

**RAYLI SİSTEM ELEKTRİFİKASYONU KATENER SİSTEMLERİNDE
PANDÜL VERİLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TASARLANMASI**

Alırıza ATAM

Tezli Yüksek Lisans Tezi

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seçkin ULUSKAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mayıs 2022

10/05/2022

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Tezli Yüksek Lisans ęrencisi Alırıza ATAM, RAYLI SİSTEM ELEKTRİFİKASYONU KATENER SİSTEMLERİNDE PANDÜL VERİLERİNİN YAPAY SİNİR AğLARI İLE TASARLANMASI başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Daniřmanı

Dr. Öğr. Üyesi Seçkin ULUSKAN

ÖZET

RAYLI SİSTEM ELEKTRİFİKASYONU KATENER SİSTEMLERİNDE PANDÜL VERİLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TASARLANMASI

Alırıza ATAM

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mayıs 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seçkin ULUSKAN

Bu tez çalışmasında, raylı sistemlerde pandül boyları verisinin yapay sinir ağları ile elde edilmesi ele alınmıştır. Demiryolu taşıma sistemlerinde elektrikli işletmeciliğinde elektrifikasyon sistemlerinin önemi çok büyüktür. Elektrik enerjisi ile çalışan tren setlerinde pantografin temas ederek enerji aldığı seyir telleri, sürekli temas telleri olduklarından ray üstünden yüksekliklerinin her noktada aynı olması sağlanmalıdır. Seyir tellerini belirlenen yükseklikte sabit tutabilmek için seyir telinin üzerinde aynı hizada giden bir taşıyıcı portör teli tesis edilir ve pandül adı verilen ara bağlantı elemanlarıyla seyir teli portör teline asılır. Pandüllerin; taşıyıcı telin sehim, seyir telinin sehim, tellerin gerginliği vb. değişkenlere göre konumlarının ve boylarının titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde, pandül verilerinin hesaplanması, modellenmesi ve simülasyonlara dahil edilmesi, diferansiyel denklemler, doğrusal olmayan denklem sistemlerinin çözümü, sonlu elemanlar yöntemi vb. hesaplamalar içerebilmektedir. Pandül hesapları önceleri manuel belirlenirken, günümüzde bazı firmaların geliştirdiği pahalı bazı yazılımlar ile hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada özgün bir yaklaşım olarak, pandül verilerinin elde edilebilmesi için daha önceki projelerde kullanılan pandül verileri aracılığıyla Matlab® yazılımı ile yapay sinir ağları eğitilmiştir. Böylelikle, test verileri ile yapılan incelemede pandül boylarının otomatik olarak yüksek bir doğruluk seviyesinde hesaplanabildiği gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Raylı Sistemler, Demiryolu Katener Sistemleri, Elektrifikasyon, Pandül Hesaplamaları, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

DESIGNING DROPPER DATA WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN RAILWAY ELECTRIFICATION CATENARY SYSTEMS

Alırıza ATAM

Department of Rail Transport Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, May 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Seçkin ULUSKAN

In this thesis, determining data of dropper lengths in rail systems by means of artificial neural networks is discussed. Electrification systems consisting of energy transmission lines, traction power substations and their command and control units are required to operate electrical railway systems. It should be ensured that the heights of contact wires which the pantograph constantly contacts should be the same at every point of the line. In order to keep the contact wires stable at a specific height, a messenger wire which runs in the same line but above of the contact wire is installed. The contact wire is hung on the messenger wire with intermediate connection elements called dropper. The heights and locations of droppers should be carefully determined according to the deflection of the contact wire and the messenger wire, tensions of the both wires etc. While previously, the dropper heights were determined manually, they can be recently calculated with a few special software developed by some companies. In this study, as a new approach, artificial neural networks were trained with Matlab® software by means of the dropper data from previous railway projects in order to be able to produce new dropper data. Finally, after the analysis with a test data, it has been observed that the dropper lengths can be calculated automatically with a high accuracy.

Keywords: Rail Systems, Railway Catenary System, Electrification, Dropper Calculations, Artificial Neural Networks.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim sürecinde derslere katılımım konusunda her zaman desteklerini esirgemeyen ve tez çalışmasındaki veri setinin temini konusunda desteklerinden dolayı Yapı Merkezi İnşaat ve Sanayi A.Ş. şirketindeki yöneticilerime ve de ders aşamasındaki katkılarından ve tez sürecindeki her aşamada desteklerini sunan danışman hocam Doktor Öğretim Üyesi Seçkin ULUSKAN’a şükranlarımı sunarım.

Alırıza ATAM



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Alırıza ATAM

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. RAYLI SİSTEMLERDE KATENER SİSTEMLERİ VE PANDÜLLER	4
2.1. Trafo Merkezleri	4
2.2. İletim Hatları	5
2.2.1. Üçüncü ray	5
2.2.2. Katener sistemleri.....	6
2.2.2.1. Rijit katener sistemleri	6
2.2.2.2. Standart katener sistemleri.....	7
Katener direkleri	8
Konsol-hoban takımları.....	9
Katener iletkenleri	11
Seyir Teli	11
Portör Teli.....	13
Y Halatı	14
Pandül	14

