-2, Tren1-3 ve Tren1-4 olarak gösterilmektedir. Aynı şekilde, Hat2’deki birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü tren sırasıyla Tren2-1, Tren2-2, Tren2-3 ve Tren2-4 ile ifade edilmektedir. Boyutlandırma programı MATLAB yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir ve programa ilişkin MATLAB kodları Ek Açıklamalar-C’de verilmektedir.



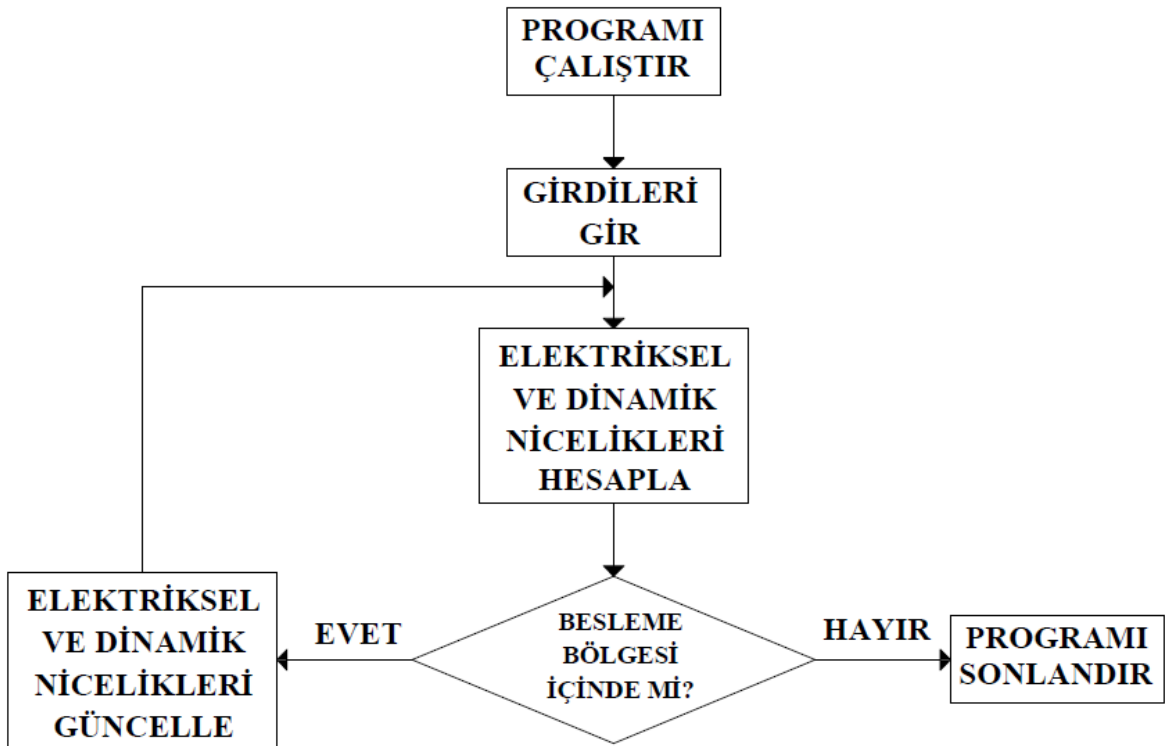
Şekil 3.17. Besleme bölgesindeki 8 trene ait basitleştirilmiş şema

Ek Açıklamalar-C’deki boyutlandırma programı çalıştırıldıktan sonra; program bazı girdilere ihtiyaç duyar. Bu girdiler şunlardır: bir katener hat besleme bölgesinde azami 4 tren olacak şekilde besleme bölgesindeki tren sayısı, trene ait kayıplar ve yardımcı devre güçleri, Hat1 ve Hat2 başlangıç konumları, TM ile katener hat arasındaki besleme hattının mesafesi, trafo primer gerilimi, trafo merkezine göre besleme bölgesinin yeri, her bir trenin

hattı, başlangıç zamanı, ilk hızı, son hızı, boş kütlesi, yolcu ve yük kütlesi. Ayrıca NB1 ile Alpu TM arasındaki eğim profili, güç kaynağı empedansı gibi sistem bileşenlerinin modellenmesi ve akım taşıma kapasitesi gibi katener tesisleri başlıklı bölümlerden elde edilen veriler programa eklenmiştir.

Girdiler yüklendikten sonra, herhangi bir tren Hat1 ve Hat2 başlangıç konumlarının dışına çıkması kadar boyutlandırma programı çıktıları üretir. Bu çıktılar şunlardır: her bir tren için ilk hız, son hız, ilk konum, son konum, rampa direnci, tren direnci, ivme, cer aktif gücü, görünür gücü, akım vb. ile trafo sekonder gerilimi, hat sonu gerilimi, trafodan çekilen aktif güç vb.

Karmaşık bir yapıya sahip olan boyutlandırma programı basitleştirildiğinde, Şekil 3.18'deki gibi boyutlandırma programı akış diyagramı ortaya çıkacaktır.



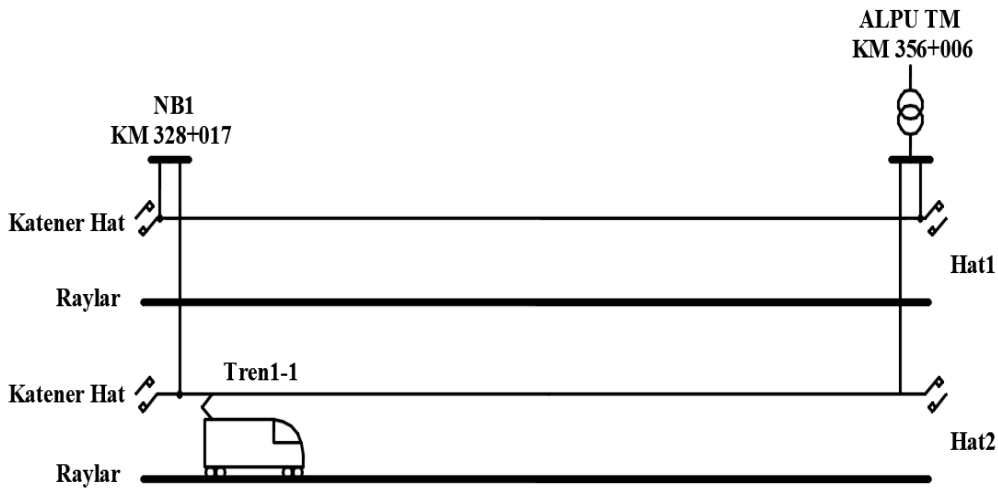
Şekil 3.18. Boyutlandırma programı akış diyagramı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yazılımın tamamlanmasından sonra, ilk önce bir senaryo üzerinden boyutlandırma programının çıktıları takdim edilecektir. Ardından, programın doğruluğunu teyit etmek için, sahadan elde edilmiş ölçümler ile boyutlandırma programından elde edilen hesaplamalar kıyaslanacaktır. Daha sonra, farklı senaryoların uygulanabilirliği denenip gerekiyorsa, önerilerde bulunulacaktır.

4.1. Senaryo 1

Bu bölümde, NB1-Alpu TM arasındaki Hat2 katener hat besleme bölgesinde bir adet Siemens Velaro E80100 tren seti mevcutken, boyutlandırma programının çıktıları sunulacaktır. Besleme bölgesindeki NB1 ve Alpu TM tarafındaki uç konumlar sırasıyla 328017'nci m ile 356006'nci m olup TCDD'nda sırasıyla KM 328+017 ve KM 356+006 olarak gösterilir. Tren seti NB1'den 0 km/sa hızla başlayarak %100 cer kuvvetiyle hızlanıp 250 km/sa hıza ulaştıktan sonra, sabit 250 km/sa hızla Alpu TM'ni terkedesiye dek program çıktı üretmiştir. Besleme bölgesindeki 1 trene ait basitleştirilmiş şema Şekil 4.1'de sunulmaktadır.

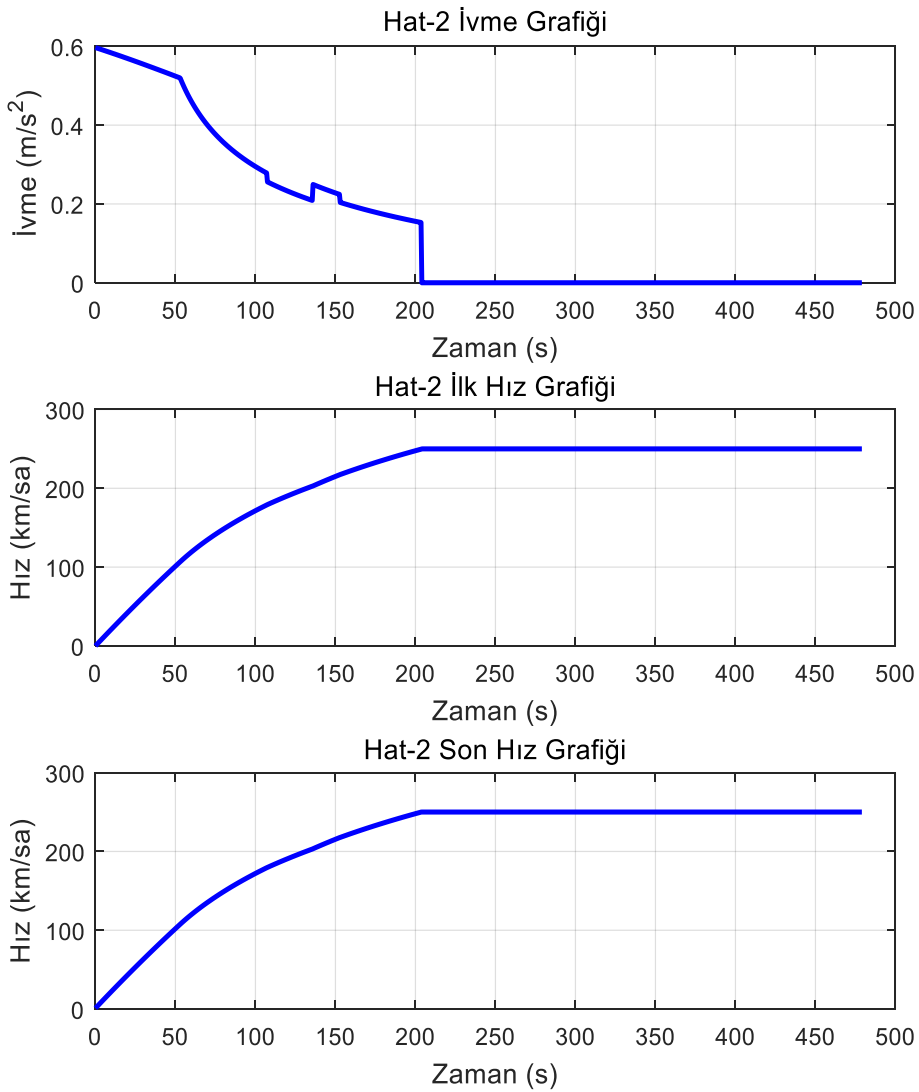


Şekil 4.1. Besleme bölgesindeki 1 trene ait basitleştirilmiş şema

Boyutlandırma programında, güç kaynağının faz açısı 0° olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, trene ait kayıplar ve yardımcı devre güçleri 300 kW olarak alınmıştır. Dahası, tren

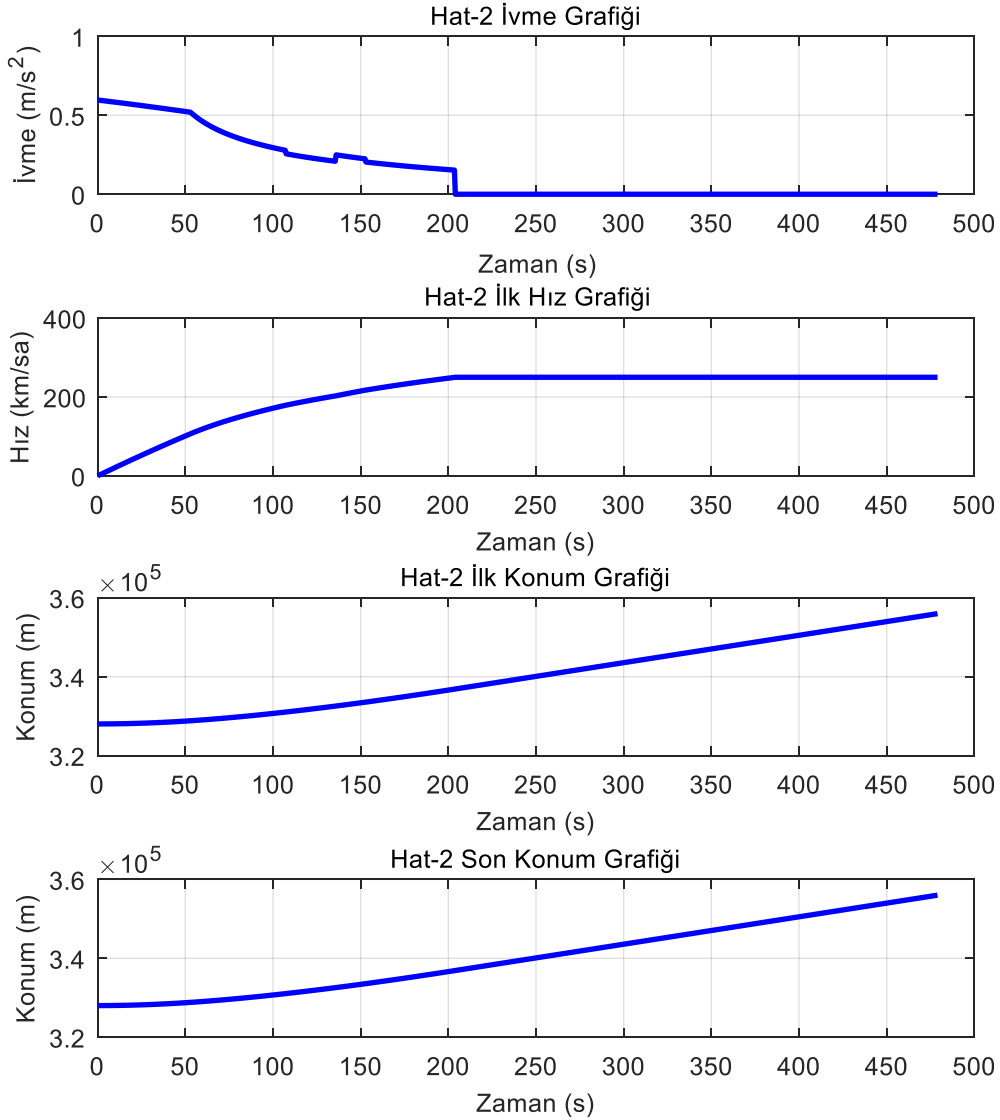
setinin %100 taşıma yüküne sahip olduğu kabul edilmiştir. Bununla birlikte, trafo merkezi ile katener hat arasındaki besleme hattının mesafesi 420 m olup analizörün ölçüm bilgilerini aldığı akım ve gerilim trafoları trafo merkezindedir. Trafonun 2. kademesinde işletmecilik yapılmaktadır.

Boyutlandırma programından elde edilen ivme, ilk hız, son hız grafikleri Şekil 4.2’de gösterilmektedir. (3.36) eşitliğinden elde edilen ivme, 250 km/sa hıza ulaştığında 0 değerini alır ve katener hat besleme bölgesini terkedesiye dek bu değere sahip olur. (3.43) denkleminde son hız elde edilir.



Şekil 4.2. İvme, ilk hız, son hız grafikleri

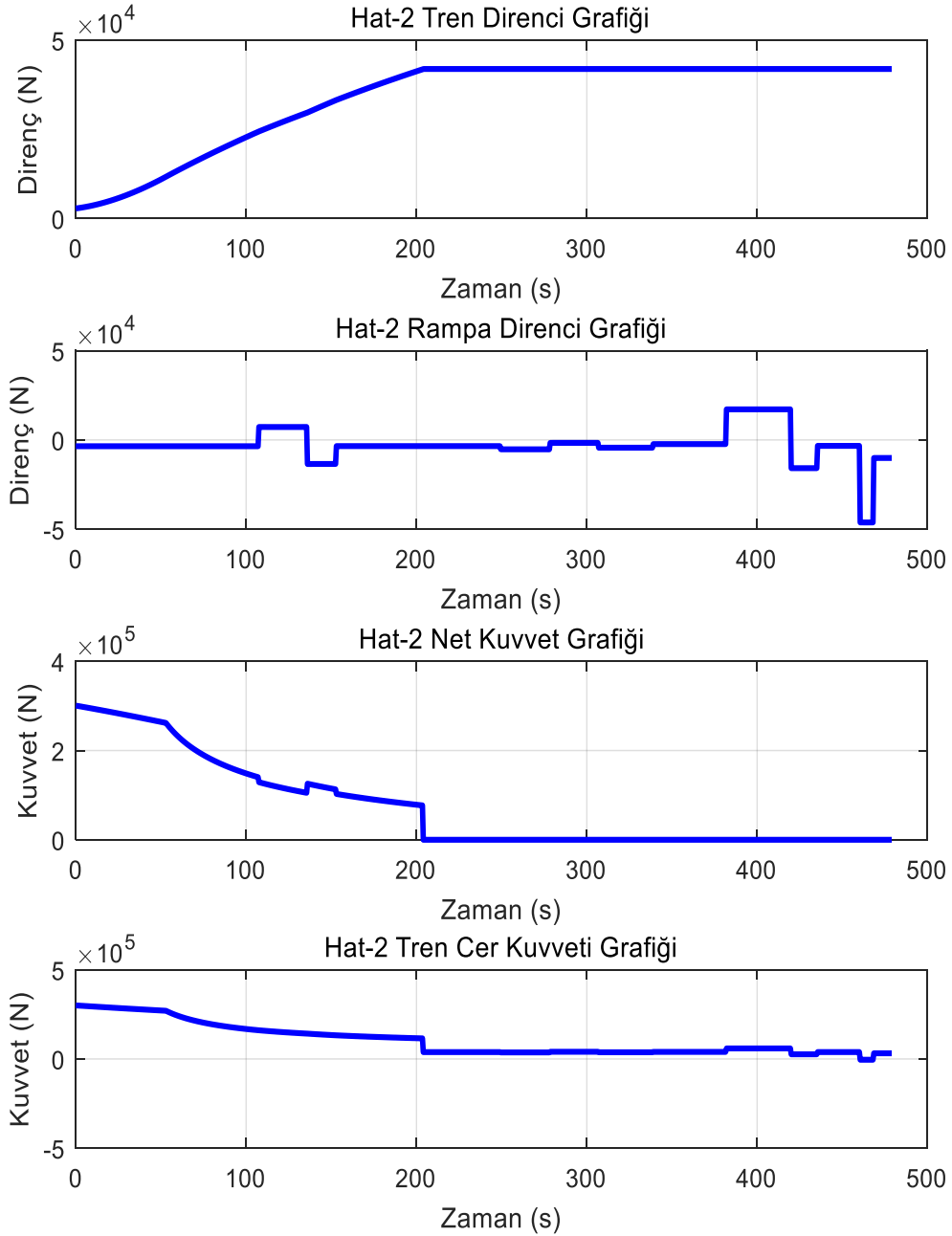
(3.44) eşitliğinden son konum elde edilir. Boyutlandırma programından elde edilen ivme, ilk hız, ilk konum ve son konum grafikleri Şekil 4.3'te takdim edilmektedir.



Şekil 4.3. İvme, ilk hız, ilk konum ve son konum grafikleri

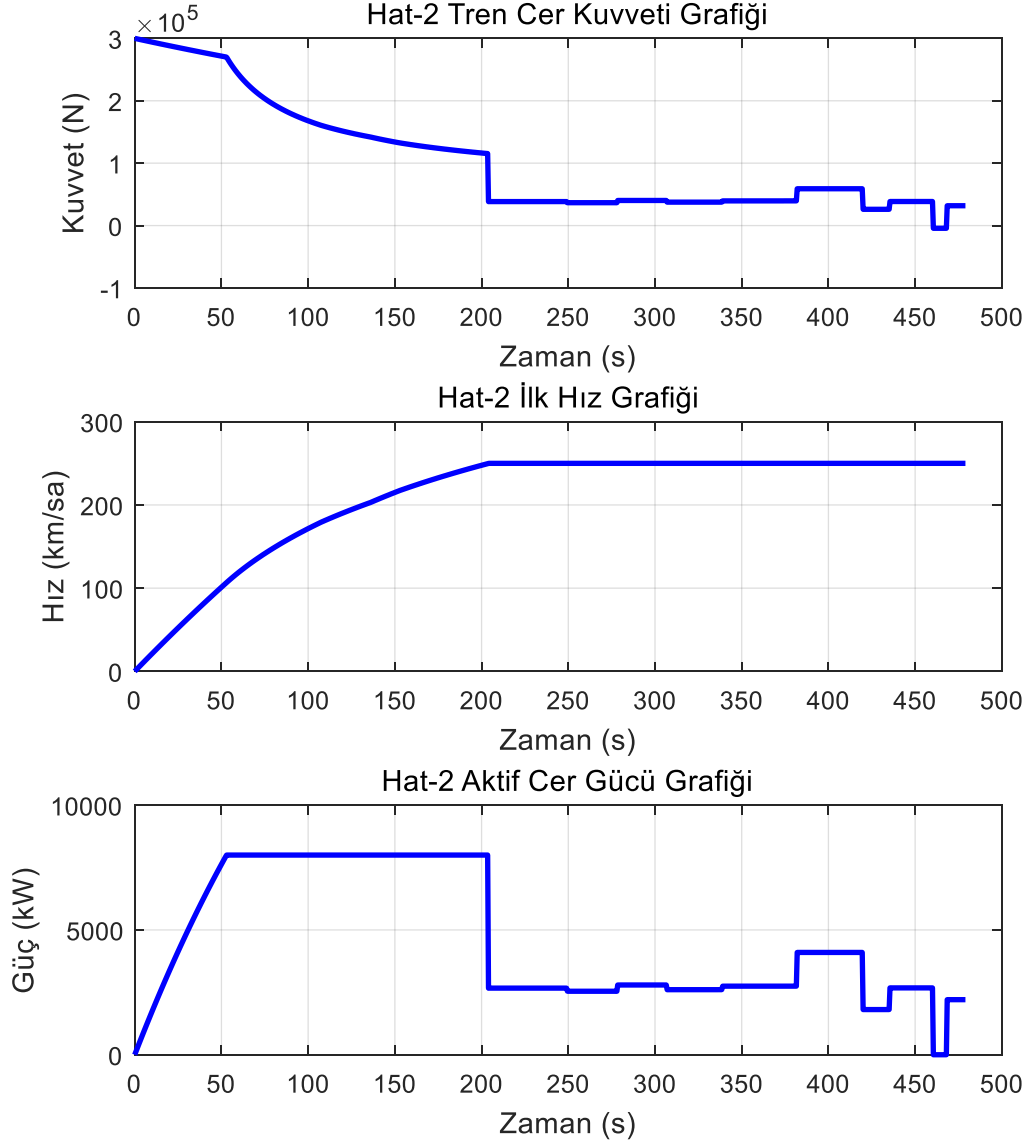
Şekil 4.4'te boyutlandırma programından elde edilen tren direnci, rampa direnci, net kuvvet ve cer kuvveti grafikleri verilmektedir. Tren 250 km/sa hıza ulaştıktan sonra, sabit 250 km/sa hızla seyredeceğinden dolayı, cer kuvveti tren direnci ve rampa direnci

toplamından büyük ve eşitse, cer kuvveti tren ve rampa direncine eşit olacaktır. Aksi takdirde, ilgili hızdaki cer kuvveti hesaba alınacaktır.