<i>Sistem Yüksekliği.....</i>	<i>17</i>
<i>Dezeksman</i>	<i>17</i>
<i>Otomatik gergi cihazı(OGC).....</i>	<i>18</i>
<i>Etap Boyu.....</i>	<i>19</i>
<i>Antişöminman.....</i>	<i>20</i>
<i>Pandül boylarının belirlenmesi.....</i>	<i>22</i>
3. LİTERATÜR TARAMASI	23
3.1. Makine Öğrenimi ve Yapay Sinir Ağları.....	23
3.2. Katener Sistemlerinde Makine Öğrenimi ve Yapay Sinir Ağları.....	24
3.3. Literatürde Pandül Boyu Hesaplama Çalışmaları	25
4. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE PANDÜL SİSTEMİ TASARIMI.....	27
4.1. Veri Toplama.....	27
4.2. Verilerin Gruplanması ve Pandül Konumları Kuralları	29
4.3. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi.....	31
4.4. Yapay Sinir Ağlarının Hata Oranları	33
4.5. Pandül Çizdirme Sistemi	34
4.6. Otomatik Pandül Hesabı ve Arayüz.....	34
5. SONUÇ	36
KAYNAKÇA.....	38
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Nominal seyr teli yüksekliği – TS EN 50367	12
Tablo 2.2. Seyir teli eğim değişimi / hız ilişkisi – TS EN 50119	13
Tablo 2.3. En küçük pandül boyu önerisi	15
Tablo 4.1. Pandül veri seti örneği	28
Tablo 4.2. Pandül uzunluğu ortalama tahmin hatası	34



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Demiryolu hattı havai hat (Katener) besleme şeması.....	5
Şekil 2.2. Üçüncü ray sistemi kesiti	6
Şekil 2.3. Rijit katener sistemi kesiti	7
Şekil 2.4. Standart katener sistemi ve pantograf	8
Şekil 2.5. Çekiye konsol-hoban takımı.....	9
Şekil 2.6. Katener iletkenleri	11
Şekil 2.7. TS EN 50149- 120mm ² - AC Tipi Seyir Teli (sol), BC Tipi Seyir Teli (sağ).....	12
Şekil 2.8. (a) Seyir teli kesiti, (b) Portör teli kesiti	13
Şekil 2.9. Pandül seti	15
Şekil 2.10. Dezeksmen	17
Şekil 2.11. Etap boyu.....	20
Şekil 2.12. Örnek etap şeması	20
Şekil 2.13. Etap kayması	21
Şekil 2.14. Portör antişöminmanı	21
Şekil 2.15. Seyir antişöminmanı.....	22
Şekil 3.1. Yapay sinir ağı katmanları	24
Şekil 4.1. Yapay sinir ağları ile pandül sistemi tasarımı akış şeması.....	27
Şekil 4.2. 7 çıktılı pandül etap prensibi	29
Şekil 4.3. 6 çıktılı pandül etap prensibi	29
Şekil 4.4. 5 çıktılı Y Halatlı pandül etap prensibi	30
Şekil 4.5. 5 çıktılı Y Halatsız pandül etap prensibi	30
Şekil 4.6. 4 çıktılı pandül etap prensibi	30
Şekil 4.7. 3 çıktılı pandül etap prensibi	31
Şekil 4.8. 7 Çıktılı 1.Pandül boyu uzunluğu kestirimi.....	32
Şekil 4.9. 7 Çıktılı 2.Pandül boyu uzunluğu kestirimi.....	32
Şekil 4.10. 7 Çıktılı 3.Pandül boyu uzunluğu kestirimi.....	33
Şekil 4.11. Otomatik pandül hesabı arayüzü	35
Şekil 4.12. Pandül etabı çıktısı	35

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Beton direk(sol), Çelik kafes direk(sağ).....	8
Görsel 2.2. Çekiye konsol-hoban takımı saha uygulama örneği.....	10
Görsel 2.3. Basıya konsol-hoban takımı saha uygulama örneği	10
Görsel 2.4. Y Halatı	14
Görsel 2.5. Pandül döngü testi(sol), Pandül çekme testi(sağ).....	16
Görsel 2.6. Ağırlıklı otomatik gergi cihazı	19



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V	: Volt
DC	: Direct Current(Doğru Akım)
kV	: Kilo Volt
AC	: Alternating Current(Alternatif Akım)
Hz	: Hertz
OGC	: Otomatik Gergi Cihazı
Cm	: Santimetre
m	: metre

1. GİRİŞ

Elektrikli demiryolu işletmeciliğinde tren setinin enerjilendirilmesi; trafo merkezleri aracılığıyla istenilen seviyelere ayarlanan gerilimlerle beslenen iletim hatlarından, tren setinin akım toplayıcısı vasıtasıyla enerjinin alınarak çekiş mekanizmalarına iletilmesiyle olmaktadır. Tüm bu sistemler ve bu sistemlerin kumanda ve kontrol mekanizmalarını da içeren sistemlere elektrifikasyon sistemleri denilmektedir. Sistemin çalışma mantığı değişmemekle birlikte, işletmeciliğin yapılacağı konuma ve amaca uygun olarak alt sistemler proje bazlı tasarlanır. Örneğin; şehir içinde enerjiye ulaşım kolaylığı bulunduğu ve nispeten kısa mesafelerde ulaşım yapıldığından dolayı genelde enerji iletiminde doğru akım kullanılırken, şehirlerarası yapılan işletmeciliklerde enerjinin daha az kayıpla uzak mesafelere taşınabilmesi için alternatif akım kullanılmaktadır. Şehir içi metro hatlarında enerji iletim sistemi olarak genellikle ray seviyesine tesis edilen 3. ray sistemleri veya rijit katener sistemleri kullanılırken, daha çok yer üstünden giden ve dolayısıyla dış etkilere daha çok maruz kalan tramvay ve şehirlerarası tren hatlarında iletim sistemi olarak standart katener sistemleri kullanılır.