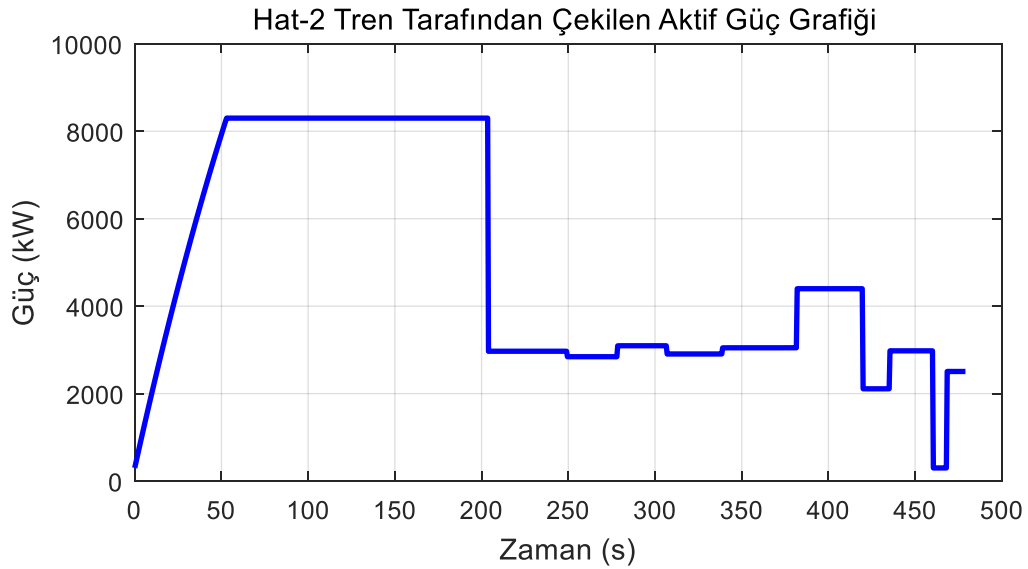
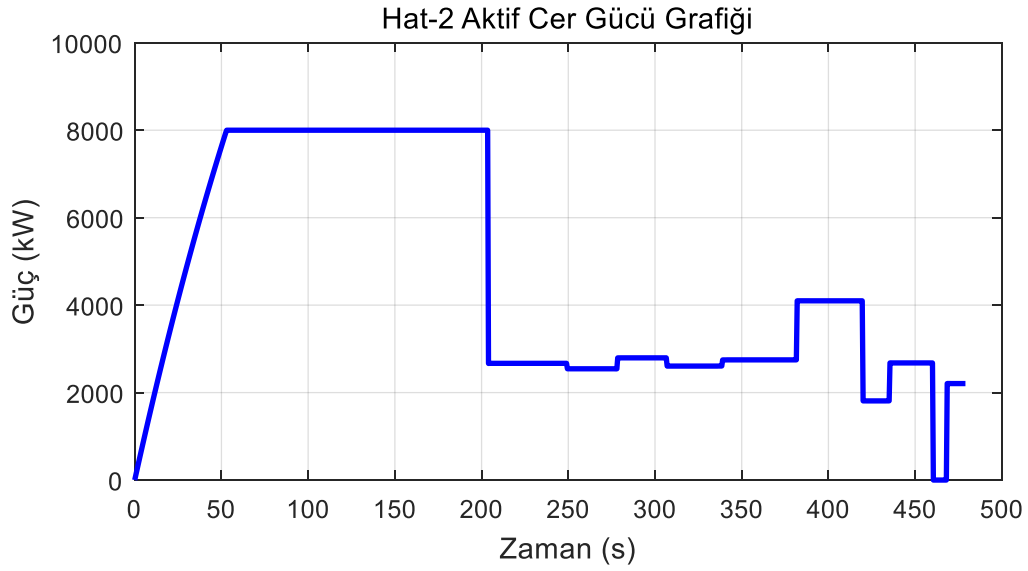
Şekil 4.4. Tren direnci, rampa direnci, net kuvvet ve cer kuvveti grafikleri

Aktif cer gücü (3.38) denkleminde elde edilir. Boyutlandırma programından elde edilen cer kuvveti, ilk hız ve aktif cer gücü grafikleri Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



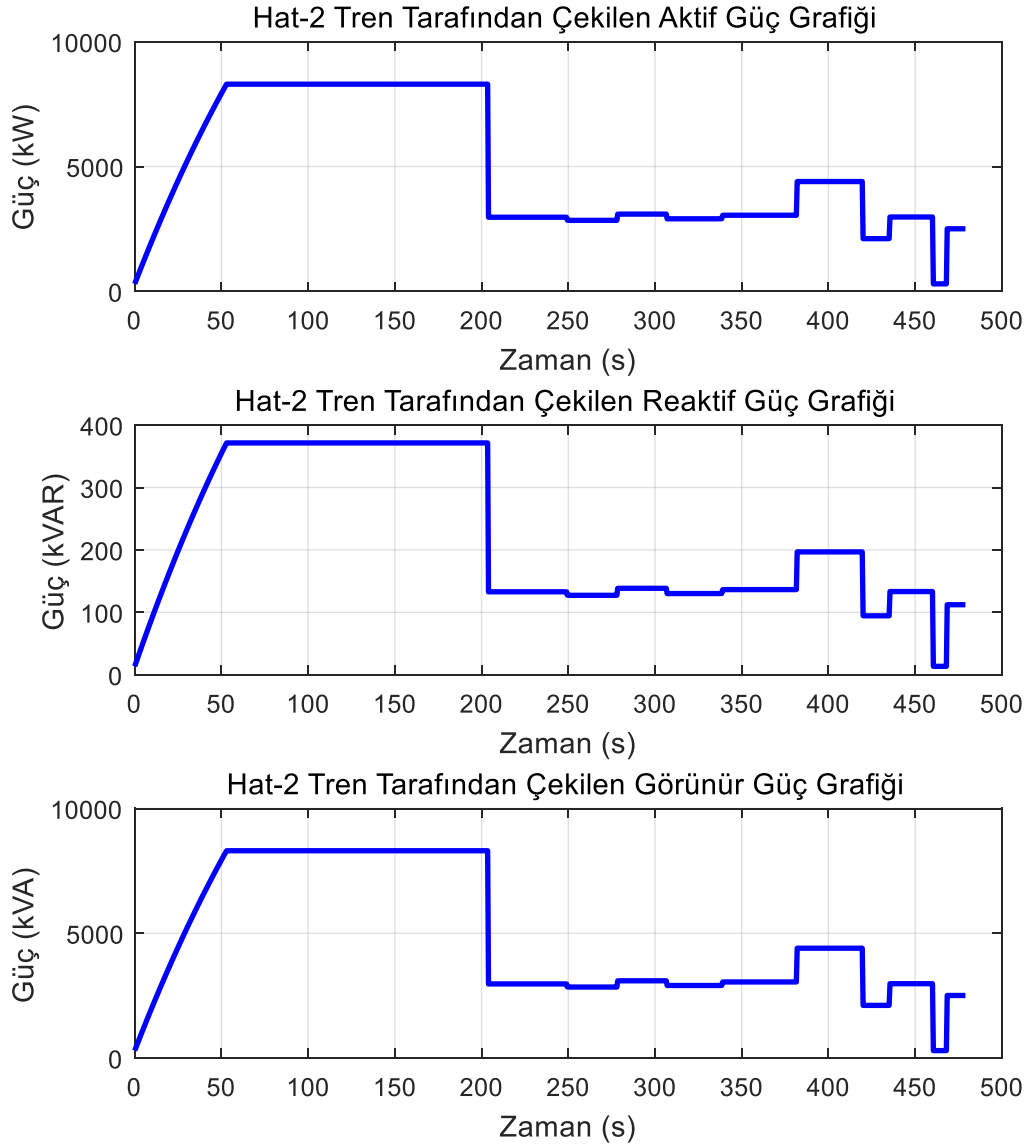
Şekil 4.5. Cer kuvveti, ilk hız ve aktif cer gücü grafikleri

Aktif cer gücü bulunduğundan sonra, (3.40) eşitliğinden tren tarafından çekilen aktif güç hesaplanır. Şekil 4.6'da boyutlandırma programından elde edilen aktif cer gücü ve tren tarafından çekilen aktif güç grafikleri sunulmaktadır.



Şekil 4.6. Aktif cer gücü ve tren tarafından çekilen aktif güç grafikleri

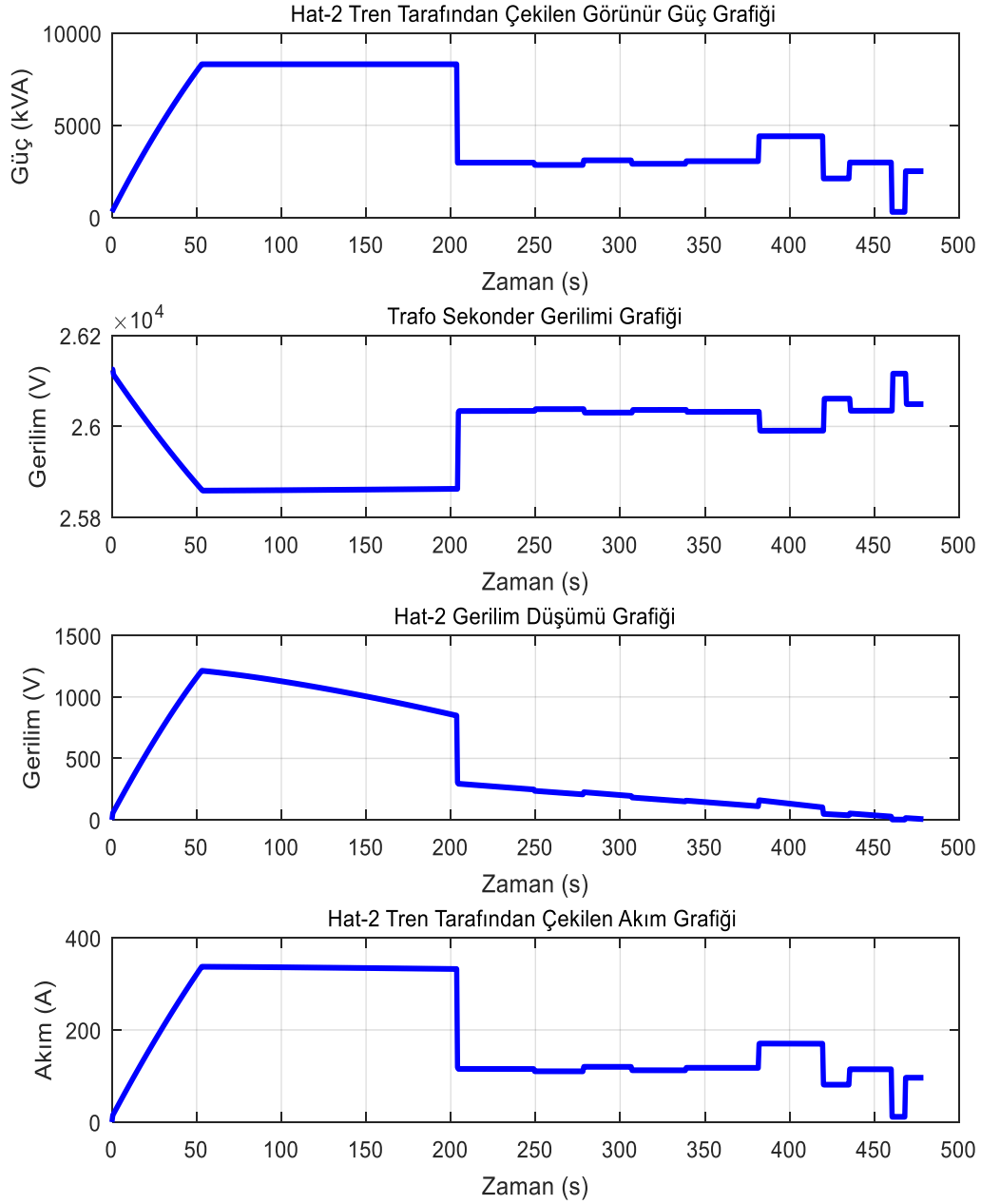
Tren tarafından çekilen aktif güç hesaplandıktan sonra, tren tarafından çekilen reaktif güç ve görünür güç sırasıyla (3.41) ve (3.42) eşitlikleriyle elde edilir. Boyutlandırma programından elde edilen tren tarafından çekilen aktif, reaktif ve görünür güç grafikleri Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Tren tarafından çekilen aktif, reaktif ve görünür güç grafikleri

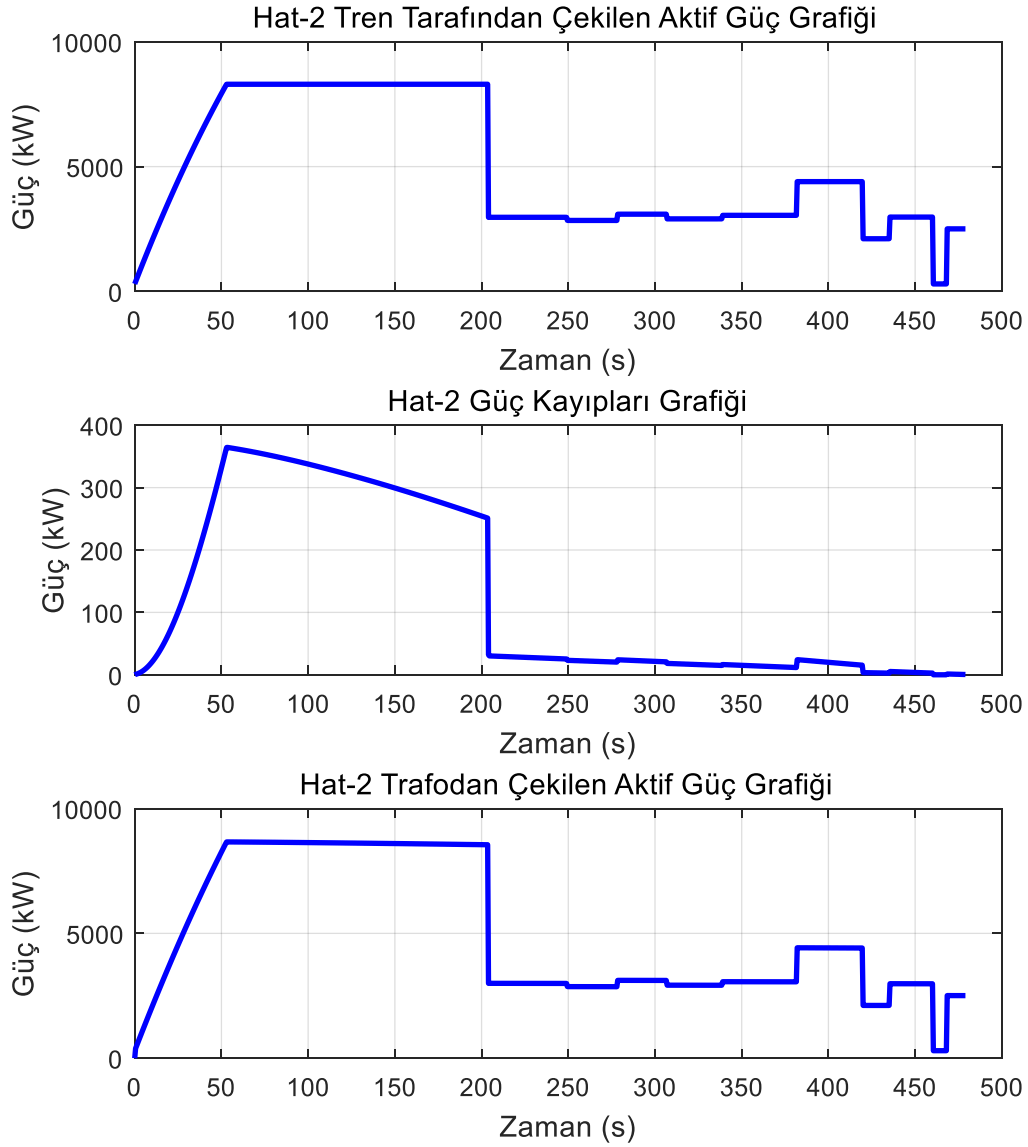
Boyutlandırma programında trafo primer anma gerilimi 154000 V olarak kabul edilmiştir. Yüksüz durumdayken, trafo primer anma gerilimi 154000 V değerine sahiptir ve 2. kademedeki trafo sekonder anma gerilimi de 26125 V değerine sahiptir. Yük varken, güç kaynağı empedansı ve trafo empedansından dolayı, meydana gelen gerilim düşümü trafo sekonder gerilimine yansacaktır. Ayrıca, trafo sekonder gerilimi ile pantograftaki gerilim arasında gerilim düşümü ortaya çıkacaktır. Boyutlandırma programından elde edilen tren tarafından çekilen görünür güç, trafo sekonder gerilimi, trafo sekonder gerilimi

ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü ve tren tarafından çekilen akım grafikleri Şekil 4.8’de takdim edilmektedir.



Şekil 4.8. Tren tarafından çekilen görünür güç, trafo sekonder gerilimi, trafo sekonder gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü ve tren tarafından çekilen akım grafikleri

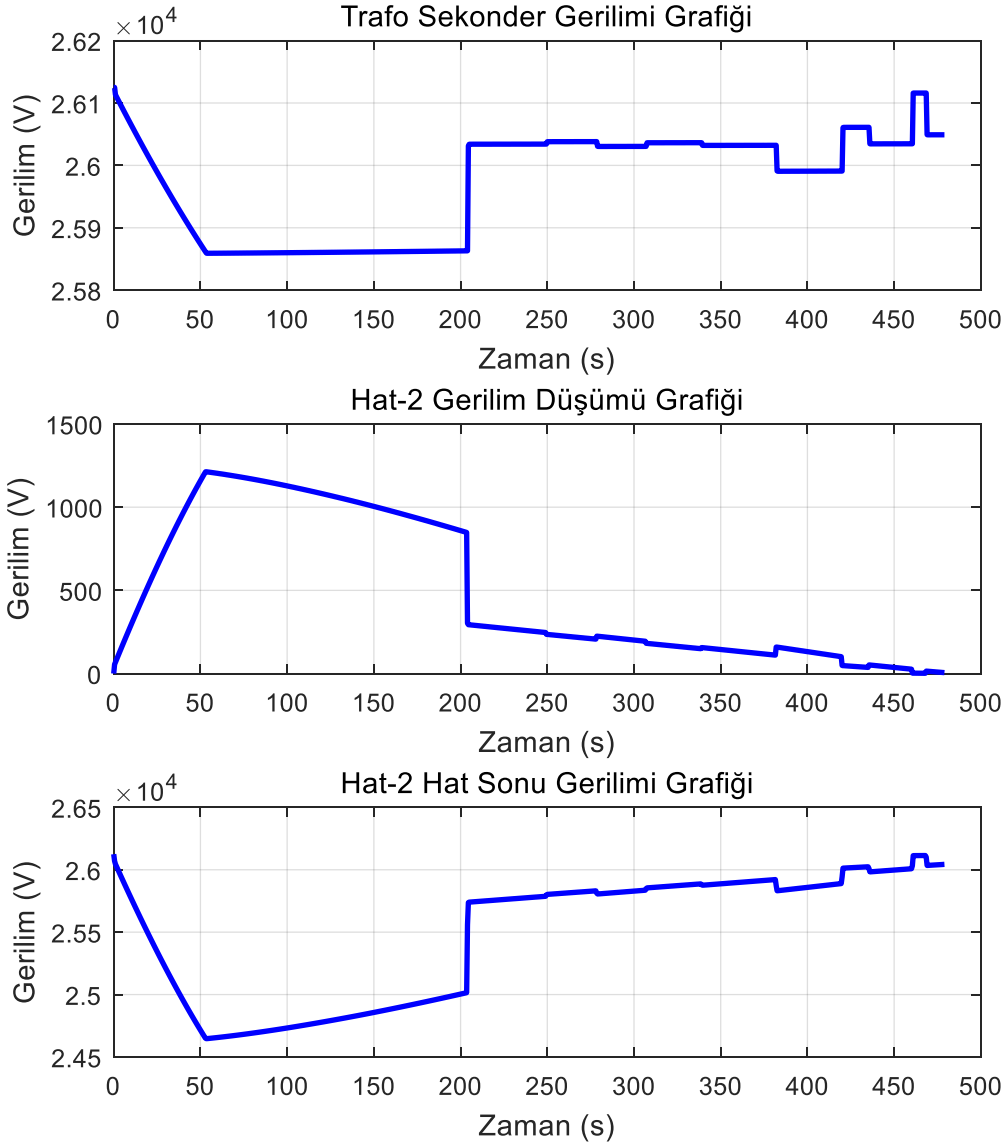
Hat direncinden kaynaklanan güç kayıpları ve tren tarafından çekilen aktif güç toplamı trafodan çekilen aktif gücü oluşturur. Şekil 4.9’da boyutlandırma programından elde edilen tren tarafından çekilen aktif güç, güç kayıpları ve trafodan çekilen aktif güç grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Tren tarafından çekilen aktif güç, güç kayıpları ve trafodan çekilen aktif güç grafikleri