Standart katener sistemleri; tren setlerinin çeken araçlarındaki akım toplayıcı pantografin, hattın belirli noktalarına tesis edilen katener destek noktalarına sabitlenen havai katener iletkenlerine temasıyla enerjilenmesi prensibiyle oluşturulan sistemlerdir. Katener iletkenleri, portör(taşıyıcı) teli, seyir teli, y halatı, pandüller, fider iletkeni ve geri dönüş iletkeninden oluşur.

Seyir telleri pantografin sürekli temas ederek enerji aldığı teldir. Bu sebeple seyir tellerinin ray üstünden yüksekliklerinin her noktada aynı olması sağlanmalıdır. Aksi durumda, yüksek hızlarda telin fazla salınım yapmasına ve bu salınımlar sonucu arklanmalara ve hatta tel kopmalarına sebebiyet verebilir. Bu nedenle seyir tellerinin ray üstünden yüksekliğinin uluslararası standartlarda belirlenen tasarım yüksekliklerinde hattın hızına göre toleranslar dahilinde sabit tutulması kritik öneme sahiptir. Seyir tellerini belirlenen ray üstü yüksekliğinde sabit tutabilmek için; seyir telinin üzerinde seyir telleri ile aynı hızda giden ve seyir telinin asılı olduğu taşıyıcı portör telleri tesis edilir ve pandül adı verilen ara bağlantı elemanlarıyla seyir teli bu portör teline asılır. Pandüllerin; taşıyıcı telin sehim, seyir telinin sehim, tellerin gerginliği vb. değişkenlere göre konumlarının ve boylarının titizlikle belirlenmesi gerekmektedir.

Katener tesislerinde, pandül boyları önceleri el ile hesaplanarak yerleştirilir, boyları ayarlanır ve montajları yapılır. Literatürde, bu hesapların otomatikleşmesi ve dijitalleşmesi için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Pandül verilerinin hesaplanması, modellenmesi, simülasyonlara dahil edilmesi, malzeme ömürlerinin belirlenmesi çeşitli geometrik hesaplamalar, çoklu diferansiyel denklemler, doğrusal olmayan denklem sistemlerinin çözümü, bu denklem sistemlerinin basitleştirilmesi, sonlu elemanlar yöntemi vb. hesaplamalar içerebilmektedir. Geçmişten günümüze farklı projelerde birbirinden farklı kriterlere sahip birçok veri elde etmek mümkündür. Bu veriler belli kriterlere göre düzenlenip veri setleri oluşturulabilir ve analiz edilmek üzere çeşitli anlamlı alt veri grupları oluşturulabilir.

Veri analizi ve makine öğrenimi hayatımızın her alanına hızla dahil olmaya devam etmekle birlikte raylı sistemlerde de çeşitli alanlarda kullanılmakta ve kullanım alanları da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Özellikle elektrik ile işletilen demiryolu hatları; ekonomik, çevre dostu, hızlı ve de güvenli olması sebebiyle tercih edilmekte ve gün geçtikçe tüm dünyada daha da yaygınlaşmaktadır. Yaygınlaşan ve yeni teknolojilerle de günden güne hızları artan ve otonomlaşan raylı sistemlerde emniyet ve güvenlik de aynı ölçüde korunmalıdır. Bu bakış açısıyla tren trafiği arttıkça elle veya gözle yapılan ekipman, araç veya hat rutin kontrolleri de aynı hızla otonomlaşması ihtiyacı oluşmaktadır. Bu sebeptir ki günümüzde katener sistemlerinde makine öğrenimi araştırmalarının birçoğu önleyici bakım ve arıza tespitlerine yönelik olarak yapılmaktadır.

Katener sistemlerde, makine öğrenimi ve yapay sinir ağlarının kullanımının en yaygın örnekleri olarak, görüntü işleme yöntemi ile demiryolu sürekli izlenebilirliği üzerine yürütülen çalışmalar verilebilir. Bu çalışmalara, hat kenarı ve araç üstü ekipmanlarla yapılan; pantograf yüzey kontrolü, seyir teli aşınması kontrolü, pantograf-seyir teli etkileşimi, ark kontrolü, ekipman kontrolleri vb. örnekler verilebilir. Bu sayede önleyici bakımlarla riskli durumlar arızalar gerçekleşmeden minimize edilebilmektedir.

Görüntü işleme dışında da katener sistemlerindeki bazı verilerin uygun hale getirilerek girdi ve çıktı aralarındaki ilişkileri anlayabilecek sistemler geliştirilmek suretiyle makine öğrenimiyle karmaşık hesaplamalara gerek duyulmadan uygun sonuçlar elde edilebilir. Günümüzde pandül boyları ve konumları çeşitli ticari yazılımlar vasıtasıyla hesaplanabilmektedir. Bu maliyetli yazılımlara bir alternatif olarak önceki