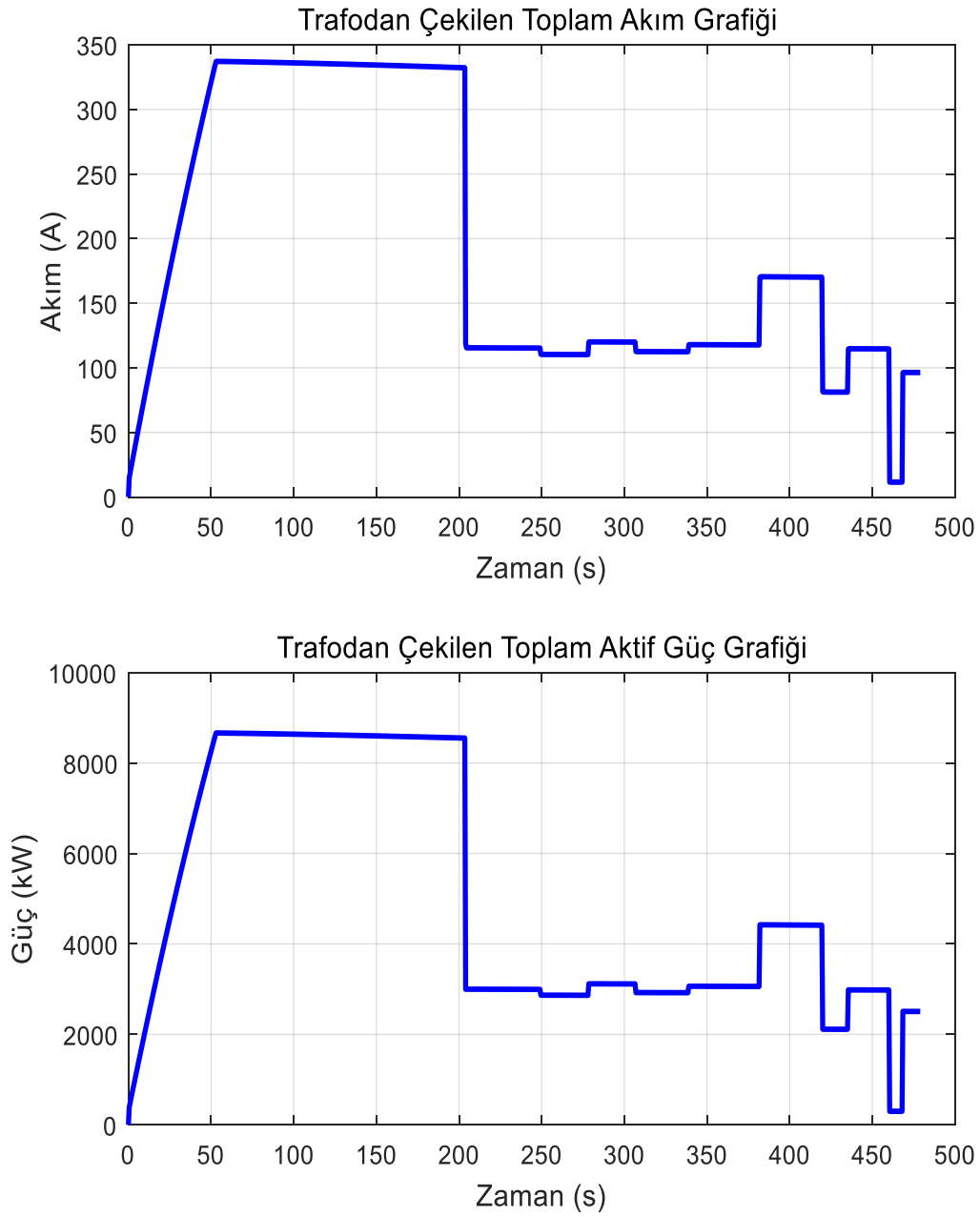
Trafo sekonder geriliminden trafo sekonder gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü çıkarıldığında hat sonu gerilimi elde edilir. Boyutlandırma

programından elde edilen trafo sekonder gerilimi, trafo sekonder gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü ve hat sonu gerilimi grafikleri Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. Trafo sekonder gerilimi, trafo sekonder gerilimi ile pantoğraftaki gerilim arasındaki gerilim düşümü ve hat sonu gerilimi grafikleri

Boyutlandırma programından elde edilen trafodan çekilen toplam akım ve aktif güç grafikleri Şekil 4.11'de takdim edilmektedir.



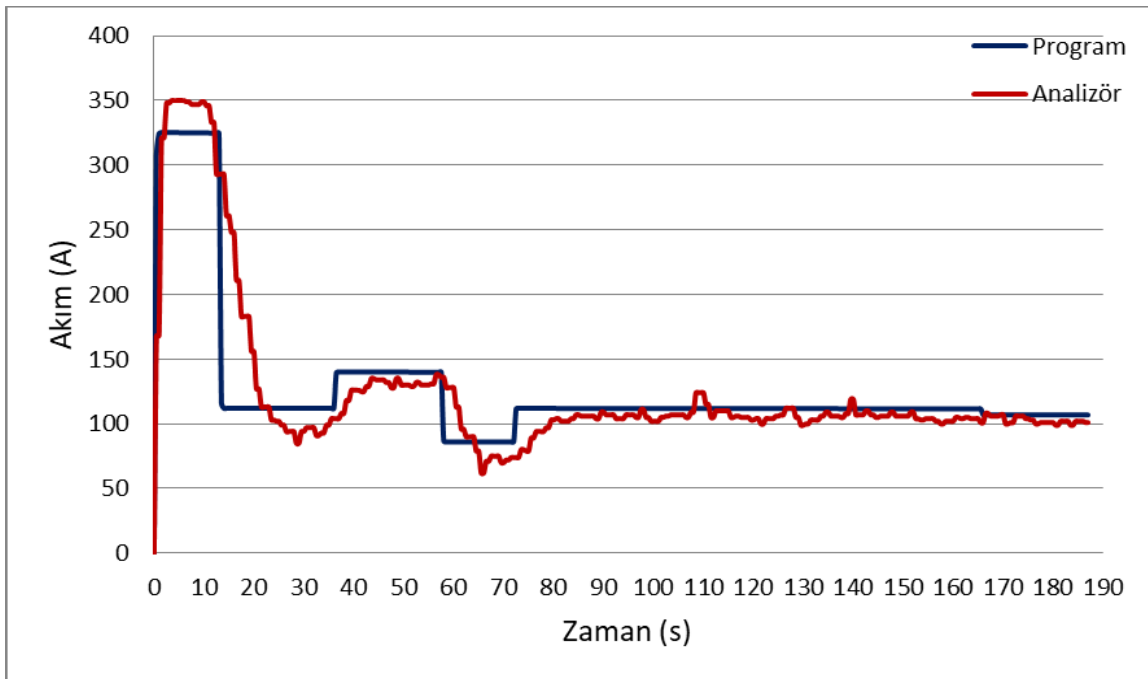
Şekil 4.11. Trafodan çekilen toplam akım ve aktif güç grafikleri

4.2. Sahadan Elde Edilmiş Ölçümler ile Boyutlandırma Programından Elde Edilen Hesaplamaların Kıyaslanması

Boyutlandırma programı trenin ivmesi, hızı, konumu, tren tarafından çekilen akım, gerilim düşümü, tren tarafından tüketilen aktif güç, reaktif güç gibi nicelikleri her 0,5

saniyede bir güncelleyerek hesaplama kapasitesine sahip olsa da, katener hattına ait enerji analizörü trafo sekonder akım, gerilim ve frekans bilgilerini ölçebilmektedir. Dolayısıyla, boyutlandırma programında ve enerji analizöründe ortak olan nicelikler kıyaslanacak ve bu nicelikler şunlardır: trafo sekonder akım ve gerilimi.

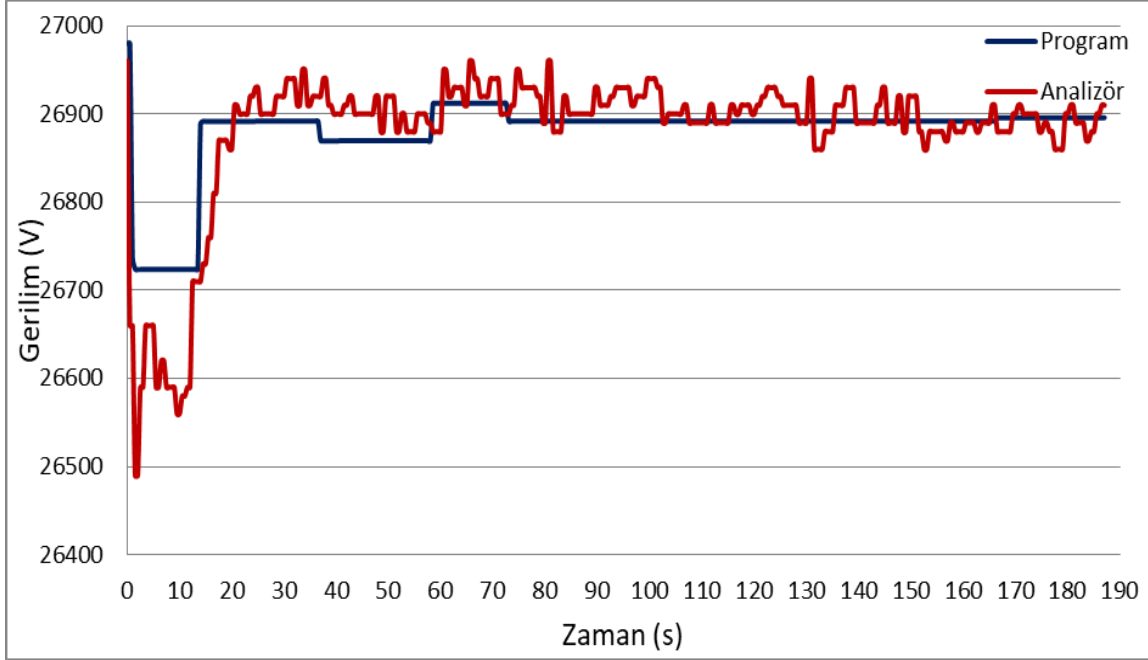
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, KM 328+525 ile KM 341+496 arasında, otonom kontrolde (cruise control – autonomous control), 242 km/sa hızla başlayıp 250 km/sa hıza ulaşıktan sonra, sabit 250 km/sa hızla seyreden trene ait akım bilgileri enerji analizöründen alınmıştır. Trende 400 yolcu bulunmakta ve boyutlandırma programında her bir yolcu 80 kg olarak kabul edilmiştir. Ölçüm bilgileri alınırken, trafo primer gerilimi ortalama olarak 159040 V değerindedir. Tren otonom kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder akımı ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder akımı grafiği Şekil 4.12’de verilmektedir.



Şekil 4.12. Tren otonom kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder akımı ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder akımı grafiği

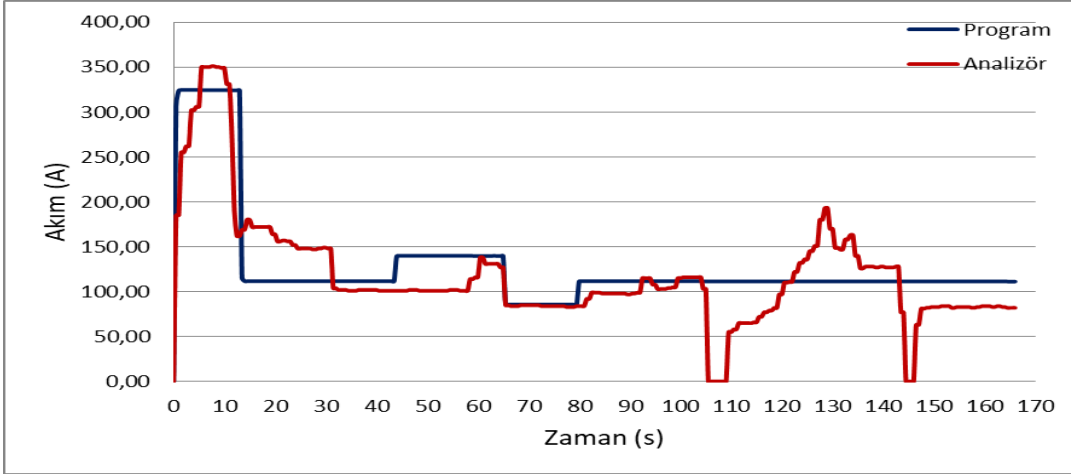
Tren otonom kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder gerilimi ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder gerilimi grafiği Şekil 4.13’te sunulmaktadır. Tren otonom kontrolde iken enerji analizöründen alınan trafo sekonder

akım ve gerilimi boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder akım ve gerilimiyle kabul edilebilir bir düzeyde eşleşmektedir.



Şekil 4.13. Tren otonom kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder gerilimi ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder gerilimi grafiği

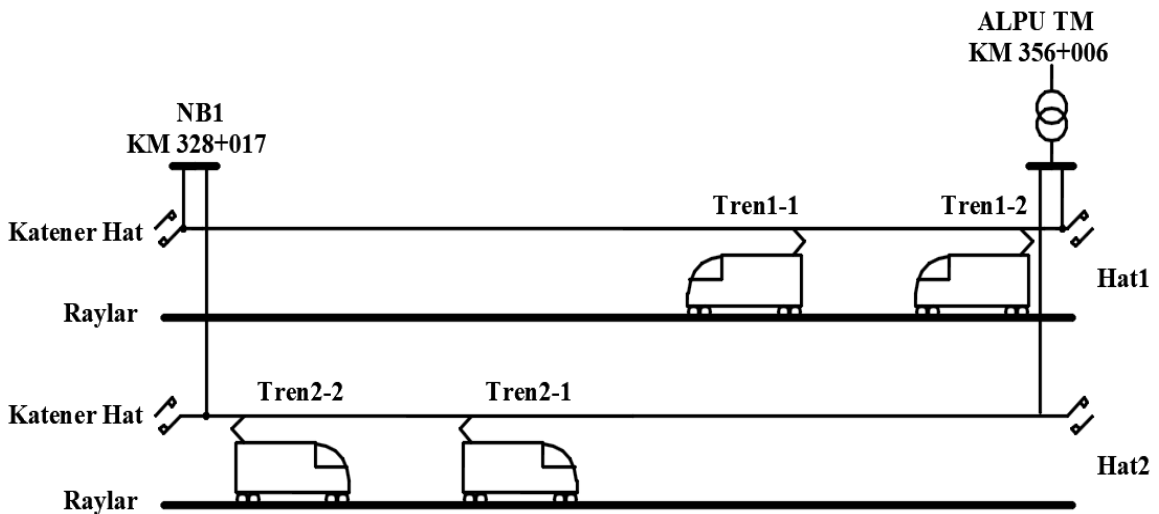
İşletmecilik genellikle otonom kontrolle yapılmakla birlikte, hava şartları, hız kısıtlaması (takayyüdat), sinyalizasyondaki arıza gibi nedenlerden dolayı, manuel kontrolde de işletmecilik yapılmaktadır. KM 328+017 ile KM 339+530 arasında, manuel kontrolde, 242 km/sa hızla başlayıp %100 cer kuvvetiyle 250 km/sa hıza ulaştıktan sonra, sabit 250 km/sa hızla seyreden trene ait akım bilgileri enerji analizöründen alınmıştır. Trende 455 yolcu bulunmaktadır. Ölçüm bilgileri alınırken, trafo primer gerilimi ortalama olarak 159450 V değerindedir. Tren manuel kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder akımı ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder akımı grafiği Şekil 4.14'te takdim edilmektedir. Boyutlandırma programıyla enerji analizörü arasındaki akım farklılığının en önemli nedeni, ivme değişimidir. Boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder gerilimi ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder geriliminin eşleşmeyeceği aşıkardır. Çünkü, trafo sekonder gerilimi çekilen akıma bağlıdır.



Şekil 4.14. Tren manuel kontrolde iken boyutlandırma programıyla hesaplanan trafo sekonder akımı ile enerji analizöründen alınan trafo sekonder akımı grafiği

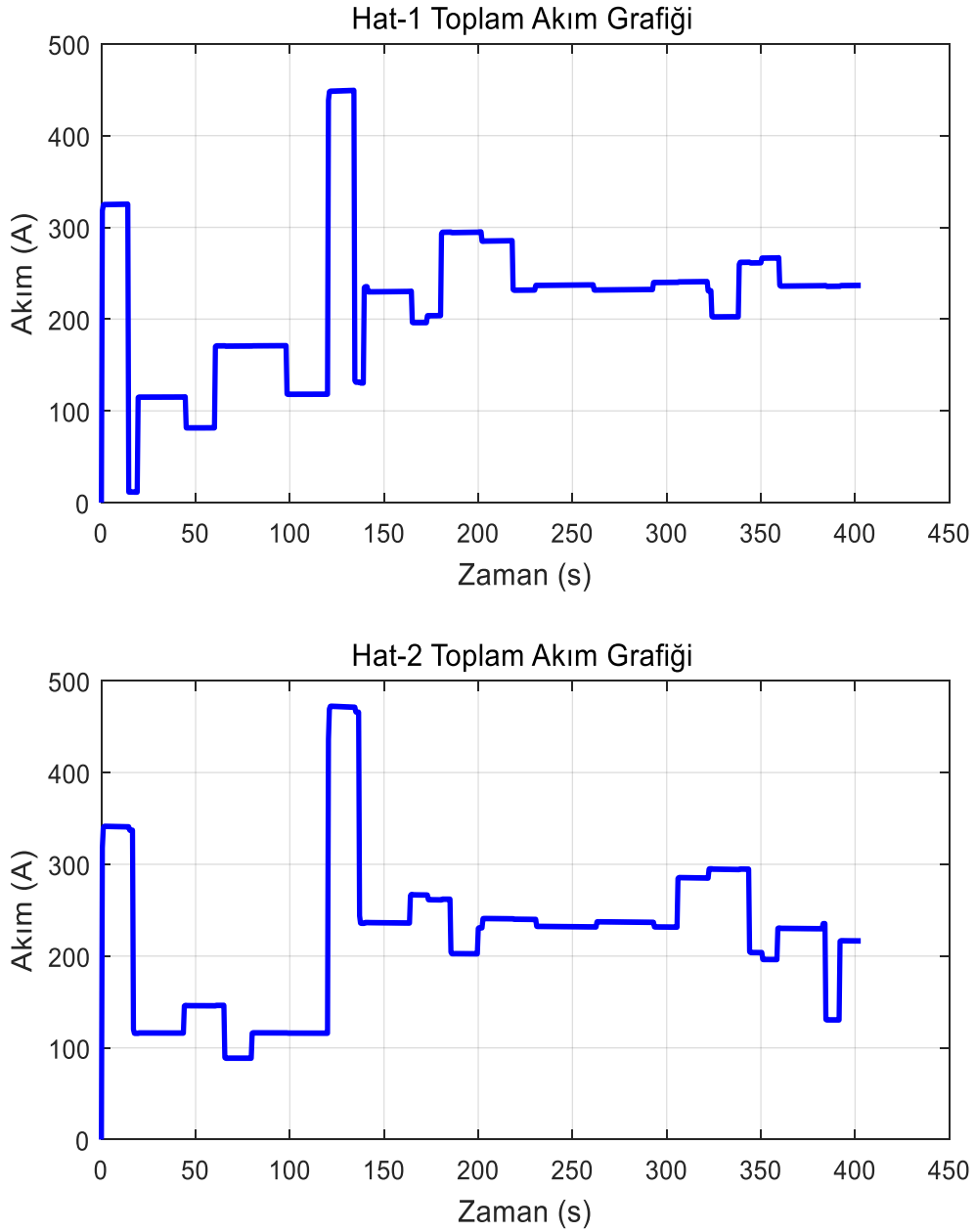
4.3. Senaryo 2

NB1-Alpu TM arasında, Hat1 ve Hat2 katener hat besleme bölgesinde ikişer adet Siemens Velaro E80100 tren seti 240 km/sa hızdan %100 cer kuvvetiyle 250 km/sa hıza çıkıp sabit 250 km/sa hızla seyrederken, boyutlandırma programı aracılığıyla, katener hattın akım taşıma kapasitesi, pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim ve trafo gücüne göre değerlendirme yapılmıştır. Boyutlandırma programında sefer aralığı 120 s ve Hat1 ile Hat2 katener hat besleme bölgesindeki ilk trenlerin aynı anda besleme bölgesine girdikleri kabul edilmiştir. Besleme bölgesindeki 4 trene ait basitleştirilmiş şema Şekil 4.15'te gösterilmektedir.



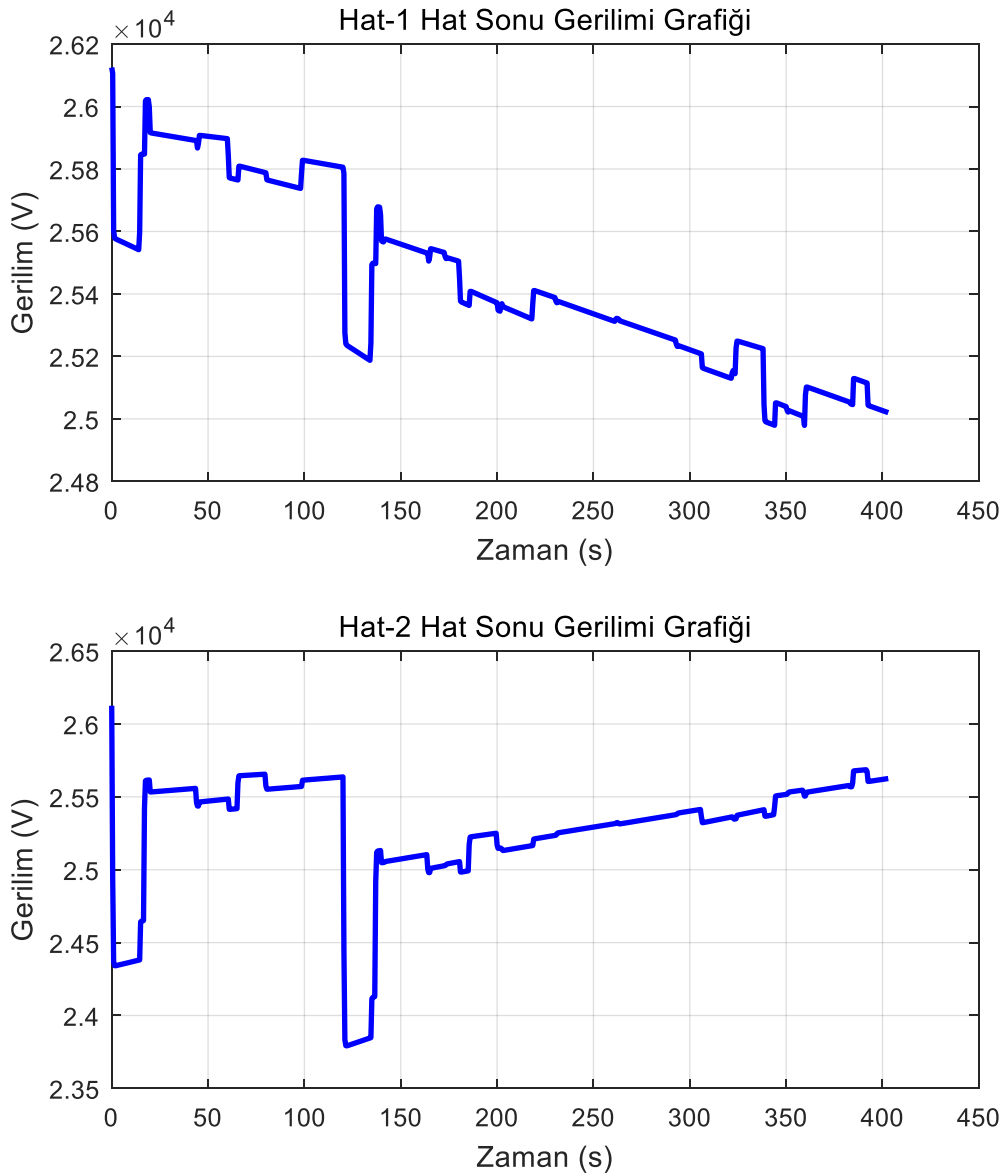
Şekil 4.15. Besleme bölgesindeki 4 trene ait basitleştirilmiş şema

Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği Şekil 4.16'da sunulmaktadır. Hat1 ve Hat2'den çekilen azami akımlar sırasıyla 449,23 ve 472,20 A değerindedir. Katener hattın akım taşıma kapasitesi 964,25 A olduğundan, akım taşıma kapasitesi açısından bir sorun yoktur.