projelerden elde edilen verilerle yapay sinir ağı oluşturularak pandül boylarının belirlenmesi bir alternatif olarak düşünülebilir. Literatürde yapay sinir ağı kullanılarak pandül boyu belirlenmesi ile ilgili bir çalışma mevcut değildir. Bu vesileyle bu tez konusu, raylı sistemlerdeki makine öğreniminin bu alanında literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında özgün bir yaklaşım olarak, pandül verilerinin elde edilebilmesi için geçmişteki demiryolu projelerinde kullanılan pandül verileri aracılığıyla Matlab® (The MathWorks, Inc., 2014b) yazılımı ile yapay sinir ağı eğitilmiştir. Böylelikle, test verileri ile yapılan incelemede pandül boylarının otomatik olarak yüksek bir doğruluk seviyesinde hesaplanabildiği gözlenmiştir. Matlab® programının tercih edilmesinin nedeni, yapay sinir ağı eğitim ve test işlemlerinin, yazılım dili aracılığıyla otomatik ve hızlı olarak yapılabilmesi ve Matlab® platformunda arayüz geliştirme imkânı bulunmasıdır. Bu tezde ilk olarak elektrifikasyon sistemleri genel olarak aktarılmış, katener sistemleri anlatılmıştır. Daha sonra yapay sinir ağlarının çalışma prensiplerine değinilmiştir. Son olarak, pandül verilerinin hesaplanabilmesi için yapay sinir ağlarının eğitilmesi ve eğitilen yapay sinir ağlarının test edilmesi anlatılmıştır.

2. RAYLI SİSTEMLERDE KATENER SİSTEMLERİ VE PANDÜLLER

Bu bölümde, bütünsel bakış açısı geliştirme adına genelden özele raylı sistemlerde elektrifikasyon sistemleri kısaca tanımlanacak ve pandülleri de içeren standart katener sistemi bileşenleri ayrıntılı bir şekilde tanıtılacaktır.

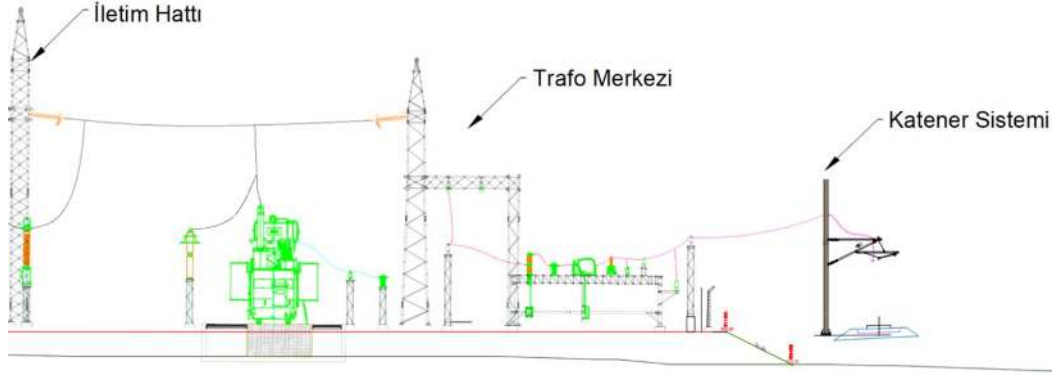
Elektrifikasyon sistemleri, kısaca demiryolu üzerinde elektrik ile işleyen araçlara elektrik enerjisi sağlayan enerji hatları olarak tanımlanabilir. Elektrifikasyon sistemlerinin buharlı ve dizel yakıtlı sistemlere göre yakıt tasarrufu, bakım maliyetleri, gürültü ve çevre kirliliği ve enerji temin kolaylığı açısından avantajları vardır. Elektrifikasyon sistemleri, demiryolu hattını besleyen trafo merkezleri, demiryolu güzergahı boyunca tesis edilen iletim hatları ve kontrol ve kumanda merkezlerinden oluşur.

Demiryolu hatları; amaçlarına göre farklı yöntemlerle enerjilendirilirler. Şehir içi metro ve hafif raylı sistemlerde daha çok üçüncü ray ve rijit katener sistemleri tercih edilirken, şehirlerarası demiryolu sistemlerinde daha çok standart katener sistemleri tercih edilir.

Tren setinin enerjili bir havai hattın pantografı aracılığıyla enerji aldığı sistemler katener sistemleri diye adlandırılır. Pandül telleri de standart katener sistemlerinin önemli bir bileşenidir.

2.1. Trafo Merkezleri

Trafo merkezleri, demiryolu iletim hatlarının beslenmesi için belirli aralıklarla tesis edilen yapılardır. Şehir içi metro/tramvay gibi hatlarda hat boylarının ve durak mesafelerinin kısa olması sebebiyle daha çok doğru akım tercih edilir. Şehirlerarası demiryolu hatlarında ise daha çok alternatif akım tercih edilir. Avrupa ve uluslararası standardizasyon için temas sisteminden bağımsız olarak en yaygın kullanılan altı voltaj seçilmiştir. Bunlar; 600V-750V-1500V-3kV DC ve 15kV 16.7Hz-25 kV 50Hz AC'dir (Srivastava, Singh, & Singhal, 2013). Seçilen gerilim değerleri, trafo merkezlerince ayarlanarak belirli aralıklarla demiryolu hattının beslenmesi sağlanır. Türkiye'de şehirlerarası besleme gerilimi olarak 25 kV 50 Hz tercih edilmektedir.