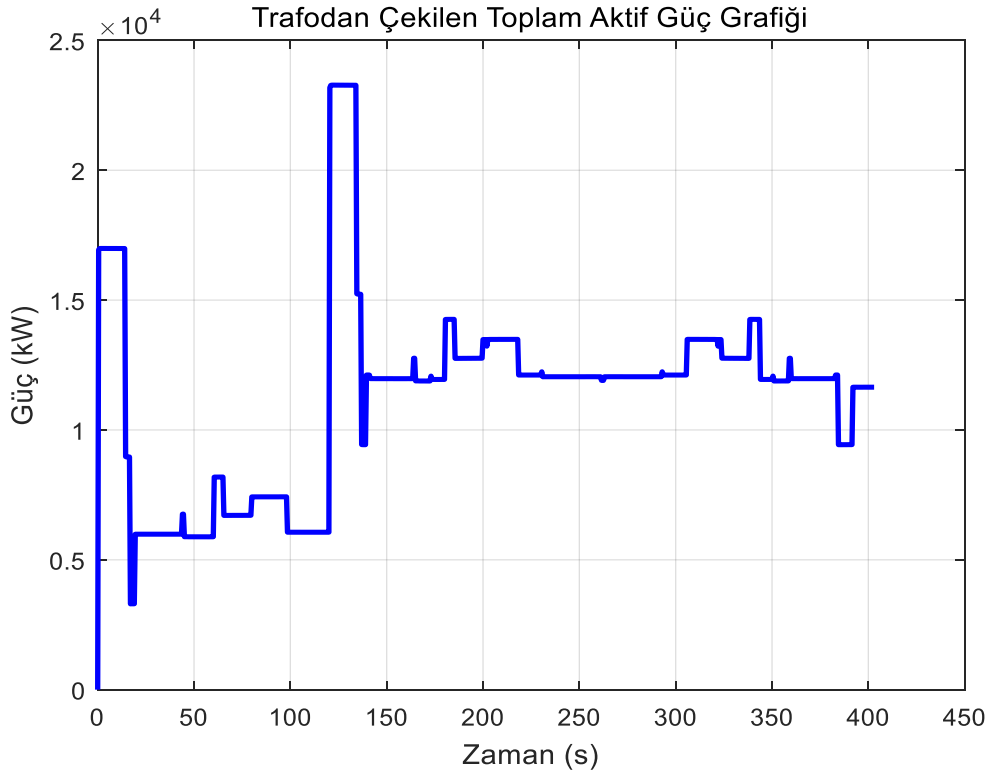
Şekil 4.16. Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği

Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği Şekil 4.17'de takdim edilmektedir. Hat1 gerilimi 24979 V ile 26125 V aralığında deđiŐmektedir. Aynı Şekilde, Hat2 gerilimi 23792 V ile 26125 V aralığında deđiŐmektedir. Pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim 22500 V olduğundan dolayı, pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim açısından bir problem yoktur.



Şekil 4.17. Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği

Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği Şekil 4.18’de verilmektedir. Çekilen maksimum güç 23279 kW değerindedir. Mevcut sistemde kullanılan trafonun anma gücü 25 MVA olduğundan dolayı, tercih edilen trafo gücü bu senaryoyu karşılayabilmektedir.

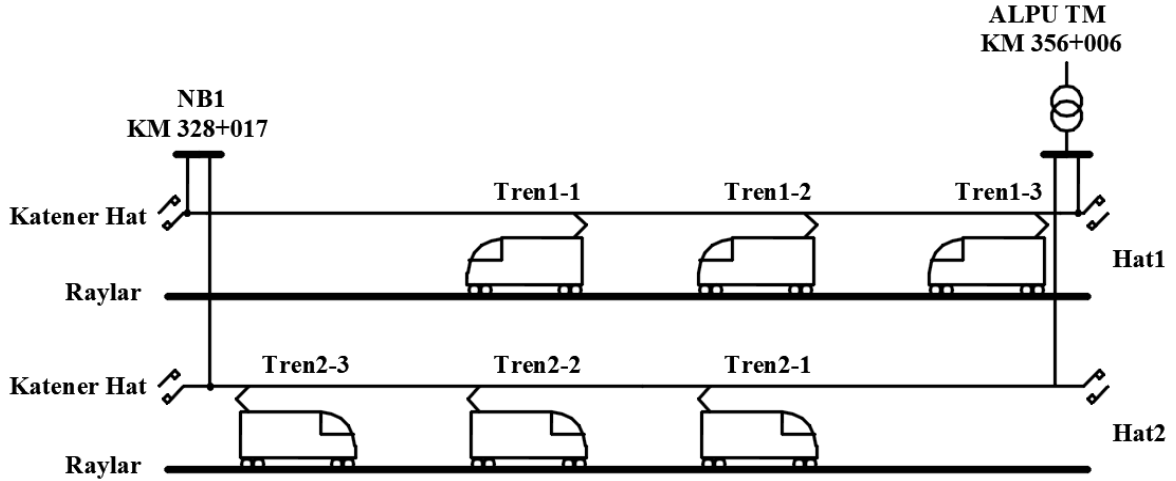


Şekil 4.18. Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği

Sonuç olarak, bu senaryonun uygulanmasında ısıl limit, gerilim düşümü ve trafonun anma gücü açısından bir engel yoktur.

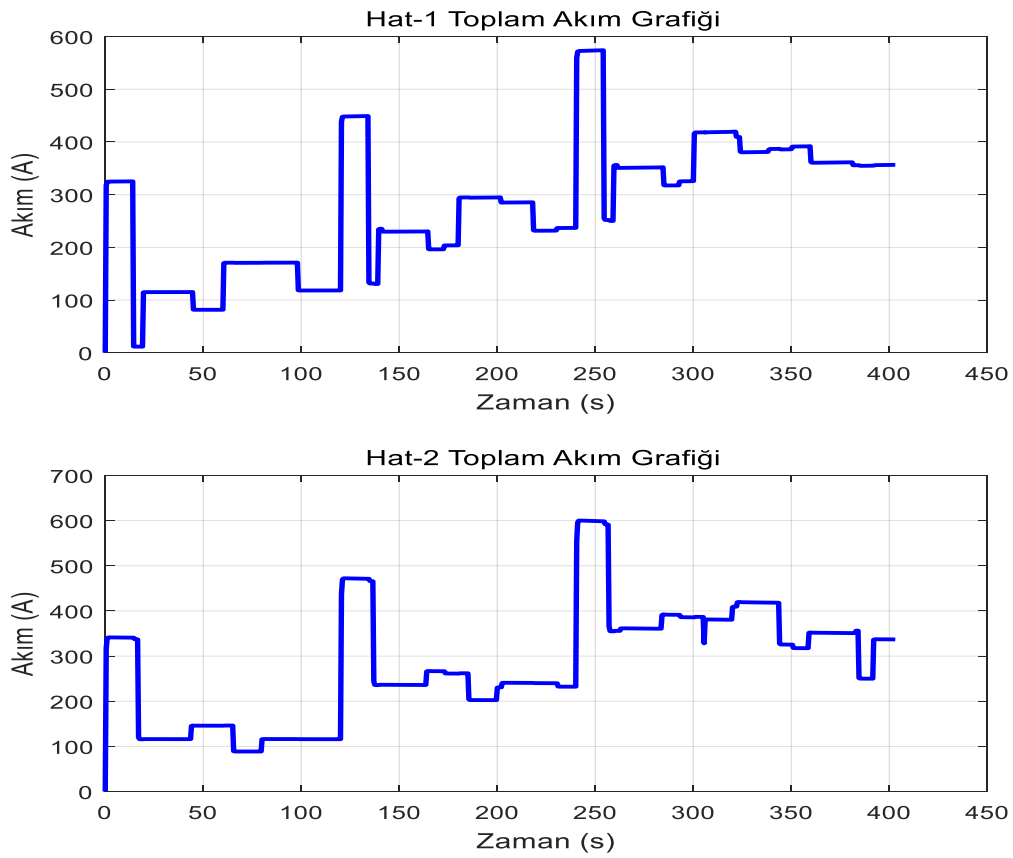
4.4. Senaryo 3

NB1-Alpu TM arasında, Hat1 ve Hat2 katener hat besleme bölgesinde üçer adet Siemens Velaro E80100 tren seti 240 km/sa hızdan %100 cer kuvvetiyle 250 km/sa hıza çıkıp sabit 250 km/sa hızla seyrederken, boyutlandırma programı aracılığıyla, katener hattın akım taşıma kapasitesi, pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim ve trafo gücüne göre değerlendirme yapılmıştır. Besleme bölgesindeki 6 trene ait basitleştirilmiş şema Şekil 4.19’da gösterilmektedir.



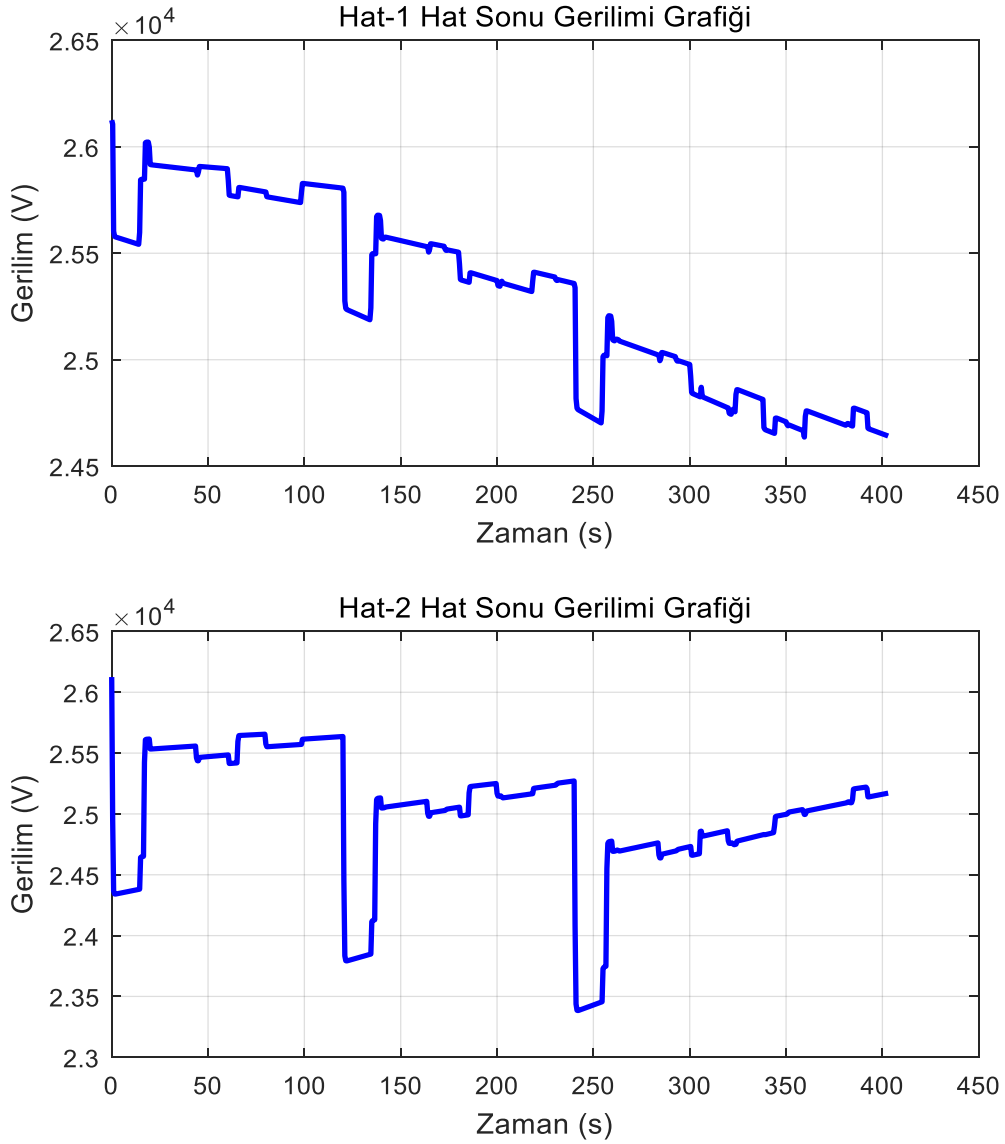
Şekil 4.19. Besleme bölgesindeki 6 trene ait basitleştirilmiş şema

Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği Şekil 4.20'de sunulmaktadır. Hat1 ve Hat2'den çekilen azami akımlar sırasıyla 574,14 ve 600,17 A değerindedir. Akım taşıma kapasitesi açısından uygundur.



Şekil 4.20. Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği

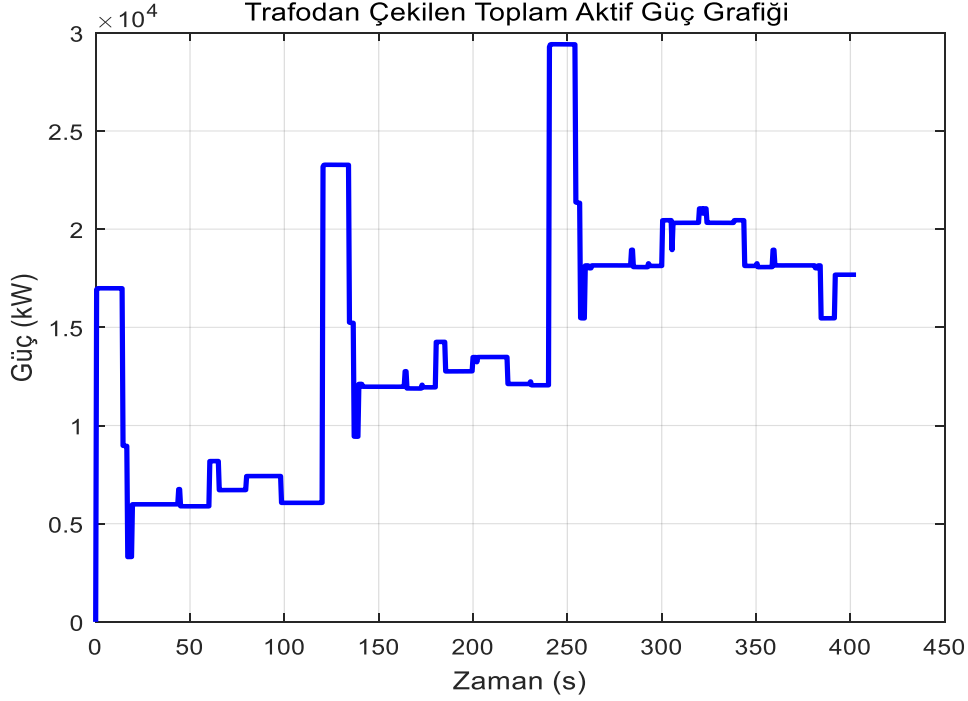
Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği Şekil 4.21’de takdim edilmektedir. Hat1 gerilimi 24636 V ile 26125 V aralığında deđiŐmektedir. Aynı Şekilde, Hat2 gerilimi 23384 V ile 26125 V aralığında deđiŐmektedir. Pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim açısından sorun olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.21. Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği

Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği Şekil 4.22’de gösterilmektedir. Trafodan çekilen azami aktif güç 29,417 MW olmuştur. Bu değer mevcut trafo gücünü aŐmaktadır. Bu nedenle mevcut altyapı ile bu senaryonun güvenli bir Şekilde iŐletilmesi mümkün

değildir. Bu işletme senaryosunun güvenli bir şekilde işletilebilmesi için, standart trafo anma güçlerine göre trafo gücü 40 MVA değerine çıkarılabilir.

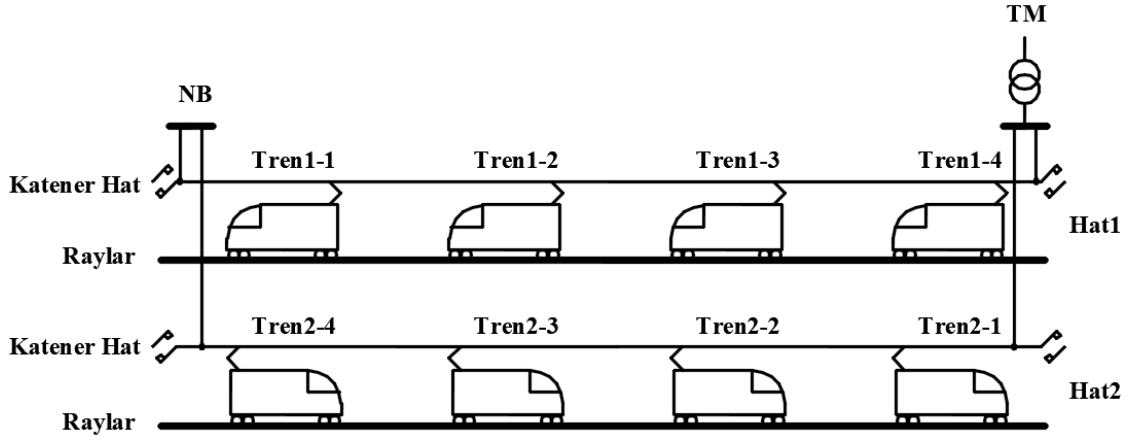


Şekil 4.22. Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği

Böylelikle, bu senaryonun gerçekleşmesi ısıl limit ile gerilim düşümü yönünden uygundur. Trafo gücü 40 MVA değerine çıkarılırsa, bu senaryo uygulanabilir. Bununla birlikte, trafo 40 MVA gücüne çıkarıldıktan sonra, trafo modelinin yeniden oluşturularak analizlerin tekrarlanması ve doğrulamaların yapılması önerilmektedir.

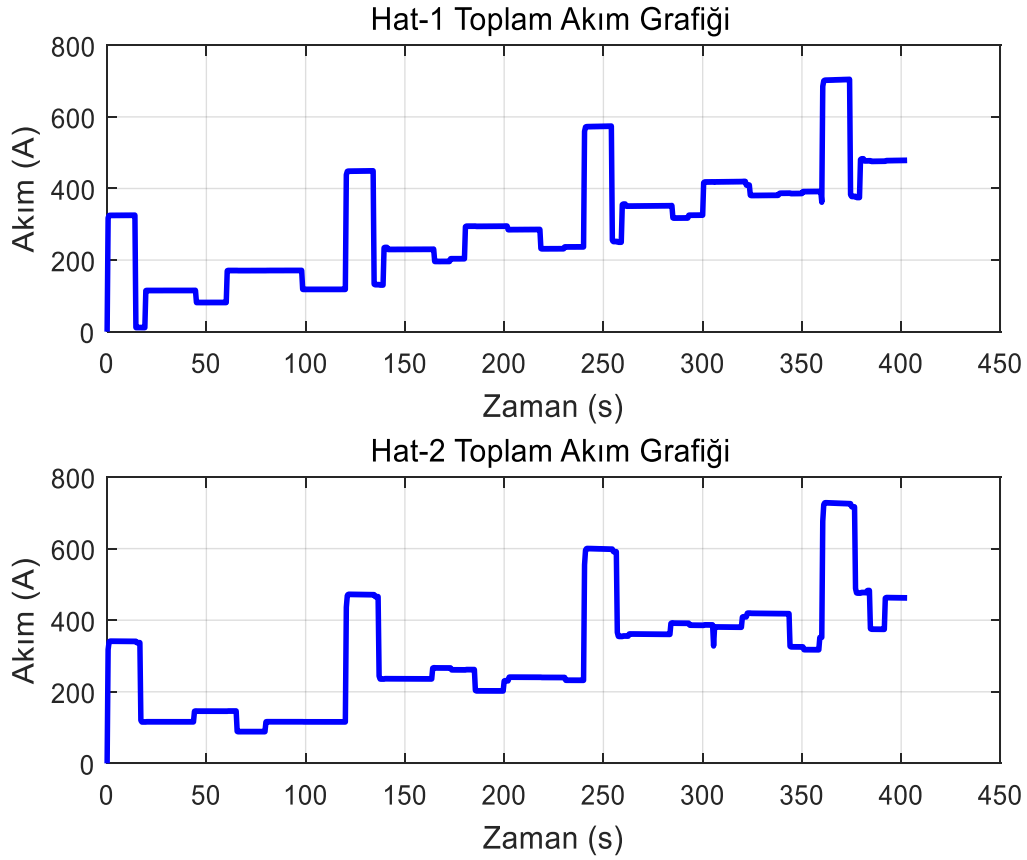
4.5. Senaryo 4

NB1-Alpu TM arasında, Hat1 ve Hat2 katener hat besleme bölgesinde dörder adet Siemens Velaro E80100 tren seti 240 km/sa hızdan %100 cer kuvvetiyle 250 km/sa hıza çıkıp sabit 250 km/sa hızla seyrederken, boyutlandırma programı aracılığıyla, katener hattın akım taşıma kapasitesi, pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim ve trafo gücüne göre değerlendirme yapılmıştır. Besleme bölgesindeki 8 trene ait basitleştirilmiş şema Şekil 4.23'te görüldüğü gibidir. Şekil 4.23 aslında Şekil 3.17'nin aynısıdır ve burada kolaylık olması için yeniden takdim edilmiştir.



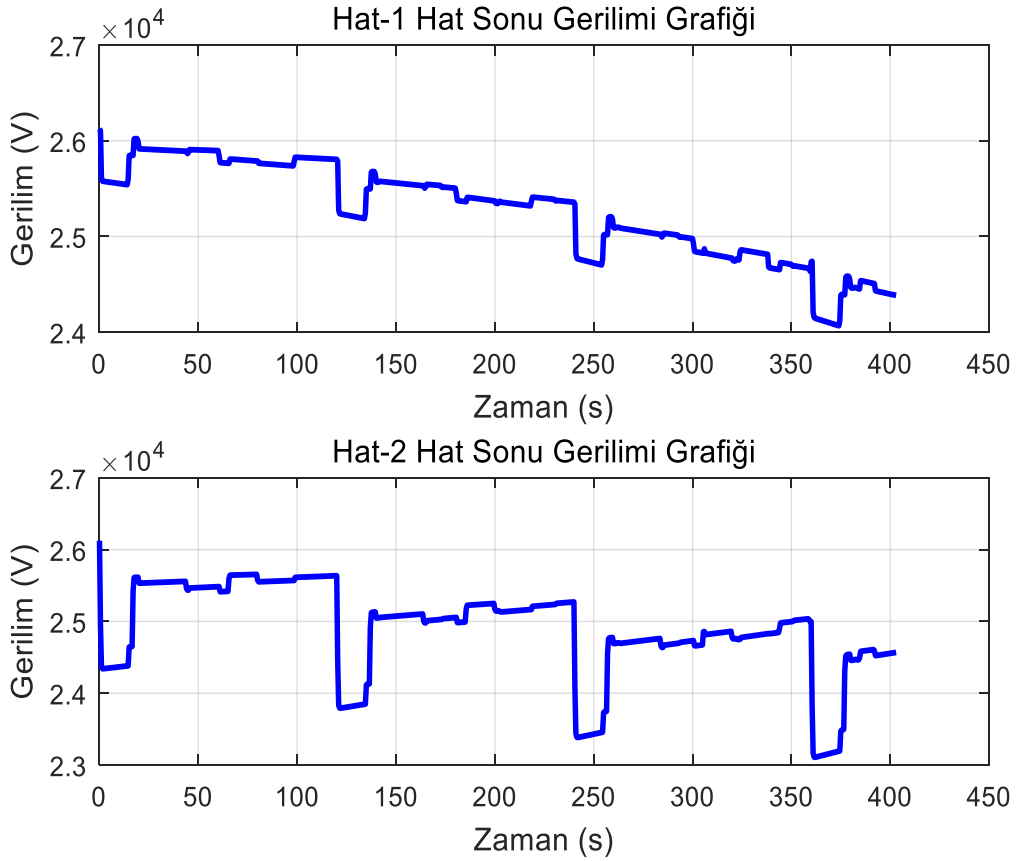
Şekil 4.23. Besleme bölgesindeki 8 trene ait basitleştirilmiş şema

Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği Şekil 4.24'te sunulmaktadır. Hat1 ve Hat2'den çekilen azami akımlar sırasıyla 704,72 ve 727,99 A değerindedir. Akım taşıma kapasitesi yönünden problem yoktur.



Şekil 4.24. Hat1 ve Hat2'den çekilen toplam akımların grafiği

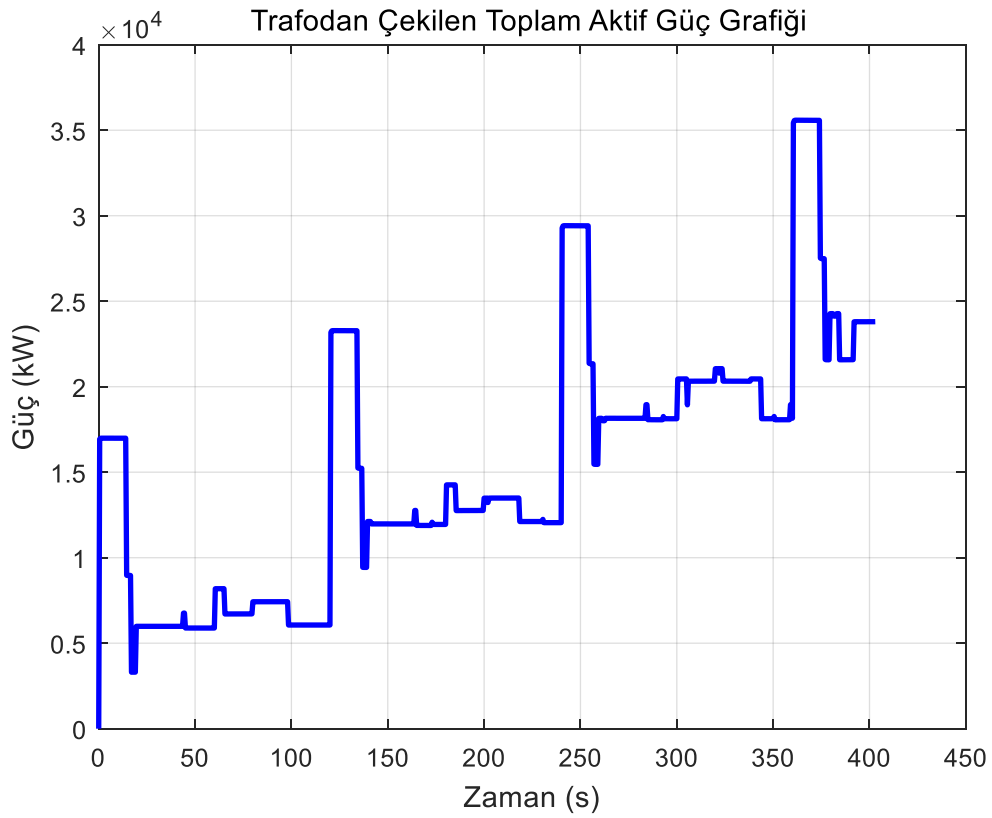
Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği Şekil 4.25'te takdim edilmektedir. Hat1 gerilimi 24067 V ile 26125 V aralığında deđiŐmektedir. Aynı Şekilde, Hat2 gerilimi 23107 V ile 26125 V aralığında deđiŐmektedir. Pantoğraftaki minimum ortalama yararlı gerilim açısından bir engel yoktur.



Şekil 4.25. Hat1 ve Hat2 hat sonu gerilimlerinin grafiği

Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği Şekil 4.26'da verilmektedir. Trafodan çekilen azami aktif güç 35,585 MW olduğundan dolayı, bu işletme senaryosunun mevcut altyapı ile karŐılanması mümkün değildir. Bu senaryonun güvenli bir Şekilde işletilebilmesi için, standart trafo anma güçlerine göre trafo gücü 40 MVA seçilebilir.

Sonc olarak, bu senaryo ısısıl limit ve gerilim düşümü bakımından uygundur. Trafo gücü 40 MVA değerine çıkarılırsa, bu senaryo uygulanabilir. Bununla birlikte, trafo 40 MVA gücüne çıkarıldıktan sonra, trafo modelinin yeniden oluşturularak analizlerin tekrarlanması ve doğrulamaların yapılması önerilmektedir.



Şekil 4.26. Trafodan çekilen toplam aktif güç grafiği

Görüldüğü üzere geliştirilen boyutlandırma programı sayesinde farklı senaryolar kolaylıkla denenmekte ve tüm elektriksel nicelikler analiz edilebilmektedir. Bu sonuçlara göre altyapı iyileştirme veya en uygun işletme önerileri kolaylıkla getirilebilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada raylı sistemlere yönelik katener tesisleri, güç kaynağı, trafo, hat ve tren bileşenleri modellenerek elektriksel ve fiziksel nicelikleri hesaplayan bir boyutlandırma programı geliştirilmiştir. Geliştirilen programdan elde edilen çıktıların sahadan elde edilmiş gerçek zamanlı işletme senaryosu çıktıları ile eşleştiği görülmüştür. Bu program kullanılarak farklı senaryoların uygulanabilirliği değerlendirilmiş ve gerektiğinde, elde edilen sonuçlara göre öneriler yapılmıştır.

Boyutlandırma programı, gerçek ortamda yapılacak tasarım çalışmalarında veya farklı işletme senaryolarının fizibilite testlerinde hem maliyet, hem de deneme-yanılmada kaybedilen zaman hususlarında tasarruf sağlayacaktır. Ayrıca ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda tasarımın iyileştirilmesi ve optimal koşulların elde edilmesi büyük ölçüde kolaylaşacaktır.

Bu konuyla ilgili gelecek çalışmalarda, her bir iletken arasındaki akım dağılımını hesaplamak için katener hat sistemi modellenmelidir. Böylelikle, UIC 60 ray öz empedansı daha doğru bir şekilde hesaplanacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

ABB, 2007, 25 MVA Güç Trafosu Test Raporu.

Alonso, D., Rull, J., Coves, J., Piernau, R., 2009, REPS-AC, a simulation tool for the dimensioning of the electrification of high-speed railways, 1-6.

Dolara, A., Leva, S., 2009, Calculation of rail internal impedance by using finite elements methods and complex magnetic permeability, International Journal of Vehicular Technology, 8.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Umans S. D., 1992, Electric Machinery, Metric Editions, Fifth Edition, p.50-73.

Friedrich, K., Rainer, P., Axel, S., Egid, S., 2009, Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation and Maintenance, Publicis Publishing, Germany, 2nd Ed., p.31, 661-682, 708, 721-731.

HT 80100, 2013, Siemens Velaro E80100 Genel Tren Verileri.

Kulworawanichpong, T., 2003, Optimising a.c. electric railway power flows with power electronic control, p.12-14, 135-137.

Li, S., 2010, Power flow in railway electrification power system, p.16.

Şavata, A., Kurt, T., Ökesli, K., Taş, T., Nalbant, O. vd., 2016, Raylı Sistemler Tesisler Mesleki Eğitimi: Elektrifikasyon Sistemleri Ders Notu, Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Yayınları, s.5.

TEİAŞ, 2018, Alpu TM 154 kV barasındaki kısa devre akımı değerleri.

TS EN 50119, 2010, Demiryolu Uygulamaları – Sabit Tesisler – Elektrikli Cer – Temas Hava Hatları.

TS EN 50149, 2006, Demiryolu Uygulamaları – Sabit Tesisler – Elektrikli Cer – Bakır ve Bakır Alaşımli Yivli Kontak Teller.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

TS EN 50388, 2006, Demiryolu Uygulamaları – Enerji Temini ve Taşıtlar – Güç Kaynağı (Alt İstasyon) ile Çeken ve Çekilen Taşıtlar Arasındaki Müşterek Çalışabilme Koordinasyonu için Teknik Kriterler.

Urlu, C., 1999, Demiryolu Araçlarının İleri Dinamiği, TCDD yayınları, Ankara, s.3, 89, 163, 164.

Yeşiloğlu, S.M., 2016, Ankara-İstanbul Demiryolu Hattı 2. Etap Hızlı Tren Projesi: Katener Tesisleri Eğitimi, s.9, 11, 15, 45, 54, 63, 67.

Yılmaz, Y., Berber, M., Özen, A., 2016, Eskişehir Eğitim Programı, s.62, 98.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklamalar-A: Saatlik Küresel Solar Radyasyon	81
Ek Açıklamalar-B: Alpu TM Kısa Devre Akımı Değerleri	82
Ek Açıklamalar-C: Boyutlandırma Programı MATLAB Kodları	83

Ek Açıklamalar-A: Saatlik Küresel Solar Radyasyon

Çizelge A.1. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan azami saatlik küresel solar radyasyonunun olduğu güne ait değerler

İstasyon No	İstasyon Adı	Yıl	Ay	Gün	Saat	Küresel Güneş Radyasyonu (W/m ²)
17130	ANKARA	2016	5	19	5	4,62
17130	ANKARA	2016	5	19	6	36,91
17130	ANKARA	2016	5	19	7	195,43
17130	ANKARA	2016	5	19	8	414,20
17130	ANKARA	2016	5	19	9	622,61
17130	ANKARA	2016	5	19	10	799,38
17130	ANKARA	2016	5	19	11	927,35
17130	ANKARA	2016	5	19	12	998,00
17130	ANKARA	2016	5	19	14	976,61
17130	ANKARA	2016	5	19	15	869,13
17130	ANKARA	2016	5	19	16	669,61
17130	ANKARA	2016	5	19	17	511,55
17130	ANKARA	2016	5	19	18	280,25
17130	ANKARA	2016	5	19	19	52,33
17130	ANKARA	2016	5	19	20	8,98
17130	ANKARA	2016	5	19	21	2,21

Ek Açıklamalar-B: Alpu TM Kısa Devre Akımı Değerleri

Çizelge B.1. Alpu TM 154 kV barasında kısa devre akımı değerleri

PSS(R)E-33.8.0 ASCC SHORT CIRCUIT CURRENTS MON, JAN 08 2018 8:55

```

<-SCMVA-> <-Sym I''k rms-->
          /I/ AN(I)
X----- BUS-----X      PU      PU      DEG
229521 [ALPU 154.00] 3PH 11.99 11.9860 -77.91
                      LG   9.26  9.2623 -79.53

```

THEVENIN IMPEDANCE, X/R (PU) 3PH Z+:/0.083213/72.120, 3.09972

THEVENIN IMPEDANCE, X/R (PU) LG Z+:/0.083213/72.120, 3.09972 Z-:/0.081797/72.405, 3.15328 Z0:/0.158151/75.272, 3.80421

Ek Açıklamalar-C: Boyutlandırma Programı MATLAB Kodları

```

clc;
clear all;
close all;

ts = input('Besleme bölgesindeki tren sayısını giriniz (azami 4
tren/hat):');
Pk = input('Trene ait kayıplar ve yardımcı devre güçleri(kW):');
hat1_bas_konumu = input('Hat-1 başlangıç konumunu giriniz(Trafo
merkezinin bulunduğu taraf) (m):');
hat2_bas_konumu = input('Hat-2 başlangıç konumunu giriniz(m):');
besleme_hatti_mesafesi = input('Trafo merkezi ile katener hat arasındaki
besleme hattının mesafesini giriniz(m):');
primer_gerilimi = input('Trafo primer gerilimini giriniz(V):');
besleme_bolgesi = input('Trafo merkezine göre besleme bölgesinin yerini
giriniz(sol taraf için 1, sağ taraf için 2):');

if besleme_bolgesi==1 %besleme_bolgesi sol tarafta ise;
for n=1:1:ts
    hat(n) = input( [ num2str(n,'%d') '.tren hattını giriniz(1 veya 2):' ]
);
    baslangic_zamani(n) = input( [ num2str(n,'%d') '.tren için başlangıç
zamanı giriniz(s):' ] );
    ilk_hiz(n) = input([ num2str(n,'%d') '.tren için ilk hız
giriniz(km/sa):' ]);
    son_hiz(n) = input([ num2str(n,'%d') '.tren için son hız
giriniz(km/sa):' ]);
    tr_bos_kutle(n) = input([ num2str(n,'%d') '.trenin boş kütleini
giriniz(t):' ]);
    yolcu_yuk_kutle(n) = input([ num2str(n,'%d') '.trenin yolcu ve yük
kütlesini giriniz(t):' ]);
end

hat1_ts = 0;
hat2_ts = 0;
t_ani_tren_sayisi_hat1 = 0;
t_ani_tren_sayisi_hat2 = 0;

```

```

for z=1:1:ts
    tr_t_kutle(z) = (tr_bos_kutle(z) * (1 + 0.05)) + yolcu_yuk_kutle(z);
    if hat(z) == 1
        hat1_ts = hat1_ts + 1;
        x_1(hat1_ts) = z; %Hat1 tren sırasını tutar.
    elseif hat(z) == 2
        hat2_ts = hat2_ts + 1;
        x_2(hat2_ts) = z;
    end
end

if hat1_ts > 0
    [sz1_1,sz1_2] = size(x_1); %Hat1'deki tren sayısını bulmak için matrisin
    boyutu alınır.
end

if hat2_ts > 0
    [sz2_1,sz2_2] = size(x_2);
end

%R' * cos a + X' * sin a ( Sabit değer )
S_alfa = acosd(0.999); %yük faz açısı
U_beta = 0; %yük gerilimi faz açısı
I_teta= -(S_alfa - U_beta); %yük akımı faz açısı
b = (0.1162177179 * cosd(S_alfa)) + (0.3193055556 * sind(S_alfa)) ;

t = -0.5;

for k=1:1:3600 %döngünün ilk tren katener hat besleme bölgesini terk
    edesiye dek olması için 3600 s alındı.

        t = t + 0.5 ; %zamanı tutan değişken, k tamsayı olacağı için
        yapıldı.

        hat1_ts = 0;
        hat2_ts = 0;
        t_ani_tren_sayisi_hat1 = 0 ;
        t_ani_tren_sayisi_hat2 = 0 ;

```

```

if t == 0
    trafo_sekonder_gerilimi(k,1) = primer_gerilimi / (154000 / 26125) ;
else
    trafo_sekonder_gerilimi(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(1,1) - (
Itr_T(k-1,1) * ((0.6203 * cosd(S_alfa)) + (3.7765 * sind(S_alfa)))) ;
    end

for n=1:1:ts

    if hat(n) == 1

        hat1_ts = hat1_ts + 1;

        if t >= baslangic_zamani(n)

            t_ani_tren_sayisi_hat1 = t_ani_tren_sayisi_hat1 + 1 ;

            %ilk hız
            if t == baslangic_zamani(n)
                Vi_1(k,hat1_ts) = ilk_hiz(n);
            else
                Vi_1(k,hat1_ts) = Vs_1(k-1,hat1_ts);
            end

            %ilk-son konum
            if t == baslangic_zamani(n)
                di_1(k,hat1_ts) = hat1_bas_konumu ;
            else
                di_1(k,hat1_ts) = ds_1(k-1,hat1_ts);
            end

            %eğim Hat1
            if hat2_bas_konumu <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
330812.603
                s_1(k,hat1_ts) = -0.716218607768 ;
            elseif 330812.603 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
331030.716
                s_1(k,hat1_ts) = -0.715225594073;

```

```

elseif 331030.716 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
331248.828
    s_1(k,hat1_ts) = 1.462551349765;
elseif 331248.828 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
332362.747
    s_1(k,hat1_ts) = 1.465097551976;
elseif 332362.747 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
332530.466
    s_1(k,hat1_ts) = 1.466739009892;
elseif 332530.466 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
332698.184
    s_1(k,hat1_ts) = -2.730774275868;
elseif 332698.184 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
333327.293
    s_1(k,hat1_ts) = -2.727667224599;
elseif 333327.293 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
333530.078
    s_1(k,hat1_ts) = -2.727026160712;
elseif 333530.078 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
333732.862
    s_1(k,hat1_ts) = -0.700252485403;
elseif 333732.862 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
339936.892
    s_1(k,hat1_ts) = -0.700190037766;
elseif 339936.892 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
340028.168
    s_1(k,hat1_ts) = -0.701170077566;
elseif 340028.168 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
340119.443
    s_1(k,hat1_ts) = -1.062722541769;
elseif 340119.443 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
341918.157
    s_1(k,hat1_ts) = -1.065205474578;
elseif 341918.157 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
342027.597
    s_1(k,hat1_ts) = -1.069078947368;
elseif 342027.597 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
342137.036
    s_1(k,hat1_ts) = -0.338087884575;

```

```

elseif 342137.036 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
343886.731
    s_1(k,hat1_ts) = -0.335487042027;
elseif 343886.731 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
344023.518
    s_1(k,hat1_ts) = -0.336289267255;
elseif 344023.518 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
344160.304
    s_1(k,hat1_ts) = -0.884593452547;
elseif 344160.304 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
346057.462
    s_1(k,hat1_ts)= -0.882899579265;
elseif 346057.462 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
346222.045
    s_1(k,hat1_ts)= -0.881014442561;
elseif 346222.045 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
346386.627
    s_1(k,hat1_ts)= -0.473927890049;
elseif 346386.627 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
348690.358
    s_1(k,hat1_ts)= -0.471409205328;
elseif 348690.358 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
349221.633
    s_1(k,hat1_ts)= -0.470566091008;
elseif 349221.633 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
349752.907
    s_1(k,hat1_ts)= 3.463372948798;
elseif 349752.907 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
351727.148
    s_1(k,hat1_ts)= 3.464116083092;
elseif 351727.148 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
351860.51
    s_1(k,hat1_ts)= 3.464255185135;
elseif 351860.51 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
351993.871
    s_1(k,hat1_ts)= -3.201835619110;
elseif 351993.871 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
352792.376
    s_1(k,hat1_ts)= -3.204738855737;

```

```

elseif 352792.376 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
352918.845
    s_1(k,hat1_ts)= -3.202365797152;
elseif 352918.845 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
353045.313
    s_1(k,hat1_ts)= -0.6721067779999;
elseif 353045.313 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
354547.813
    s_1(k,hat1_ts)= -0.674875207987;
elseif 354547.813 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
354678.135
    s_1(k,hat1_ts)= -0.675250533294;
elseif 354678.135 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
354808.456
    s_1(k,hat1_ts)= -9.361499681556;
elseif 354808.456 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
355061.289
    s_1(k,hat1_ts)= -9.361910826514;
elseif 355061.289 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
355207.566
    s_1(k,hat1_ts)= -9.365792298174;
elseif 355207.566 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
355353.842
    s_1(k,hat1_ts)= -2.050917443737;
elseif 355353.842 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <=
hat1_bas_konumu
    s_1(k,hat1_ts)= -2.048337658658;
else
    s_1(k,hat1_ts) = 0;
end

%rampa direnci
Rr_1(k,hat1_ts) = tr_t_kutle(n) * 9.81 * s_1(k,hat1_ts) ;

%tren direnci
R_1(k,hat1_ts) = (0.571 * tr_t_kutle(n) * 9.81) + (29 *
Vi_1(k,hat1_ts)) + (0.50926 * Vi_1(k,hat1_ts)^2) ;

%ivme
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)

```



```

%ivme hızlanırken
if 0<= Vi_1(k,hatl_ts) && Vi_1(k,hatl_ts)<=106.7
    TE_1(k,hatl_ts) = 300000 - ((30000 / 106.7) *
Vi_1(k,hatl_ts));
    elseif 106.7<Vi_1(k,hatl_ts) && Vi_1(k,hatl_ts)<=300
        TE_1(k,hatl_ts) = (8000 * 367 * 9.81 ) / Vi_1(k,hatl_ts); %
%100 cer kuvveti alınmıştır.
    end
    a_1(k,hatl_ts) = ( TE_1(k,hatl_ts) - R_1(k,hatl_ts) -
Rr_1(k,hatl_ts) ) / ( 1000 * tr_t_kutle(n) ) ;
    else
        %ivme yavaşlarken
        if Vi_1(k,hatl_ts) <= 5
            BE_1(k,hatl_ts) = 299000/5 * Vi_1(k,hatl_ts);
        elseif 5< Vi_1(k,hatl_ts) && Vi_1(k,hatl_ts) < 109.3
            BE_1(k,hatl_ts) = 299000 - ((29000/104.3) *
Vi_1(k,hatl_ts));
        elseif 109.3<= Vi_1(k,hatl_ts) && Vi_1(k,hatl_ts) <= 300
            BE_1(k,hatl_ts) = (8200 * 367 * 9.81) / Vi_1(k,hatl_ts); %
%100 fren kuvveti alınmıştır.
        end
        a_1(k,hatl_ts) = ( -BE_1(k,hatl_ts) - R_1(k,hatl_ts) -
Rr_1(k,hatl_ts) ) / ( 1000 * tr_t_kutle(n) ) ;
    end

%son hız
Vs_1(k,hatl_ts) = ( (Vi_1(k,hatl_ts) / 3.6) + (a_1(k,hatl_ts) * 0.5
)) * 3.6 ;
    if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
        if Vs_1(k,hatl_ts) >= son_hiz(n)
            Vs_1(k,hatl_ts) = son_hiz(n);
        end
    else
        if Vs_1(k,hatl_ts) <= son_hiz(n)
            Vs_1(k,hatl_ts) = son_hiz(n);
        end
    end

end

%ivme