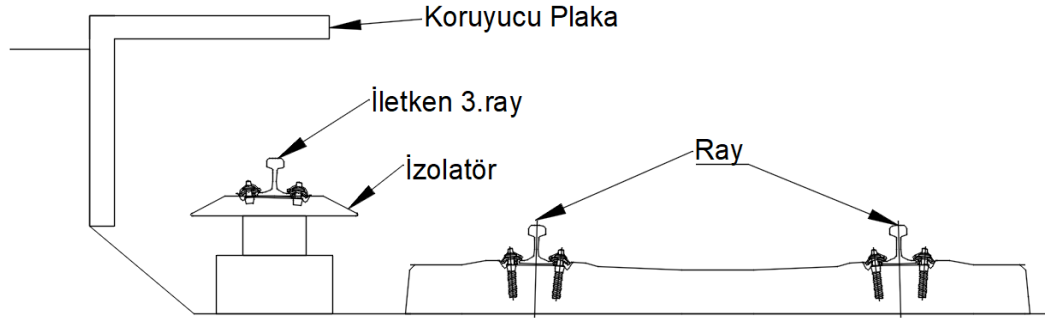
Şekil 2.1. Demiryolu hattı havai hat (Katener) besleme şeması

2.2. İletim Hatları

Demiryolu araçlarının sürekli olarak temas ederek enerjisini sağladığı demiryolu güzergahı boyunca tesis edilen enerji nakil hatlarıdır. Şehir içi düşük gerilimli demiryolu ulaşım hatlarında trenlerin enerjisi genellikle 3.ray adı verilen, demiryolu raylarının yanına bir ray daha tesis edilerek, trenin bu enerjili raya temas etmesiyle sağlanır. 1kV üzerinde gerilime sahip demiryolu hatlarında ise güvenlik sebebiyle trenlerin enerjisi, havai hatlar (katener hattı) tesis edilerek trenin enerjili tellere temas etmesiyle sağlanır (Srivastava, Singh, & Singhal, 2013).

2.2.1. Üçüncü ray

Üçüncü ray sistemleri trenlerin kılavuzlandığı 2 rayın dışında bu rayların sağ veya soluna demiryolu hattı boyunca üçüncü bir ray olarak döşenirler. 3.raylar trafo merkezleri tarafından beslenerek demiryolu hattının iletkeni haline gelirler. Bu hatlarda işletilen trenler de bu sisteme uygun olarak lokomotif üzerine tesis edilen pabuçlar aracılığıyla 3.raydaki enerjiyi alırlar. 3.raylar her 2,5-5 metre arasında yere izolatörlerle mesnetlenirler (Oura, Mochinaga, & Nagasawa, 1998). Her ne kadar güvenlik açısından dış yüzeyleri kapatılsa da temasa açık olduklarından genellikle yaya erişim kısıtlaması olan metro ulaşım sistemlerinde kullanılırlar. Şekil 2.2’de örnek şema görülmektedir.



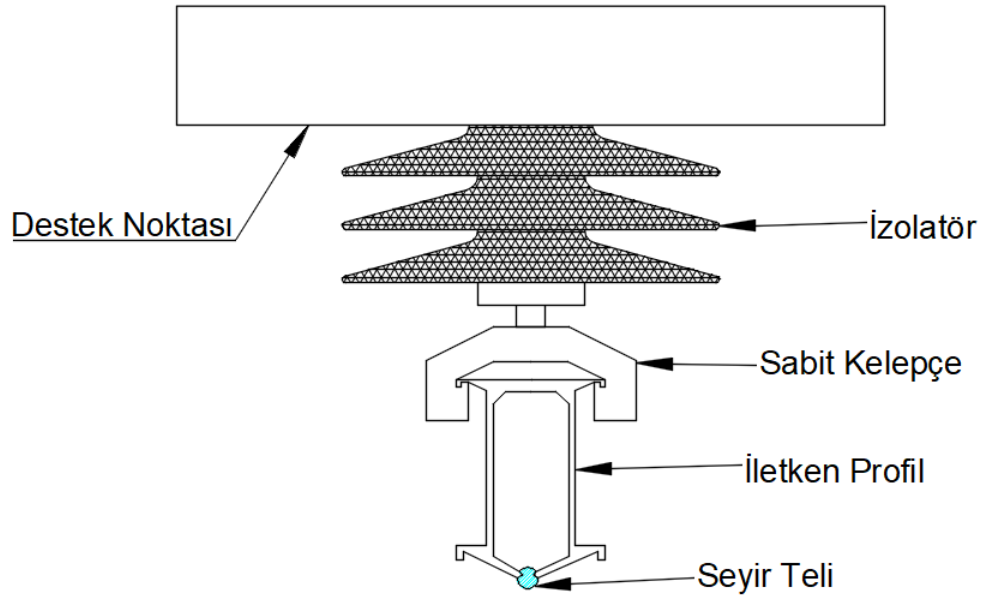
Şekil 2.2. Üçüncü ray sistemi kesiti

2.2.2. Katener sistemleri

Elektrik enerjisi ile çalışan lokomotif ya da dizinin, pantografı vasıtasıyla enerji aldığı, iletken teller ve onların işlerliğini sağlayan diğer bileşenlerden oluşan havai iletim hatlarına katener sistemleri denir. Katener sistemleri kendi içinde rijit katener sistemleri ve standart katener sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki sistemde de tren hızından bağımsız olarak pantograf, iletkene belirli bir temas kuvvetiyle mekanik olarak temas eder ve akım pantografın sürtünen yüzeyi vasıtasıyla tren setine iletilmiş olur (Zdziebko, Martowicz, & Uhl, 2019). Temas kuvveti, akım yoğunluğunu sınırlayacak kadar yüksek, aşırı aşınmayı önleyecek kadar düşük ve mümkün olduğunca değişmez olmalıdır. Böylece ne akım yoğunluğu ne de aşınmanın tasarım sınırlarından uzaklaşmasının önüne geçilir (Bautista, Montesinos, & Pintadoa, 2016).

2.2.2.1. Rijit katener sistemleri

Rijit katener sistemleri, bir iletken profil, bu profile yerleştirilen iletken tel, koruyucu ve bu sistemin sabitlendiği mesnet izolatörlerden oluşurlar. Trenlerdeki pantograflar rijit olan bu sisteme sürekli temas ederek enerji sağlarlar. Standart katener sistemleri ile karşılaştırıldığında, fiziksel olarak daha az yer kapladıklarından, tünellerde inşa edilmesi daha kolay olduğundan ve daha az yatırım maliyeti gerektirdiğinden, rijit katener sistemleri, metro vagonlarının güç kaynağı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Wei, Meng, He, Jia, & Li, 2020). Şekil 2.3.'te örnek rijit katener kesiti görülmektedir.



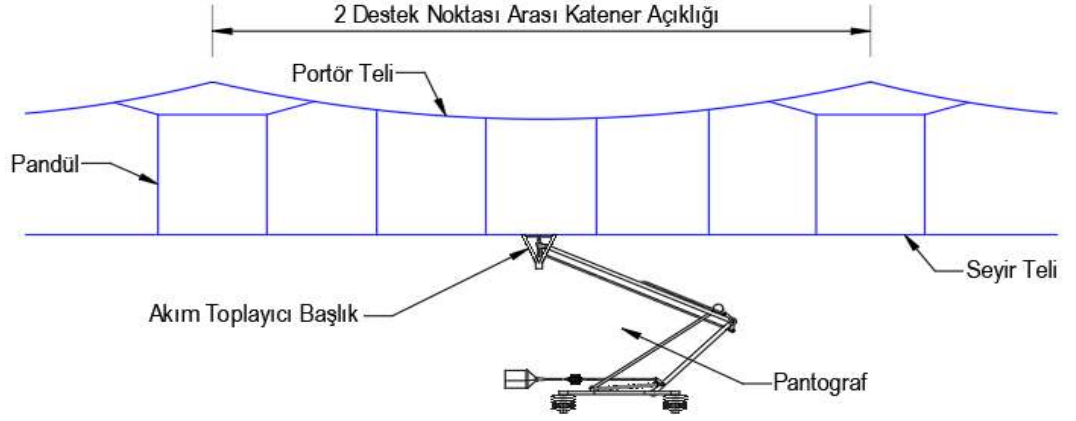
Şekil 2.3. Rijit katener sistemi kesiti

Sistemde seyir teli iletkene profile bağlı olduğundan esneklikleri yoktur. Dolayısıyla -günümüzde yüksek hızlara erişimi için çalışmalar yapılırsa da- rijit katener sistemlerinde trenlerin yüksek hızlara ulaşması sınırlanmış olur.

2.2.2.2. Standart katener sistemleri

Standart katener sistemleri, hattın belirli noktalarına tesis edilen destek noktaları (direkler, portallar, şezler), bu destek noktalarının ankrajları ve yine bu destek noktalarına asılan katener iletkenlerinden oluşur. Tren seti, pantografin temas teline sürekli temas etmesi yolu ile enerjilendirilir.

Şekil 2.4'te, havai iletim hattı ve belirli bir temas kuvvetiyle iletkene mekanik olarak temas eden pantograf gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Standart katener sistemi ve pantograf

Katener direkleri

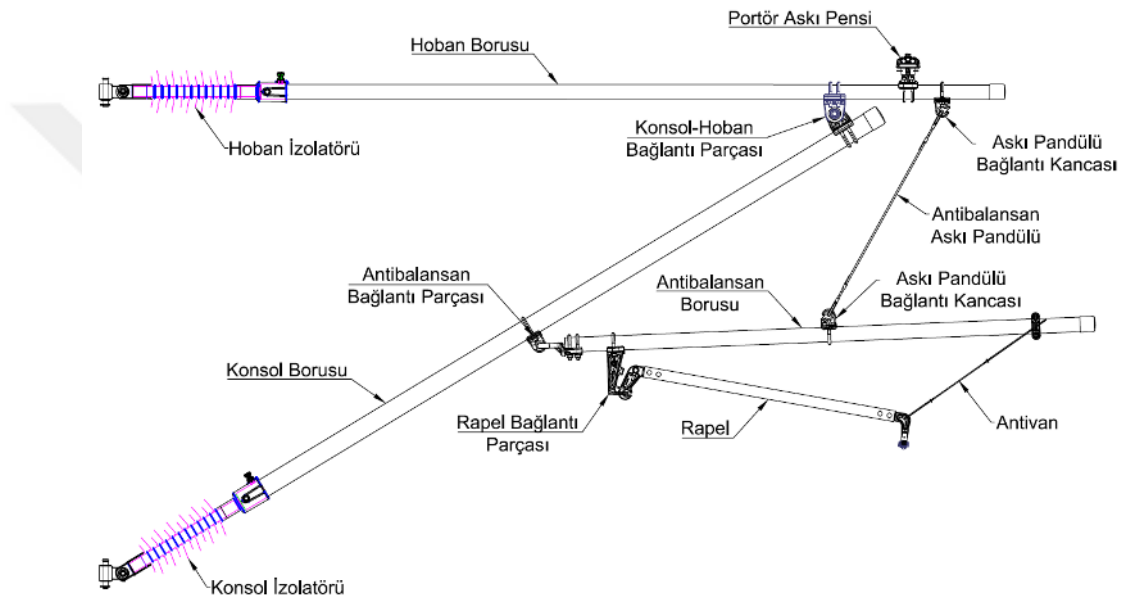
Katener direkleri; katener bileşenlerinin istenilen noktada sabitlenebilmesi için hat boyunca belirli aralıklarla tesis edilirler. Bu aralıklar, proje bazlı temel tasarım dokümanlarında hesaplanmaktadır. Direk tipleri ilgili projeye göre beton veya çelik olarak seçilir. Üzerindeki ekipmanlara göre boyları belirlenir, direk üzerine gelen tüm yükler hesaplanarak analizler yapılır ve katener direkleri tasarlanmış olur. Görsel 2.1’de soldaki görselde beton direk, sağdaki görselde ise çelik kafes direk örneği görülmektedir.