```

```

if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_1(k,hat1_ts) >= son_hiz(n)
        a_1(k,hat1_ts) = 0;
    end
else
    if Vs_1(k,hat1_ts) <= son_hiz(n)
        a_1(k,hat1_ts) = 0;
    end
end

%net kuvvet
Fnet_1(k,hat1_ts) = ( 1000 * tr_t_kutle(n)) * a_1(k,hat1_ts) ;

%son konum
ds_1(k,hat1_ts) = di_1(k,hat1_ts) -((( Vi_1(k,hat1_ts) / 3.6) * 0.5)
+ (0.5 * a_1(k,hat1_ts) * (0.5)^2)) ;

%cer kuvveti hızlanırken !
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_1(k,hat1_ts) >= son_hiz(n)
        if(TE_1(k,hat1_ts) >= R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts) )
            TE_1(k,hat1_ts) = R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts);
        %sadece dirençleri yener.
    end
else
        TE_1(k,hat1_ts) = R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts) + (1000 *
tr_t_kutle(n) * a_1(k,hat1_ts)) ;
    end
else
        %cer kuvveti yavaşlarken !
        if Vs_1(k,hat1_ts) <= son_hiz(n)
            TE_1(k,hat1_ts) = R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts); %sadece
dirençleri yener.
            BE_1(k,hat1_ts) = 0 ;
        else
            TE_1(k,hat1_ts) = 0 ;
            BE_1(k,hat1_ts) = R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts) + (1000 *
tr_t_kutle(n) * a_1(k,hat1_ts)) ;
        end
    end
end

```

```

end

end

%cer aktif gücü
if Vs_1(k,hatl_ts) <= son_hiz(n) && TE_1(k,hatl_ts) > 0
    Pcer_1(k,hatl_ts) = TE_1(k,hatl_ts) * Vi_1(k,hatl_ts) / (367 *
9.81); %hızlanırken güç çeker.
else
    Pcer_1(k,hatl_ts) = 0; %yavaşlarken ve TE<=0 ise güç çekmez.
end

%Tren Aktif Toplam Gücü
Ptr_1(k,hatl_ts) = Pcer_1(k,hatl_ts) + Pk ;

%Tren Reaktif Toplam Gücü
Qtr_1(k,hatl_ts) = Ptr_1(k,hatl_ts) * tand(S_alfa) ;

%Tren Toplam Gücü
Str_1(k,hatl_ts) = Ptr_1(k,hatl_ts) / cosd(S_alfa) ;

if szl_2 >= 1 && t == baslangic_zamani(x_1(1)) %Hat1'de tren varsa
    Itr_1(k,hatl_ts) = 0;
    delta_U_1(k,hatl_ts) = 0;
    PKH_1(k,1) = 0;
    PTM_1(k,1) = 0;
    Itr_T_1(k,1) = 0;
elseif ( szl_2 == 1 && baslangic_zamani(x_1(1)) < t ) || ( szl_2 >1
&& baslangic_zamani(x_1(1)) < t && t <= baslangic_zamani(x_1(2)) ) %sefer
aralığı
    if hatl_ts == 1
        Itr_1(k,hatl_ts) = Str_1(k,hatl_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hatl_ts) ) / 1000 );
        delta_U_1(k,hatl_ts) = ( ( besleme_hatti_mesafesi +
hatl_bas_konumu - di_1(k,hatl_ts) ) / 1000 ) * Itr_1(k,hatl_ts) * b ;
        PKH_1(k,1) = ( Itr_1(k,hatl_ts)^2 * 0.1162177179 * ( (
besleme_hatti_mesafesi + hatl_bas_konumu - di_1(k,hatl_ts) ) / 1000 ) ) /
1000 ;
        PTM_1(k,1) = Ptr_1(k,hatl_ts) + PKH_1(k,1);

```

```

        Itr_T_1(k,1) = Itr_1(k,hat1_ts);
    else
        Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
        delta_U_1(k,hat1_ts) = 0;
    end

    elseif ( sz1_2 == 2 && baslangic_zamani(x_1(2)) < t ) || ( sz1_2 >2
&& baslangic_zamani(x_1(2)) < t && t <= baslangic_zamani(x_1(3)))
        if hat1_ts == 1
            Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts) ) / 1000 );
            elseif hat1_ts == 2
                Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
                delta_U_1(k,hat1_ts-1) = ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-1) * b )
+ ((( besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000
) * Itr_1(k,hat1_ts) * b ) ;
                delta_U_1(k,hat1_ts) = (( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-1) +
Itr_1(k,hat1_ts)) * b ;
                PKH_1(k,1) = (( Itr_1(k,hat1_ts-1)^2 * 0.1162177179 * ((
di_1(k,hat1_ts) - di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000 ) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-1) +
Itr_1(k,hat1_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000))) /1000;
                PTM_1(k,1) = Ptr_1(k,hat1_ts-1) + Ptr_1(k,hat1_ts) +
PKH_1(k,1);
                Itr_T_1(k,1) = Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts);
            else
                Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
                delta_U_1(k,hat1_ts)=0;
            end

            elseif ( sz1_2 == 3 && baslangic_zamani(x_1(3)) < t ) || ( sz1_2 >3
&& baslangic_zamani(x_1(3)) < t && t <= baslangic_zamani(x_1(4)))
                if hat1_ts == 1
                    Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts) ) / 1000 );
                    elseif hat1_ts == 2
                        Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
                        elseif hat1_ts == 3

```

```

Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
delta_U_1(k,hat1_ts-2) = ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts-2)) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-2) * b )
+ ((( besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts-1)) /
1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-1) * b ) + ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts) * b ) ;
delta_U_1(k,hat1_ts-1) = ( ( di_1(k,hat1_ts) -
di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1))
* b + (( besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) /
1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts)) *
b ;

delta_U_1(k,hat1_ts) = (( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-2) +
Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts)) * b ;

PKH_1(k,1) = (( Itr_1(k,hat1_ts-2)^2 * 0.1162177179 * ((
di_1(k,hat1_ts-1) - di_1(k,hat1_ts-2)) / 1000) ) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-2)
+ Itr_1(k,hat1_ts-1)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_1(k,hat1_ts) -
di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000)) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1)
+ Itr_1(k,hat1_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000 ))) /1000;

PTM_1(k,1) = Ptr_1(k,hat1_ts-2) + Ptr_1(k,hat1_ts-1) +
Ptr_1(k,hat1_ts) + PKH_1(k,1);

Itr_T_1(k,1) = Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1) +
Itr_1(k,hat1_ts);
else
Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
delta_U_1(k,hat1_ts)=0;
end
elseif szl_2 >= 4 && t > baslangic_zamani(x_1(4))
if hat1_ts == 1
Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts) ) / 1000 );
elseif hat1_ts == 2
Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
elseif hat1_ts ==3
Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
elseif hat1_ts ==4

```

```

Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
delta_U_1(k,hat1_ts-3) = ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-3) * b )
+ ((( besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts-2)) /
1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-2) * b ) + ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-1) * b )
+ ((( besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000
) * Itr_1(k,hat1_ts) * b ) ;
delta_U_1(k,hat1_ts-2) = ((( di_1(k,hat1_ts-1) -
di_1(k,hat1_ts-2)) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2))
* b ) + (( ( di_1(k,hat1_ts) - di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000 ) * (
Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1)) * b ) + (((
besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000 ) *
(Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1)
+Itr_1(k,hat1_ts)) * b ) ;
delta_U_1(k,hat1_ts-1) = ((( di_1(k,hat1_ts) - di_1(k,hat1_ts-
1)) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2) +
Itr_1(k,hat1_ts-1)) * b ) + ((( besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu
- di_1(k,hat1_ts)) / 1000 ) * (Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2) +
Itr_1(k,hat1_ts-1) +Itr_1(k,hat1_ts)) * b ) ;
delta_U_1(k,hat1_ts) = ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000 ) * (Itr_1(k,hat1_ts-3) +
Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1) +Itr_1(k,hat1_ts)) * b ) ;
PKH_1(k,1) = (( Itr_1(k,hat1_ts-3)^2 * 0.1162177179 * ((
di_1(k,hat1_ts-2) - di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000) ) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-3)
+ Itr_1(k,hat1_ts-2)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_1(k,hat1_ts-1) -
di_1(k,hat1_ts-2)) / 1000)) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2)
+ Itr_1(k,hat1_ts-1)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_1(k,hat1_ts) -
di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000 )) + (( Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2)
+ Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts)) ^2 * 0.1162177179 * ((
besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_1(k,hat1_ts)) / 1000 )))
/1000;
PTM_1(k,1) = Ptr_1(k,hat1_ts-3) + Ptr_1(k,hat1_ts-2) +
Ptr_1(k,hat1_ts-1) + Ptr_1(k,hat1_ts) + PKH_1(k,1);
Itr_T_1(k,1) = Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2) +
Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts);
else
Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
delta_U_1(k,hat1_ts)=0;

```

```

        end
    else
        Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
        delta_U_1(k,hat1_ts) = 0;
        PKH_1(k,1) = 0;
        PTM_1(k,1) = 0;
        Itr_T_1(k,1) = 0;
    end%if t == 0

end%if t >= baslangic_zamani(n)

%Hat2 hesaplamaları
elseif hat(n)==2 %if hat(n) == 1

    hat2_ts = hat2_ts + 1;

    if t >= baslangic_zamani(n)

        t_ani_tren_sayisi_hat2 = t_ani_tren_sayisi_hat2 + 1 ;

        %ilk hız
        if t == baslangic_zamani(n)
            Vi_2(k,hat2_ts) = ilk_hiz(n);
        else
            Vi_2(k,hat2_ts) = Vs_2(k-1,hat2_ts);
        end

        %ilk-son konum
        if t == baslangic_zamani(n)
            di_2(k,hat2_ts) = hat2_bas_konumu ;
        else
            di_2(k,hat2_ts) = ds_2(k-1,hat2_ts);
        end

        %eğim Hat2
        if hat2_bas_konumu <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
330817.085
            s_2(k,hat2_ts) = -0.716166429919;

```

```

elseif 330817.085 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
331035.2
    s_2(k,hat2_ts) = -0.715219035830;
elseif 331035.2 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
331253.314
    s_2(k,hat2_ts) = 1.467122697305;
elseif 331253.314 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
332367.085
    s_2(k,hat2_ts) = 1.464394386279;
elseif 332367.085 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
332534.814
    s_2(k,hat2_ts) = 1.466651562938;
elseif 332534.814 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
332702.542
    s_2(k,hat2_ts) = -2.730611466184;
elseif 332702.542 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
333331.605
    s_2(k,hat2_ts) = -2.727866684259;
elseif 333331.605 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
333534.386
    s_2(k,hat2_ts) = -2.727079953250;
elseif 333534.386 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
333737.166
    s_2(k,hat2_ts) = -0.700266298451;
elseif 333737.166 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
339939.833
    s_2(k,hat2_ts) = -0.700343900454;
elseif 339939.833 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
340031.071
    s_2(k,hat2_ts) = -0.701462110085;
elseif 340031.071 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
340122.308
    s_2(k,hat2_ts) = -1.063165163256;
elseif 340122.308 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
341921.045
    s_2(k,hat2_ts) = -1.065191854062;
elseif 341921.045 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
342030.5
    s_2(k,hat2_ts) = -1.068932437988;

```



```

elseif 342030.5 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
342139.954
    s_2(k,hat2_ts) = -0.338041551702;
elseif 342139.954 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
343890.179
    s_2(k,hat2_ts) = -0.335385450442;
elseif 343890.179 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
344026.988
    s_2(k,hat2_ts) = -0.336235189205;
elseif 344026.988 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
344163.796
    s_2(k,hat2_ts) = -0.884451201685;
elseif 344163.796 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
346060.917
    s_2(k,hat2_ts) = -0.882916798665;
elseif 346060.917 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
346225.533
    s_2(k,hat2_ts) = -0.880837828644;
elseif 346225.533 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
346390.148
    s_2(k,hat2_ts) = -0.473832882787;
elseif 346390.148 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
348692.285
    s_2(k,hat2_ts) = -0.471301230118;
elseif 348692.285 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
349223.621
    s_2(k,hat2_ts) = -0.470512067694;
elseif 349223.621 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
349754.956
    s_2(k,hat2_ts) = 3.464857387524;
elseif 349754.956 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
351729.027
    s_2(k,hat2_ts) = 3.464414400495;
elseif 351729.027 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
351862.384
    s_2(k,hat2_ts) = 3.464385071649;
elseif 351862.384 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
351995.74
    s_2(k,hat2_ts) = -3.201955667537;

```

```

elseif 351995.74 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
352795.139
    s_2(k,hat2_ts) = -3.203656747131;
elseif 352795.139 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
352921.597
    s_2(k,hat2_ts) = -3.202644356229;
elseif 352921.597 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
353048.054
    s_2(k,hat2_ts) = -0.672165241940;
elseif 353048.054 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
354552.09
    s_2(k,hat2_ts) = -0.674185990229;
elseif 354552.09 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
354682.303
    s_2(k,hat2_ts) = -0.675815778762;
elseif 354682.303 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
354812.515
    s_2(k,hat2_ts) = -9.353976592020;
elseif 354812.515 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
355066.053
    s_2(k,hat2_ts) = -9.355599555096;
elseif 355066.053 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
355212.177
    s_2(k,hat2_ts) = -9.355068298157;
elseif 355212.177 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
355358.3
    s_2(k,hat2_ts) = -2.046221334082;
elseif 355358.3 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <=
hat1_bas_konumu
    s_2(k,hat2_ts) = -2.048727232525;
else
    s_2(k,hat2_ts) = 0;
end

%rampa direnci
Rr_2(k,hat2_ts) = tr_t_kutle(n) * 9.81 * s_2(k,hat2_ts) ;

%tren direnci
R_2(k,hat2_ts) = (0.571 * tr_t_kutle(n) * 9.81) + (29 *
Vi_2(k,hat2_ts)) + (0.50926 * Vi_2(k,hat2_ts)^2) ;

```

```

%ivme
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)

    %ivme hızlanırken
    if 0<= Vi_2(k,hat2_ts) && Vi_2(k,hat2_ts)<=106.7
        TE_2(k,hat2_ts) = 300000 - ((30000 / 106.7) *
Vi_2(k,hat2_ts));
    elseif 106.7<Vi_2(k,hat2_ts) && Vi_2(k,hat2_ts)<=300
        TE_2(k,hat2_ts) = (8000 * 367 * 9.81 ) / Vi_2(k,hat2_ts); %
%100 cer kuvveti alınmıştır.
    end
        a_2(k,hat2_ts) = ( TE_2(k,hat2_ts) - R_2(k,hat2_ts) -
Rr_2(k,hat2_ts) ) / ( 1000 * tr_t_kutle(n) ) ;
    else
        %ivme yavaşlarken
        if Vi_2(k,hat2_ts) <= 5
            BE_2(k,hat2_ts) = 299000/5 * Vi_2(k,hat2_ts);
        elseif 5< Vi_2(k,hat2_ts) && Vi_2(k,hat2_ts) < 109.3
            BE_2(k,hat2_ts) = 299000 - ((29000/104.3) *
Vi_2(k,hat2_ts));
        elseif 109.3<= Vi_2(k,hat2_ts) && Vi_2(k,hat2_ts) <= 300
            BE_2(k,hat2_ts) = 8200 * 367 * 9.81 / Vi_2(k,hat2_ts);
        end
        a_2(k,hat2_ts) = ( -BE_2(k,hat2_ts) - R_2(k,hat2_ts) -
Rr_2(k,hat2_ts)) / ( 1000 * tr_t_kutle(n));
    end

%son hız
Vs_2(k,hat2_ts) = ( (Vi_2(k,hat2_ts) / 3.6) + (a_2(k,hat2_ts) * 0.5
)) * 3.6 ;
    if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
        if Vs_2(k,hat2_ts) >= son_hiz(n)
            Vs_2(k,hat2_ts) = son_hiz(n);
        end
    else
        if Vs_2(k,hat2_ts) <= son_hiz(n)
            Vs_2(k,hat2_ts) = son_hiz(n);
        end
    end
end

```

```

%ivme
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_2(k,hat2_ts) >= son_hiz(n)
        a_2(k,hat2_ts) = 0;
    end
else
    if Vs_2(k,hat2_ts) <= son_hiz(n)
        a_2(k,hat2_ts) = 0;
    end
end

%net kuvvet
Fnet_2(k,hat2_ts) = ( 1000 * tr_t_kutle(n)) * a_2(k,hat2_ts) ;

%son konum
ds_2(k,hat2_ts) = di_2(k,hat2_ts) + ((( Vi_2(k,hat2_ts) / 3.6) *
0.5) + (0.5 * a_2(k,hat2_ts) * (0.5)^2)) ;

%cer kuvveti hızlanırken !
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_2(k,hat2_ts) >= son_hiz(n)
        if (TE_2(k,hat2_ts) >= R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts) )
            TE_2(k,hat2_ts) = R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts);
        %sadece dirençleri yener.
    end
else
    TE_2(k,hat2_ts) = R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts) + (1000 *
tr_t_kutle(n) * a_2(k,hat2_ts)) ;
end
else
    %cer kuvveti yavaşlarken !
    if Vs_2(k,hat2_ts) <= son_hiz(n)
        TE_2(k,hat2_ts) = R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts); %sadece
dirençleri yener.
        BE_2(k,hat2_ts) = 0 ;
    else
        TE_2(k,hat2_ts) = 0;
    end
end

```

```

        BE_2(k,hat2_ts) = R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts) + (1000 *
tr_t_kutle(n) * a_2(k,hat2_ts)) ;
        end

end

%cer aktif gücü
if Vs_2(k,hat2_ts) <= son_hiz(n) && TE_2(k,hat2_ts) > 0
    Pcer_2(k,hat2_ts) = TE_2(k,hat2_ts) * Vi_2(k,hat2_ts) / (367 *
9.81); %hızlanırken güç çeker.
else
    Pcer_2(k,hat2_ts) = 0; %yavaşlarken güç çekmez.
end

%Tren Toplam Aktif Gücü
Ptr_2(k,hat2_ts) = Pcer_2(k,hat2_ts) + Pk ;

%Tren Reaktif Toplam Gücü
Qtr_2(k,hat2_ts) = Ptr_2(k,hat2_ts) * tand(S_alfa) ;

%Tren Görünür Gücü
Str_2(k,hat2_ts) = Ptr_2(k,hat2_ts) / cosd(S_alfa) ;

if sz2_2 >= 1 && t == baslangic_zamani(x_2(1))
    Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
    delta_U_2(k,hat2_ts) = 0;
    PKH_2(k,1) = 0;
    PTM_2(k,1) = 0;
    hat_sonu_gerilimi_2(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_2( k,hat2_ts ) ;
    Itr_T_2(k,1) = 0;
elseif ( sz2_2 == 1 && baslangic_zamani(x_2(1)) < t) || ( sz2_2 >1
&& baslangic_zamani(x_2(1)) < t && t <= baslangic_zamani(x_2(2))) %sefer
aralığı
    if hat2_ts == 1
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts) ) / 1000 );
        delta_U_2(k,hat2_ts) = (( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * Itr_2(k,hat2_ts) * b ;

```

```

        PKH_2(k,1) = ( Itr_2(k,hat2_ts)^2 * 0.1162177179 * ((
besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts)) / 1000 )) /
1000 ;

        PTM_2(k,1) = Ptr_2(k,hat2_ts) + PKH_2(k,1);
        hat_sonu_gerilimi_2(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_2( k,hat2_ts) ;
        Itr_T_2(k,1) = Itr_2(k,hat2_ts);
    else
        Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
        delta_U_2(k,hat2_ts) = 0;
    end

elseif ( sz2_2 == 2 && baslangic_zamani(x_2(2)) < t ) || ( sz2_2 >2
&& baslangic_zamani(x_2(2)) < t && t <= baslangic_zamani(x_2(3)))
    if hat2_ts == 1
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts) ) / 1000 );
    elseif hat2_ts == 2
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
        delta_U_2(k,hat2_ts-1) = ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-1) +
Itr_2(k,hat2_ts) ) * b ) ;
        delta_U_2(k,hat2_ts) = ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000 ) * Itr_2(k,hat2_ts-1) * b)
+ ((( besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts)) / 1000
) * Itr_2(k,hat2_ts) * b) ;
        PKH_2(k,1) = ((( Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts) ) ^2 *
0.1162177179 * (( besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu -
di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000) ) + ( Itr_2(k,hat2_ts) ^2 * 0.1162177179 * ((
di_2(k,hat2_ts-1) - di_2(k,hat2_ts) ) / 1000))) /1000;
        PTM_2(k,1) = Ptr_2(k,hat2_ts-1) + Ptr_2(k,hat2_ts) +
PKH_2(k,1);
        hat_sonu_gerilimi_2(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_2( k,hat2_ts) ;
        Itr_T_2(k,1) = Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts);
    else
        Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
        delta_U_2(k,hat2_ts)=0;
    end
end