Görsel 2.1. Beton direk(sol), Çelik kafes direk(sağ)

Konsol-hoban takımları

Seyir teli, portör teli, Y halatı, pandül gibi katener iletkenlerini taşıyan, istenilen seviye ve eksende tutulmasını sağlayan ve katener direklerine sabitlenen donanım konsol-hoban takımı adı verilir. Şekil 2.5'teki portör askı pensine portör teli, rapel ekipmanının ucuna da seyir teli sabitlenir. Şekildeki konsol-hoban takımı, rapelin seyir telini kendine doğru çekiyor olması sebebiyle “çekiye” konsol tasarımına bir örnektir. Neden seyir telinin yatay konumda yer değiştirmesi gerektiği “Dezekzman” başlığı altında ayrıca anlatılacaktır.





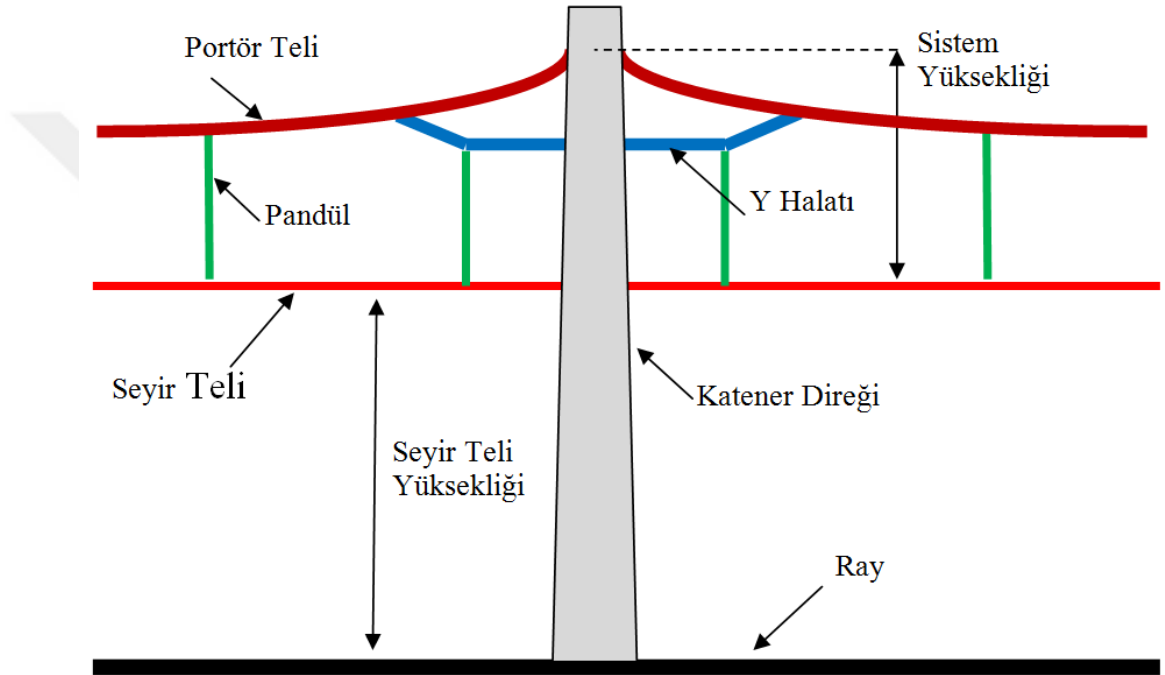
Görsel 2.2. *Çekiye konsol-hoban takımı saha uygulama örneği*



Görsel 2.3. *Basıya konsol-hoban takımı saha uygulama örneği*

Katener iletkenleri

Katener iletkenleri; destek noktasına, konsol-hoban takımları vasıtasıyla pantografin geçişine uygun şekilde istenilen noktalardan sabitlenerek, trene enerji iletilmesini sağlayan genellikle alaşımlı bakırdan oluşan iletken tellerin genel adıdır. Katener iletkenleri kendi ağırlıkları ve mevsim geçişlerindeki genleşme ve büzüşmelerden dolayı sarkma ve gerilme eğiliminde olduklarından mekanik bir gergi sistemi tarafından gerdirilirler (Özmen, 2014). Katener iletkenleri, Şekil 2.6'da şematik olarak gösterilmiştir.