```

```

elseif ( sz2_2 == 3 && baslangic_zamani(x_2(3)) < t || ( sz2_2 >3
&& baslangic_zamani(x_2(3)) < t && t <= baslangic_zamani(x_2(4)))
    if hat2_ts == 1
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts) ) / 1000 );
        elseif hat2_ts == 2
            Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
            elseif hat2_ts == 3
                Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
                delta_U_2(k,hat2_ts-2) = ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts-2)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-2) +
Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts)) * b ) ;
                delta_U_2(k,hat2_ts-1) = (( di_2(k,hat2_ts-2) -
di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts)) *
b + delta_U_2(k,hat2_ts-2) ;
                delta_U_2(k,hat2_ts) = ((( di_2(k,hat2_ts-1) -
di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * Itr_2(k,hat2_ts) * b ) +
delta_U_2(k,hat2_ts-1) ;
                PKH_2(k,1) = (( Itr_2(k,hat2_ts)^2 * 0.1162177179 * ((
di_2(k,hat2_ts-1) - di_2(k,hat2_ts)) / 1000) ) + ( ( Itr_2(k,hat2_ts-1) +
Itr_2(k,hat2_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_2(k,hat2_ts-2) -
di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000)) + ( ( Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1)
+ Itr_2(k,hat2_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts-2)) / 1000 ))) /1000;
                PTM_2(k,1) = Ptr_2(k,hat2_ts-2) + Ptr_2(k,hat2_ts-1) +
Ptr_2(k,hat2_ts) + PKH_2(k,1);
                hat_sonu_gerilimi_2(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_2(k,hat2_ts) ;
                Itr_T_2(k,1) = Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1) +
Itr_2(k,hat2_ts);
            else
                Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
                delta_U_2(k,hat2_ts)=0;
            end
        elseif sz2_2 >= 4 && t > baslangic_zamani(x_2(4))
            if hat2_ts == 1
                Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts) ) / 1000 );

```

```

elseif hat2_ts == 2
    Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
    elseif hat2_ts ==3
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
    elseif hat2_ts ==4
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
        delta_U_2(k,hat2_ts-3) = ((( besleme_hatti_mesafesi +
hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts-3)) / 1000 ) * (Itr_2(k,hat2_ts-3) +
Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1) +Itr_2(k,hat2_ts)) * b ) ;
        delta_U_2(k,hat2_ts-2) = ((( di_2(k,hat2_ts-3) -
di_2(k,hat2_ts-2)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1)
+ Itr_2(k,hat2_ts)) * b ) + delta_U_2(k,hat2_ts-3);
        delta_U_2(k,hat2_ts-1) = ((( di_2(k,hat2_ts-2) -
di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts)) *
b ) + delta_U_2(k,hat2_ts-2) ;
        delta_U_2(k,hat2_ts) = ((( di_2(k,hat2_ts-1) -
di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * Itr_2(k,hat2_ts) * b ) +
delta_U_2(k,hat2_ts-1) ;
        PKH_2(k,1) = (( Itr_2(k,hat2_ts)^2 * 0.1162177179 * ((
di_2(k,hat2_ts-1) - di_2(k,hat2_ts)) / 1000) ) + ( ( Itr_2(k,hat2_ts-1) +
Itr_2(k,hat2_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_2(k,hat2_ts-2) -
di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000)) + ( ( Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1)
+ Itr_2(k,hat2_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_2(k,hat2_ts-3) -
di_2(k,hat2_ts-2)) / 1000 )) + (( Itr_2(k,hat2_ts-3) + Itr_2(k,hat2_ts-2)
+ Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts)) ^2 * 0.1162177179 * ((
besleme_hatti_mesafesi + hat1_bas_konumu - di_2(k,hat2_ts-3)) / 1000 )))
/1000;
        PTM_2(k,1) = Ptr_2(k,hat2_ts-3) + Ptr_2(k,hat2_ts-2) +
Ptr_2(k,hat2_ts-1) + Ptr_2(k,hat2_ts) + PKH_2(k,1);
        hat_sonu_gerilimi_2(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_2(k,hat2_ts) ;
        Itr_T_2(k,1) = Itr_2(k,hat2_ts-3) + Itr_2(k,hat2_ts-2) +
Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts);
    else
        Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
        delta_U_2(k,hat2_ts)=0;
    end

```



```

else
    Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
    delta_U_2(k,hat2_ts) = 0;
    PKH_2(k,1) = 0;
    PTM_2(k,1) = 0;
    hat_sonu_gerilimi_2(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_2( k,hat2_ts ) ;
    Itr_T_2(k,1) = 0;
end%if t == 0

end%if t >= baslangic_zamani(n)

end%if hat(n) == 1

end%for n=1:1:ts

if t_ani_tren_sayisi_hat1 > 0 && t_ani_tren_sayisi_hat2 > 0
    PTM(k,1) = PTM_1(k,1) + PTM_2(k,1);
    Itr_T(k,1) = Itr_T_1(k,1) + Itr_T_2(k,1) ;
elseif t_ani_tren_sayisi_hat1 > 0 && t_ani_tren_sayisi_hat2 == 0
    PTM(k,1) = PTM_1(k,1);
    Itr_T(k,1) = Itr_T_1(k,1) ;
elseif t_ani_tren_sayisi_hat1 == 0 && t_ani_tren_sayisi_hat2 > 0
    PTM(k,1) = PTM_2(k,1);
    Itr_T(k,1) = Itr_T_2(k,1) ;
end

break_hat1 = 0;
if t_ani_tren_sayisi_hat1 > 0

    hat_sonu_gerilimi_1(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(
k,1 ) ;
    max_gerilim_dusumu_yuzde_1 = ((trafo_sekonder_gerilimi(1,1) - min
(hat_sonu_gerilimi_1))*100) / trafo_sekonder_gerilimi(1,1) ;

```

```

if Itr_T_1(k,1) > 964.25
    Itr_T_1_Hata(k,1) = 1;
else
    Itr_T_1_Hata(k,1) = 0;
end

    if hat2_bas_konumu > ds_1(k,1) || ds_1(k,1) > hat1_bas_konumu
        break_hat1 = 1;
    end
end

break_hat2 = 0;
if t_ani_tren_sayisi_hat2 > 0
    max_gerilim_dusumu_yuzde_2 = ((trafo_sekonder_gerilimi(1,1) - min
(hat_sonu_gerilimi_2))*100) / trafo_sekonder_gerilimi(1,1) ;
    if Itr_T_2(k,1) > 964.25
        Itr_T_2_Hata(k,1) = 1;
    else
        Itr_T_2_Hata(k,1) = 0;
    end

    if hat2_bas_konumu > ds_2(k,1) || ds_2(k,1) > hat1_bas_konumu
        break_hat2 = 1;
    end
end

if break_hat1 == 1 || break_hat2 == 1
    break;
end

end %for k=1:1:3600

elseif besleme_bolgesi==2 %besleme_bolgesi sağ tarafta ise;
for n=1:1:ts
    hat(n) = input( [ num2str(n,'%d') '.tren hattını giriniz(1 veya 2):' ]
);
    baslangic_zamani(n) = input( [ num2str(n,'%d') '.tren için başlangıç
zamanı giriniz(s):' ] );

```

```

    ilk_hiz(n) = input([ num2str(n,'%d')  '.tren için ilk hız
    giriniz(km/sa):']);
    son_hiz(n) = input([ num2str(n,'%d')  '.tren için son hız
    giriniz(km/sa):']);
    tr_bos_kutle(n) = input([ num2str(n,'%d')  '.trenin boş kütleini
    giriniz(t):']);
    yolcu_yuk_kutle(n) = input([ num2str(n,'%d')  '.trenin yolcu ve yük
    kütleini giriniz(t):']);
end

    hat1_ts = 0;
    hat2_ts = 0;
    t_ani_tren_sayisi_hat1 = 0;
    t_ani_tren_sayisi_hat2 = 0;

for z=1:1:ts
    tr_t_kutle(z) = (tr_bos_kutle(z) * (1 + 0.05)) + yolcu_yuk_kutle(z);
    if hat(z) == 1
        hat1_ts = hat1_ts + 1;
        x_1(hat1_ts) = z;
    elseif hat(z) == 2
        hat2_ts = hat2_ts + 1;
        x_2(hat2_ts) = z;
    end
end

if hat1_ts > 0
    [sz1_1,sz1_2] = size(x_1);
end

if hat2_ts > 0
    [sz2_1,sz2_2] = size(x_2);
end

    %R' * cos a + X' * sin a ( Sabit değer )
    S_alfa = acosd(0.999);
    U_beta = 0;
    I_teta= -(S_alfa - U_beta);
    b = (0.1162177179 * cosd(S_alfa)) + (0.3193055556 * sind(S_alfa)) ;

```

```

t = -0.5;

for k=1:1:3600

    t = t + 0.5 ;

    hat1_ts = 0;
    hat2_ts = 0;
    t_ani_tren_sayisi_hat1 = 0 ;
    t_ani_tren_sayisi_hat2 = 0 ;

    if t == 0
        trafo_sekonder_gerilimi(k,1) = primer_gerilimi / (154000 / 26125) ;
    else
        trafo_sekonder_gerilimi(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(1,1) - (
Itr_T(k-1,1) * ((0.6203 * cosd(S_alfa)) + (3.7765 * sind(S_alfa)))) ;
    end

    for n=1:1:ts

        if hat(n) == 1

            hat1_ts = hat1_ts + 1;

            if t >= baslangic_zamani(n)

                t_ani_tren_sayisi_hat1 = t_ani_tren_sayisi_hat1 + 1 ;

                %ilk hız
                if t == baslangic_zamani(n)
                    Vi_1(k,hat1_ts) = ilk_hiz(n);
                else
                    Vi_1(k,hat1_ts) = Vs_1(k-1,hat1_ts);
                end

                %ilk-son konum
                if t == baslangic_zamani(n)

```

```

        di_1(k,hat1_ts) = hat2_bas_konumu ;
    else
        di_1(k,hat1_ts) = ds_1(k-1,hat1_ts);
    end

    %eğim Hat1
    if hat1_bas_konumu <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
330812.603
        s_1(k,hat1_ts) = -0.716218607768 ;
    elseif 330812.603 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
331030.716
        s_1(k,hat1_ts) = -0.715225594073;
    elseif 331030.716 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
331248.828
        s_1(k,hat1_ts) = 1.462551349765;
    elseif 331248.828 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
332362.747
        s_1(k,hat1_ts) = 1.465097551976;
    elseif 332362.747 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
332530.466
        s_1(k,hat1_ts) = 1.466739009892;
    elseif 332530.466 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
332698.184
        s_1(k,hat1_ts) = -2.730774275868;
    elseif 332698.184 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
333327.293
        s_1(k,hat1_ts) = -2.727667224599;
    elseif 333327.293 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
333530.078
        s_1(k,hat1_ts) = -2.727026160712;
    elseif 333530.078 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
333732.862
        s_1(k,hat1_ts) = -0.700252485403;
    elseif 333732.862 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
339936.892
        s_1(k,hat1_ts) = -0.700190037766;
    elseif 339936.892 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
340028.168
        s_1(k,hat1_ts) = -0.701170077566;

```

```
elseif 340028.168 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
340119.443
    s_1(k,hat1_ts) = -1.062722541769;
elseif 340119.443 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
341918.157
    s_1(k,hat1_ts) = -1.065205474578;
elseif 341918.157 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
342027.597
    s_1(k,hat1_ts) = -1.069078947368;
elseif 342027.597 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
342137.036
    s_1(k,hat1_ts) = -0.338087884575;
elseif 342137.036 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
343886.731
    s_1(k,hat1_ts) = -0.335487042027;
elseif 343886.731 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
344023.518
    s_1(k,hat1_ts) = -0.336289267255;
elseif 344023.518 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
344160.304
    s_1(k,hat1_ts) = -0.884593452547;
elseif 344160.304 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
346057.462
    s_1(k,hat1_ts)= -0.882899579265;
elseif 346057.462 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
346222.045
    s_1(k,hat1_ts)= -0.881014442561;
elseif 346222.045 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
346386.627
    s_1(k,hat1_ts)= -0.473927890049;
elseif 346386.627 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
348690.358
    s_1(k,hat1_ts)= -0.471409205328;
elseif 348690.358 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
349221.633
    s_1(k,hat1_ts)= -0.470566091008;
elseif 349221.633 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
349752.907
    s_1(k,hat1_ts)= 3.463372948798;
```

```

elseif 349752.907 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
351727.148
    s_1(k,hat1_ts)= 3.464116083092;
elseif 351727.148 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
351860.51
    s_1(k,hat1_ts)= 3.464255185135;
elseif 351860.51 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
351993.871
    s_1(k,hat1_ts)= -3.201835619110;
elseif 351993.871 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
352792.376
    s_1(k,hat1_ts)= -3.204738855737;
elseif 352792.376 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
352918.845
    s_1(k,hat1_ts)= -3.202365797152;
elseif 352918.845 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
353045.313
    s_1(k,hat1_ts)= -0.672106777999;
elseif 353045.313 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
354547.813
    s_1(k,hat1_ts)= -0.674875207987;
elseif 354547.813 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
354678.135
    s_1(k,hat1_ts)= -0.675250533294;
elseif 354678.135 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
354808.456
    s_1(k,hat1_ts)= -9.361499681556;
elseif 354808.456 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
355061.289
    s_1(k,hat1_ts)= -9.361910826514;
elseif 355061.289 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
355207.566
    s_1(k,hat1_ts)= -9.365792298174;
elseif 355207.566 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <
355353.842
    s_1(k,hat1_ts)= -2.050917443737;
elseif 355353.842 <= di_1(k,hat1_ts) && di_1(k,hat1_ts) <=
hat2_bas_konumu
    s_1(k,hat1_ts)= -2.048337658658;
else

```

```

        s_1(k,hat1_ts) = 0;
    end

    %rampa direnci
    Rr_1(k,hat1_ts) = tr_t_kutle(n) * 9.81 * s_1(k,hat1_ts) ;

    %tren direnci
    R_1(k,hat1_ts) = (0.571 * tr_t_kutle(n) * 9.81) + (29 *
Vi_1(k,hat1_ts)) + (0.50926 * Vi_1(k,hat1_ts)^2) ;

    %ivme
    if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)

        %ivme hızlanırken
        if 0<= Vi_1(k,hat1_ts) && Vi_1(k,hat1_ts)<=106.7
            TE_1(k,hat1_ts) = 300000 - ((30000 / 106.7) *
Vi_1(k,hat1_ts));
        elseif 106.7<Vi_1(k,hat1_ts) && Vi_1(k,hat1_ts)<=300
            TE_1(k,hat1_ts) = (8000 * 367 * 9.81) / Vi_1(k,hat1_ts);
        end
        a_1(k,hat1_ts) = ( TE_1(k,hat1_ts) - R_1(k,hat1_ts) -
Rr_1(k,hat1_ts) ) / ( 1000 * tr_t_kutle(n) ) ;
    else
        %ivme yavaşlarken
        if Vi_1(k,hat1_ts) <= 5
            BE_1(k,hat1_ts) = 299000/5 * Vi_1(k,hat1_ts);
        elseif 5< Vi_1(k,hat1_ts) && Vi_1(k,hat1_ts) < 109.3
            BE_1(k,hat1_ts) = 299000 - ((29000/104.3) *
Vi_1(k,hat1_ts));
        elseif 109.3<= Vi_1(k,hat1_ts) && Vi_1(k,hat1_ts) <= 300
            BE_1(k,hat1_ts) = (8200 * 367 * 9.81) / Vi_1(k,hat1_ts);
        end
        a_1(k,hat1_ts) = ( -BE_1(k,hat1_ts) - R_1(k,hat1_ts) -
Rr_1(k,hat1_ts) ) / ( 1000 * tr_t_kutle(n) ) ;
    end

    %son hız
    Vs_1(k,hat1_ts) = ( (Vi_1(k,hat1_ts) / 3.6) + (a_1(k,hat1_ts) * 0.5
)) * 3.6 ;

```



```

if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_1(k,hat1_ts) >= son_hiz(n)
        Vs_1(k,hat1_ts) = son_hiz(n);
    end
else
    if Vs_1(k,hat1_ts) <= son_hiz(n)
        Vs_1(k,hat1_ts) = son_hiz(n);
    end
end

%ivme
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_1(k,hat1_ts) >= son_hiz(n)
        a_1(k,hat1_ts) = 0;
    end
else
    if Vs_1(k,hat1_ts) <= son_hiz(n)
        a_1(k,hat1_ts) = 0;
    end
end

%net kuvvet
Fnet_1(k,hat1_ts) = ( 1000 * tr_t_kutle(n)) * a_1(k,hat1_ts) ;

%son konum
ds_1(k,hat1_ts) = di_1(k,hat1_ts) -((( Vi_1(k,hat1_ts) / 3.6) * 0.5)
+ (0.5 * a_1(k,hat1_ts) * (0.5)^2)) ;

%cer kuvveti hızlanırken !
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_1(k,hat1_ts) >= son_hiz(n)
        if (TE_1(k,hat1_ts) >= R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts) )
            TE_1(k,hat1_ts) = R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts);
        end
    else
        TE_1(k,hat1_ts) = R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts) + (1000 *
tr_t_kutle(n) * a_1(k,hat1_ts)) ;
    end
else

```

```

%cer kuvveti yavaşlarken !
if Vs_1(k,hat1_ts) <= son_hiz(n)
    TE_1(k,hat1_ts) = R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts);
    BE_1(k,hat1_ts) = 0 ;
else
    TE_1(k,hat1_ts) = 0 ;
    BE_1(k,hat1_ts) = R_1(k,hat1_ts) + Rr_1(k,hat1_ts) + (1000 *
tr_t_kutle(n) * a_1(k,hat1_ts)) ;
end

end

%cer aktif gücü
if Vs_1(k,hat1_ts) <= son_hiz(n) && TE_1(k,hat1_ts) > 0
    Pcer_1(k,hat1_ts) = TE_1(k,hat1_ts) * Vi_1(k,hat1_ts) / (367 *
9.81);
else
    Pcer_1(k,hat1_ts) = 0;
end

%Tren Aktif Toplam Gücü
Ptr_1(k,hat1_ts) = Pcer_1(k,hat1_ts) + Pk ;

%Tren Reaktif Toplam Gücü
Qtr_1(k,hat1_ts) = Ptr_1(k,hat1_ts) * tand(S_alfa) ;

%Tren Toplam Gücü
Str_1(k,hat1_ts) = Ptr_1(k,hat1_ts) / cosd(S_alfa) ;

if sz1_2 >= 1 && t == baslangic_zamani(x_1(1))
    Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
    delta_U_1(k,hat1_ts) = 0;
    PKH_1(k,1) = 0;
    PTM_1(k,1) = 0;
    hat_sonu_gerilimi_1(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_1(k,hat1_ts) ;
    Itr_T_1(k,1) = 0;

```

```

elseif ( szl_2 == 1 && baslangic_zamani(x_1(1)) < t ) || ( szl_2 >1
&& baslangic_zamani(x_1(1)) < t && t <= baslangic_zamani(x_1(2)))
    if hatl_ts == 1
        Itr_1(k,hatl_ts) = Str_1(k,hatl_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hatl_ts) ) / 1000 );
        delta_U_1(k,hatl_ts) = (( besleme_hatti_mesafesi -
hatl_bas_konumu + di_1(k,hatl_ts)) / 1000 ) * Itr_1(k,hatl_ts) * b ;
        PKH_1(k,1) = ( Itr_1(k,hatl_ts)^2 * 0.1162177179 * ((
besleme_hatti_mesafesi - hatl_bas_konumu + di_1(k,hatl_ts)) / 1000 ) ) /
1000 ;

        PTM_1(k,1) = Ptr_1(k,hatl_ts) + PKH_1(k,1);
        hat_sonu_gerilimi_1(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_1( k,hatl_ts) ;
        Itr_T_1(k,1) = Itr_1(k,hatl_ts);
    else
        Itr_1(k,hatl_ts) = 0;
        delta_U_1(k,hatl_ts) = 0;
    end

elseif ( szl_2 == 2 && baslangic_zamani(x_1(2)) < t ) || ( szl_2 >2
&& baslangic_zamani(x_1(2)) < t && t <= baslangic_zamani(x_1(3)))
    if hatl_ts == 1
        Itr_1(k,hatl_ts) = Str_1(k,hatl_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hatl_ts) ) / 1000 );
    elseif hatl_ts == 2
        Itr_1(k,hatl_ts) = Str_1(k,hatl_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hatl_ts)) / 1000 );
        delta_U_1(k,hatl_ts-1) = (( besleme_hatti_mesafesi -
hatl_bas_konumu + di_1(k,hatl_ts-1)) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hatl_ts-1) +
Itr_1(k,hatl_ts)) * b ;
        delta_U_1(k,hatl_ts) = ((( besleme_hatti_mesafesi -
hatl_bas_konumu + di_1(k,hatl_ts-1)) / 1000 ) * Itr_1(k,hatl_ts-1) * b )
+ ((( besleme_hatti_mesafesi - hatl_bas_konumu + di_1(k,hatl_ts)) / 1000
) * Itr_1(k,hatl_ts) * b ) ;
        PKH_1(k,1) = (( Itr_1(k,hatl_ts)^2 * 0.1162177179 * ((
di_1(k,hatl_ts) - di_1(k,hatl_ts-1)) / 1000) ) + ( ( Itr_1(k,hatl_ts-1) +
Itr_1(k,hatl_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( besleme_hatti_mesafesi -
hatl_bas_konumu + di_1(k,hatl_ts-1)) / 1000))) /1000;
        PTM_1(k,1) = Ptr_1(k,hatl_ts-1) + Ptr_1(k,hatl_ts) +
PKH_1(k,1);

```

```

        hat_sonu_gerilimi_1(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_1( k,hat1_ts) ;
        Itr_T_1(k,1) = Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts);
    else
        Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
        delta_U_1(k,hat1_ts)=0;
    end
    elseif ( sz1_2 == 3 && baslangic_zamani(x_1(3)) < t) || ( sz1_2 >3
&& baslangic_zamani(x_1(3)) < t && t <= baslangic_zamani(x_1(4)))
        if hat1_ts == 1
            Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts) ) / 1000 );
        elseif hat1_ts == 2
            Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts) ) / 1000 );
        elseif hat1_ts == 3
            Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts) ) / 1000 );
            delta_U_1(k,hat1_ts) = ((( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-2) ) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-2) * b )
+ ((( besleme_hatti_mesafesi - hat1_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-1) ) /
1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-1) * b ) + ((( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts) ) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts) * b ) ;
            delta_U_1(k,hat1_ts-1) = ( ( di_1(k,hat1_ts-1) -
di_1(k,hat1_ts-2) ) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts) ) *
b + ( ( besleme_hatti_mesafesi - hat1_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-2) ) /
1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts) ) *
b ;
            delta_U_1(k,hat1_ts-2) = ( ( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-2) ) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-2) +
Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts) ) * b ;
            PKH_1(k,1) = ( ( Itr_1(k,hat1_ts)^2 * 0.1162177179 * ( (
di_1(k,hat1_ts) - di_1(k,hat1_ts-1) ) / 1000 ) ) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-1) +
Itr_1(k,hat1_ts) ) ^2 * 0.1162177179 * ( ( di_1(k,hat1_ts-1) -
di_1(k,hat1_ts-2) ) / 1000 ) ) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1)
+ Itr_1(k,hat1_ts) ) ^2 * 0.1162177179 * ( ( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-2) ) / 1000 ) ) ) /1000;
            PTM_1(k,1) = Ptr_1(k,hat1_ts-2) + Ptr_1(k,hat1_ts-1) +
Ptr_1(k,hat1_ts) + PKH_1(k,1);

```

```

        hat_sonu_gerilimi_1(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_1( k,hat1_ts) ;
        Itr_T_1(k,1) = Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1) +
Itr_1(k,hat1_ts);
        else
            Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
            delta_U_1(k,hat1_ts)=0;
        end
    elseif szl_2 >= 4 && t > baslangic_zamani(x_1(4))
        if hat1_ts == 1
            Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts) ) / 1000 );
        elseif hat1_ts == 2
            Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
        elseif hat1_ts ==3
            Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
        elseif hat1_ts ==4
            Itr_1(k,hat1_ts) = Str_1(k,hat1_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_1(k-1,hat1_ts)) / 1000 );
            delta_U_1(k,hat1_ts) = ((( besleme_hatti_mesafesi -
hatl_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-3) * b )
+ ((( besleme_hatti_mesafesi - hatl_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-2)) /
1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-2) * b ) + ((( besleme_hatti_mesafesi -
hatl_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000 ) * Itr_1(k,hat1_ts-1) * b )
+ ((( besleme_hatti_mesafesi - hatl_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts)) / 1000
) * Itr_1(k,hat1_ts) * b ) ;
            delta_U_1(k,hat1_ts-1) = ((( di_1(k,hat1_ts-1) -
di_1(k,hat1_ts-2)) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts)) *
b ) + ((( di_1(k,hat1_ts-2) - di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 ) * (
Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts)) * b ) + (((
besleme_hatti_mesafesi - hatl_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 ) *
(Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1)
+Itr_1(k,hat1_ts)) * b ) ;
            delta_U_1(k,hat1_ts-2) = ((( di_1(k,hat1_ts-2) -
di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 ) * ( Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1)
+ Itr_1(k,hat1_ts)) * b ) + ((( besleme_hatti_mesafesi - hatl_bas_konumu
+ di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 ) * (Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2)
+ Itr_1(k,hat1_ts-1) +Itr_1(k,hat1_ts)) * b ) ;

```

```

        delta_U_1(k,hat1_ts-3) = ((( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 ) * (Itr_1(k,hat1_ts-3) +
Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts)) * b )      ;
        PKH_1(k,1) = (( Itr_1(k,hat1_ts)^2 * 0.1162177179 * ((
di_1(k,hat1_ts) - di_1(k,hat1_ts-1)) / 1000) ) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-1) +
Itr_1(k,hat1_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_1(k,hat1_ts-1) -
di_1(k,hat1_ts-2)) / 1000)) + ( ( Itr_1(k,hat1_ts-2) + Itr_1(k,hat1_ts-1)
+ Itr_1(k,hat1_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_1(k,hat1_ts-2) -
di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 )) + (( Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2)
+ Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts)) ^2 * 0.1162177179 * ((
besleme_hatti_mesafesi - hat1_bas_konumu + di_1(k,hat1_ts-3)) / 1000 )))
/1000;
        PTM_1(k,1) = Ptr_1(k,hat1_ts-3) + Ptr_1(k,hat1_ts-2) +
Ptr_1(k,hat1_ts-1) + Ptr_1(k,hat1_ts) + PKH_1(k,1);
        hat_sonu_gerilimi_1(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_1( k,hat1_ts) ;
        Itr_T_1(k,1) = Itr_1(k,hat1_ts-3) + Itr_1(k,hat1_ts-2) +
Itr_1(k,hat1_ts-1) + Itr_1(k,hat1_ts);
        else
            Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
            delta_U_1(k,hat1_ts)=0;
        end
    else
        Itr_1(k,hat1_ts) = 0;
        delta_U_1(k,hat1_ts) = 0;
        PKH_1(k,1) = 0;
        PTM_1(k,1) = 0;
        hat_sonu_gerilimi_1(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) -
delta_U_1( k,hat1_ts) ;
        Itr_T_1(k,1) = 0;
    end%if t == 0

    end%if t >= baslangic_zamani(n)

%HAT2 hesaplamaları
elseif hat(n)==2 %if hat(n) == 1

    hat2_ts = hat2_ts + 1;

```

```

if t >= baslangic_zamani(n)

    t_ani_tren_sayisi_hat2 = t_ani_tren_sayisi_hat2 + 1 ;

%ilk hız
if t == baslangic_zamani(n)
    Vi_2(k,hat2_ts) = ilk_hiz(n);
else
    Vi_2(k,hat2_ts) = Vs_2(k-1,hat2_ts);
end

%ilk-son konum
if t == baslangic_zamani(n)
    di_2(k,hat2_ts) = hat1_bas_konumu ;
else
    di_2(k,hat2_ts) = ds_2(k-1,hat2_ts);
end

%eğim Hat2
if hat1_bas_konumu <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
330817.085
    s_2(k,hat2_ts) = -0.716166429919;
elseif 330817.085 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
331035.2
    s_2(k,hat2_ts) = -0.715219035830;
elseif 331035.2 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
331253.314
    s_2(k,hat2_ts) = 1.467122697305;
elseif 331253.314 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
332367.085
    s_2(k,hat2_ts) = 1.464394386279;
elseif 332367.085 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
332534.814
    s_2(k,hat2_ts) = 1.466651562938;
elseif 332534.814 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
332702.542
    s_2(k,hat2_ts) = -2.730611466184;
elseif 332702.542 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
333331.605

```

```

        s_2(k,hat2_ts) = -2.727866684259;
    elseif 333331.605 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
333534.386
        s_2(k,hat2_ts) = -2.727079953250;
    elseif 333534.386 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
333737.166
        s_2(k,hat2_ts) = -0.700266298451;
    elseif 333737.166 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
339939.833
        s_2(k,hat2_ts) = -0.700343900454;
    elseif 339939.833 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
340031.071
        s_2(k,hat2_ts) = -0.701462110085;
    elseif 340031.071 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
340122.308
        s_2(k,hat2_ts) = -1.063165163256;
    elseif 340122.308 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
341921.045
        s_2(k,hat2_ts) = -1.065191854062;
    elseif 341921.045 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
342030.5
        s_2(k,hat2_ts) = -1.068932437988;
    elseif 342030.5 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
342139.954
        s_2(k,hat2_ts) = -0.338041551702;
    elseif 342139.954 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
343890.179
        s_2(k,hat2_ts) = -0.335385450442;
    elseif 343890.179 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
344026.988
        s_2(k,hat2_ts) = -0.336235189205;
    elseif 344026.988 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
344163.796
        s_2(k,hat2_ts) = -0.884451201685;
    elseif 344163.796 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
346060.917
        s_2(k,hat2_ts) = -0.882916798665;
    elseif 346060.917 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
346225.533
        s_2(k,hat2_ts) = -0.880837828644;

```



```

elseif 346225.533 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
346390.148
    s_2(k,hat2_ts) = -0.473832882787;
elseif 346390.148 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
348692.285
    s_2(k,hat2_ts) = -0.471301230118;
elseif 348692.285 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
349223.621
    s_2(k,hat2_ts) = -0.470512067694;
elseif 349223.621 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
349754.956
    s_2(k,hat2_ts) = 3.464857387524;
elseif 349754.956 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
351729.027
    s_2(k,hat2_ts) = 3.464414400495;
elseif 351729.027 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
351862.384
    s_2(k,hat2_ts) = 3.464385071649;
elseif 351862.384 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
351995.74
    s_2(k,hat2_ts) = -3.201955667537;
elseif 351995.74 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
352795.139
    s_2(k,hat2_ts) = -3.203656747131;
elseif 352795.139 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
352921.597
    s_2(k,hat2_ts) = -3.202644356229;
elseif 352921.597 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
353048.054
    s_2(k,hat2_ts) = -0.672165241940;
elseif 353048.054 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
354552.09
    s_2(k,hat2_ts) = -0.674185990229;
elseif 354552.09 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
354682.303
    s_2(k,hat2_ts) = -0.675815778762;
elseif 354682.303 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
354812.515
    s_2(k,hat2_ts) = -9.353976592020;

```

```

elseif 354812.515 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
355066.053
    s_2(k,hat2_ts) = -9.355599555096;
elseif 355066.053 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
355212.177
    s_2(k,hat2_ts) = -9.355068298157;
elseif 355212.177 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <
355358.3
    s_2(k,hat2_ts) = -2.046221334082;
elseif 355358.3 <= di_2(k,hat2_ts) && di_2(k,hat2_ts) <=
hat2_bas_konumu
    s_2(k,hat2_ts) = -2.048727232525;
else
    s_2(k,hat2_ts) = 0;
end

%rampa direnci
Rr_2(k,hat2_ts) = tr_t_kutle(n) * 9.81 * s_2(k,hat2_ts) ;

%tren direnci
R_2(k,hat2_ts) = (0.571 * tr_t_kutle(n) * 9.81) + (29 *
Vi_2(k,hat2_ts)) + (0.50926 * Vi_2(k,hat2_ts)^2) ;

%ivme
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)

    %ivme hızlanırken
    if 0<= Vi_2(k,hat2_ts) && Vi_2(k,hat2_ts)<=106.7
        TE_2(k,hat2_ts) = 300000 - ((30000 / 106.7) *
Vi_2(k,hat2_ts));
    elseif 106.7<Vi_2(k,hat2_ts) && Vi_2(k,hat2_ts)<=300
        TE_2(k,hat2_ts) = (8000 * 367 * 9.81 ) / Vi_2(k,hat2_ts);
    end
    a_2(k,hat2_ts) = ( TE_2(k,hat2_ts) - R_2(k,hat2_ts) -
Rr_2(k,hat2_ts) ) / ( 1000 * tr_t_kutle(n) ) ;
else
    %ivme yavaşlarken
    if Vi_2(k,hat2_ts) <= 5
        BE_2(k,hat2_ts) = 299000/5 * Vi_2(k,hat2_ts);

```

```

elseif 5 < Vi_2(k,hat2_ts) && Vi_2(k,hat2_ts) < 109.3
    BE_2(k,hat2_ts) = 299000 - ((29000/104.3) *
Vi_2(k,hat2_ts));
elseif 109.3 <= Vi_2(k,hat2_ts) && Vi_2(k,hat2_ts) <= 300
    BE_2(k,hat2_ts) = 8200 * 367 * 9.81 / Vi_2(k,hat2_ts);
end
a_2(k,hat2_ts) = ( -BE_2(k,hat2_ts) - R_2(k,hat2_ts) -
Rr_2(k,hat2_ts)) / ( 1000 * tr_t_kutle(n));
end

%son hiz
Vs_2(k,hat2_ts) = ( (Vi_2(k,hat2_ts) / 3.6) + (a_2(k,hat2_ts) * 0.5
)) * 3.6 ;
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_2(k,hat2_ts) >= son_hiz(n)
        Vs_2(k,hat2_ts) = son_hiz(n);
    end
else
    if Vs_2(k,hat2_ts) <= son_hiz(n)
        Vs_2(k,hat2_ts) = son_hiz(n);
    end
end

%ivme
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_2(k,hat2_ts) >= son_hiz(n)
        a_2(k,hat2_ts) = 0;
    end
else
    if Vs_2(k,hat2_ts) <= son_hiz(n)
        a_2(k,hat2_ts) = 0;
    end
end

%net kuvvet
Fnet_2(k,hat2_ts) = ( 1000 * tr_t_kutle(n)) * a_2(k,hat2_ts) ;

%son konum

```

```

ds_2(k,hat2_ts) = di_2(k,hat2_ts) + ((( Vi_2(k,hat2_ts) / 3.6) *
0.5) + (0.5 * a_2(k,hat2_ts) * (0.5)^2)) ;

%cer kuvveti hızlanırken !
if ilk_hiz(n) <= son_hiz(n)
    if Vs_2(k,hat2_ts) >= son_hiz(n)
        if (TE_2(k,hat2_ts) >= R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts) )
            TE_2(k,hat2_ts) = R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts);
        end
    else
        TE_2(k,hat2_ts) = R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts) + (1000 *
tr_t_kutle(n) * a_2(k,hat2_ts)) ;
    end
else

%cer kuvveti yavaşlarken !
if Vs_2(k,hat2_ts) <= son_hiz(n)
    TE_2(k,hat2_ts) = R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts);
    BE_2(k,hat2_ts) = 0 ;
else
    TE_2(k,hat2_ts) = 0;
    BE_2(k,hat2_ts) = R_2(k,hat2_ts) + Rr_2(k,hat2_ts) + (1000 *
tr_t_kutle(n) * a_2(k,hat2_ts)) ;
end

end

%cer aktif gücü
if Vs_2(k,hat2_ts) <= son_hiz(n) && TE_2(k,hat2_ts) > 0
    Pcer_2(k,hat2_ts) = TE_2(k,hat2_ts) * Vi_2(k,hat2_ts) / (367 *
9.81);
else
    Pcer_2(k,hat2_ts) = 0;
end

%Tren Toplam Aktif Gücü
Ptr_2(k,hat2_ts) = Pcer_2(k,hat2_ts) + Pk ;

%Tren Reaktif Toplam Gücü

```

```

Qtr_2(k,hat2_ts) = Ptr_2(k,hat2_ts) * tand(S_alfa) ;

%Tren Görünür Gücü
Str_2(k,hat2_ts) = Ptr_2(k,hat2_ts) / cosd(S_alfa) ;

if sz2_2 >= 1 && t == baslangic_zamani(x_2(1))
    Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
    delta_U_2(k,hat2_ts) = 0;
    PKH_2(k,1) = 0;
    PTM_2(k,1) = 0;
    Itr_T_2(k,1) = 0;
elseif ( sz2_2 == 1 && baslangic_zamani(x_2(1)) < t ) || ( sz2_2 >1
&& baslangic_zamani(x_2(1)) < t && t <= baslangic_zamani(x_2(2)))
    if hat2_ts == 1
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts) ) / 1000 );
        delta_U_2(k,hat2_ts) = (( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * Itr_2(k,hat2_ts) * b ;
        PKH_2(k,1) = ( Itr_2(k,hat2_ts)^2 * 0.1162177179 * ((
besleme_hatti_mesafesi - hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) ) /
1000 ;
        PTM_2(k,1) = Ptr_2(k,hat2_ts) + PKH_2(k,1);
        Itr_T_2(k,1) = Itr_2(k,hat2_ts);
    else
        Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
        delta_U_2(k,hat2_ts) = 0;
    end
elseif ( sz2_2 == 2 && baslangic_zamani(x_2(2)) < t ) || ( sz2_2 >2
&& baslangic_zamani(x_2(2)) < t && t <= baslangic_zamani(x_2(3)))
    if hat2_ts == 1
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts) ) / 1000 );
    elseif hat2_ts == 2
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
        delta_U_2(k,hat2_ts) = ((( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-1) +
Itr_2(k,hat2_ts) ) * b ) ;
        delta_U_2(k,hat2_ts-1) = ((( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000 ) * Itr_2(k,hat2_ts-1) * b)

```

```

+ ((( besleme_hatti_mesafesi - hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts)) / 1000
) * Itr_2(k,hat2_ts) * b) ;
    PKH_2(k,1) = ((( Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts) )^2 *
0.1162177179 * (( besleme_hatti_mesafesi - hat1_bas_konumu +
di_2(k,hat2_ts)) / 1000) ) + ( Itr_2(k,hat2_ts-1) ^2 * 0.1162177179 * ((
di_2(k,hat2_ts-1) - di_2(k,hat2_ts) ) / 1000))) /1000;
    PTM_2(k,1) = Ptr_2(k,hat2_ts-1) + Ptr_2(k,hat2_ts) +
PKH_2(k,1);
    Itr_T_2(k,1) = Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts);
else
    Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
    delta_U_2(k,hat2_ts)=0;
end
elseif ( sz2_2 == 3 && baslangic_zamani(x_2(3)) < t) || ( sz2_2 >3
&& baslangic_zamani(x_2(3)) < t && t <= baslangic_zamani(x_2(4)))
    if hat2_ts == 1
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts) ) / 1000 );
    elseif hat2_ts == 2
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
    elseif hat2_ts == 3
        Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
        delta_U_2(k,hat2_ts) = ((( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-2) +
Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts)) * b ) ;
        delta_U_2(k,hat2_ts-1) = (( di_2(k,hat2_ts-1) -
di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1)) *
b + delta_U_2(k,hat2_ts) ;
        delta_U_2(k,hat2_ts-2) = ((( di_2(k,hat2_ts-2) -
di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000 ) * Itr_2(k,hat2_ts-2) * b ) +
delta_U_2(k,hat2_ts-1) ;
        PKH_2(k,1) = (( Itr_2(k,hat2_ts-2)^2 * 0.1162177179 * ((
di_2(k,hat2_ts-2) - di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000) ) + ( ( Itr_2(k,hat2_ts-2)
+ Itr_2(k,hat2_ts-1)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_2(k,hat2_ts-1) -
di_2(k,hat2_ts)) / 1000)) + ( ( Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1) +
Itr_2(k,hat2_ts)) ^2 * 0.1162177179 * (( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ))) /1000;

```

```

PTM_2(k,1) = Ptr_2(k,hat2_ts-2) + Ptr_2(k,hat2_ts-1) +
Ptr_2(k,hat2_ts) + PKH_2(k,1);
Itr_T_2(k,1) = Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1) +
Itr_2(k,hat2_ts);
else
Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
delta_U_2(k,hat2_ts)=0;
end
elseif sz2_2 >= 4 && t > baslangic_zamani(x_2(4))
if hat2_ts == 1
Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts) ) / 1000 );
elseif hat2_ts == 2
Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
elseif hat2_ts ==3
Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
elseif hat2_ts ==4
Itr_2(k,hat2_ts) = Str_2(k,hat2_ts) / ((
trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(k-1,hat2_ts)) / 1000 );
delta_U_2(k,hat2_ts) = ((( besleme_hatti_mesafesi -
hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * (Itr_2(k,hat2_ts-3) +
Itr_2(k,hat2_ts-2) + Itr_2(k,hat2_ts-1) +Itr_2(k,hat2_ts)) * b ) ;
delta_U_2(k,hat2_ts-1) = ((( di_2(k,hat2_ts-1) -
di_2(k,hat2_ts)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-3) + Itr_2(k,hat2_ts-2) +
Itr_2(k,hat2_ts-1)) * b ) + delta_U_2(k,hat2_ts);
delta_U_2(k,hat2_ts-2) = ((( di_2(k,hat2_ts-2) -
di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000 ) * ( Itr_2(k,hat2_ts-3) + Itr_2(k,hat2_ts-2))
* b ) + delta_U_2(k,hat2_ts-1) ;
delta_U_2(k,hat2_ts-3) = ((( di_2(k,hat2_ts-3) -
di_2(k,hat2_ts-2)) / 1000 ) * Itr_2(k,hat2_ts-3) * b ) +
delta_U_2(k,hat2_ts-2) ;
PKH_2(k,1) = (( Itr_2(k,hat2_ts-3)^2 * 0.1162177179 * ((
di_2(k,hat2_ts-3) - di_2(k,hat2_ts-2)) / 1000) ) + ( ( Itr_2(k,hat2_ts-3)
+ Itr_2(k,hat2_ts-2)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_2(k,hat2_ts-2) -
di_2(k,hat2_ts-1)) / 1000)) + ( ( Itr_2(k,hat2_ts-3) + Itr_2(k,hat2_ts-2)
+ Itr_2(k,hat2_ts-1)) ^2 * 0.1162177179 * (( di_2(k,hat2_ts-1) -
di_2(k,hat2_ts)) / 1000 )) + (( Itr_2(k,hat2_ts-3) + Itr_2(k,hat2_ts-2) +
Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts)) ^2 * 0.1162177179 * ((

```

```

besleme_hatti_mesafesi - hat1_bas_konumu + di_2(k,hat2_ts)) / 1000 )))
/1000;
        PTM_2(k,1) = Ptr_2(k,hat2_ts-3) + Ptr_2(k,hat2_ts-2) +
Ptr_2(k,hat2_ts-1) + Ptr_2(k,hat2_ts) + PKH_2(k,1);
        Itr_T_2(k,1) = Itr_2(k,hat2_ts-3) + Itr_2(k,hat2_ts-2) +
Itr_2(k,hat2_ts-1) + Itr_2(k,hat2_ts);
        else
            Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
            delta_U_2(k,hat2_ts)=0;
        end
    else
        Itr_2(k,hat2_ts) = 0;
        delta_U_2(k,hat2_ts) = 0;
        PKH_2(k,1) = 0;
        PTM_2(k,1) = 0;
        Itr_T_2(k,1) = 0;
    end%if t == 0

end%if t >= baslangic_zamani(n)

end%if hat(n) == 1

end%for n=1:1:ts

if t_ani_tren_sayisi_hat1 > 0 && t_ani_tren_sayisi_hat2 > 0
    PTM(k,1) = PTM_1(k,1) + PTM_2(k,1);
    Itr_T(k,1) = Itr_T_1(k,1) + Itr_T_2(k,1) ;
elseif t_ani_tren_sayisi_hat1 > 0 && t_ani_tren_sayisi_hat2 == 0
    PTM(k,1) = PTM_1(k,1);
    Itr_T(k,1) = Itr_T_1(k,1) ;
elseif t_ani_tren_sayisi_hat1 == 0 && t_ani_tren_sayisi_hat2 > 0
    PTM(k,1) = PTM_2(k,1);
    Itr_T(k,1) = Itr_T_2(k,1) ;
end

break_hat1 = 0;
if t_ani_tren_sayisi_hat1 > 0

```



```

        max_gerilim_dusumu_yuzde_1 = ((trafo_sekonder_gerilimi(1,1) - min
(hat_sonu_gerilimi_1))*100) / trafo_sekonder_gerilimi(1,1) ;
        if Itr_T_1(k,1) > 964.25
            Itr_T_1_Hata(k,1) = 1;
        else
            Itr_T_1_Hata(k,1) = 0;
        end

        if hat1_bas_konumu > ds_1(k,1) || ds_1(k,1) > hat2_bas_konumu
            break_hat1 = 1;
        end
    end

    break_hat2 = 0;
    if t_ani_tren_sayisi_hat2 > 0

        hat_sonu_gerilimi_2(k,1) = trafo_sekonder_gerilimi(k,1) - delta_U_2(
k,1 ) ;
        max_gerilim_dusumu_yuzde_2 = ((trafo_sekonder_gerilimi(1,1) - min
(hat_sonu_gerilimi_2))*100) / trafo_sekonder_gerilimi(1,1) ;
        if Itr_T_2(k,1) > 964.25
            Itr_T_2_Hata(k,1) = 1;
        else
            Itr_T_2_Hata(k,1) = 0;
        end

        if hat1_bas_konumu > ds_2(k,1) || ds_2(k,1) > hat2_bas_konumu
            break_hat2 = 1;
        end
    end

    if break_hat1 == 1 || break_hat2 == 1
        break;
    end

end %for k=1:1:3600
end %if besleme_bolgesi

```