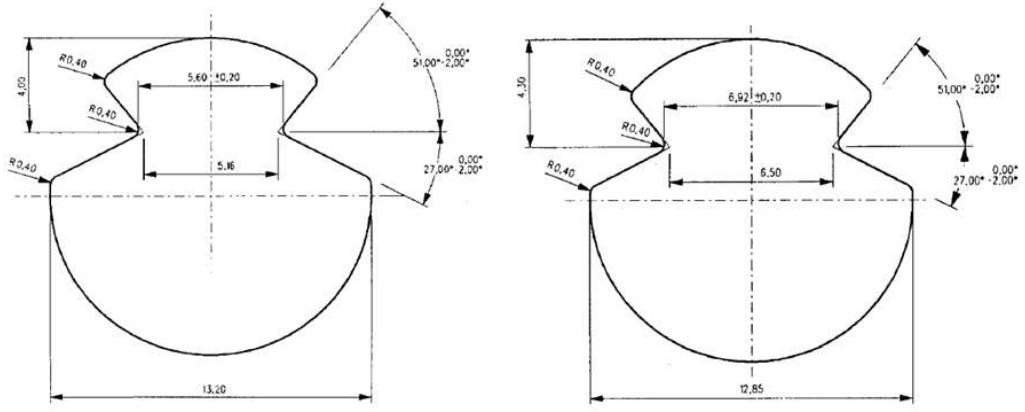


Şekil 2.6. Katener iletkenleri

Seyir Teli

Elektrik enerjisinin pantograf vasıtasıyla elektrikli diziye ya da lokomotifle iletilmesini sağlayan ve seyir esnasında pantografin sürekli temas ettiği tel seyir teli veya temas teli olarak adlandırılır. Seyir telleri temas telleri olduğundan tek damarlıdır ve temas yüzeyleri pürüzsüzdür.

Seyir tellerinin yalnızca pürüzsüz yüzeyinin temas edebilmesi için teller yivli yapıdadır. TS EN 50149 standardında bu yiv açılarını Şekil 2.7'de gösterildiği gibi AC ve BC tip olmak üzere iki ayrılmıştır.



Şekil 2.7. TS EN 50149- 120mm²- AC Tipi Seyir Teli (sol), BC Tipi Seyir Teli (sağ)

Seyir telleri, tren seyir halindeyken süreklilikle -bazen yüksek hızlarda- pantograf ile temas halinde olduğundan, hattın dinamiği açısından raydan yüksekliğinin her noktada aynı seviyede olması sağlanmalıdır. Tolerans dışı yükseklik farkları, yüksek hızlarda telin fazla salınım yapmasına ve bu salınımlar sonucu tel kopmalarına sebebiyet verebilir.

Nominal seyir teli yüksekliği, tasarlanan en büyük ve en küçük seyir teli yükseklikleri arasında belirlenir. TSEN 50367 standardı ile uluslararası işletilebilirlik için belirli değerler verilmiş ve bu standartta hatlar Tablo 2.1'deki gibi kategorilere ayrılmıştır. Hattın işletme hızlarına göre tasarımda kullanılacak seyir teli yükseklikleri projeye göre belirlenir. Yükseklikler ayarlanırken telin ray üstünden mesafesi dikkate alınır.

Tablo 2.1. Nominal seyir teli yüksekliği – TS EN 50367

Hat Hızı V(km/s)	$V \leq 200$	$200 < V < 250$	$V \geq 250$
Nominal seyir teli yükseklik aralığı (m)	5,0- 5,75	5,0- 5,5	5,08- 5,3

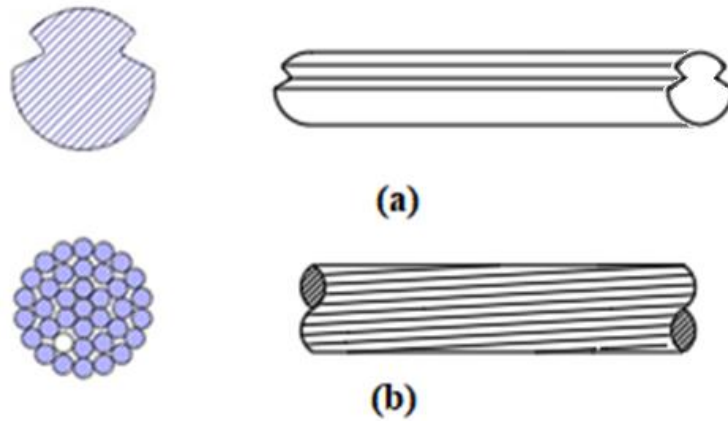
Seyir teli yükseklik seviyelerinin herhangi bir sebepten dolayı (üst geçit, köprü, tünel, hemzemin geçit vb.) düşmesi veya yükselmesi gerekiyorsa; seyir teli seviyeleri, destek noktaları arasında belirli eğim değerlerini gözeterek düşürülebilir veya yükseltilebilirler. İzin verilen yükseklik değişim eğim değerleri TS EN 50119 standardında Tablo 2.2'de gözüktüğü gibi hat hızlarına göre belirtilmiştir.

Tablo 2.2. Seyir teli eğim değişimi / hız ilişkisi – TS EN 50119

Hız (km/s)	Maksimum Eğim		Maksimum Eğim Değişimi	
		‰		‰
50	1/40	25	1/40	25
60	1/50	20	1/100	10
100	1/167	6	1/333	3
120	1/250	4	1/500	2
160	1/300	3,3	1/600	1,7
200	1/500	2	1/1000	1
250	1/1000	1	36526	0,5
≥250	0	0	0	0

Portör Teli

Seyir tellerini belirlenen yükseklikte sabit tutabilmek için; seyir telinin üzerinde aynı hızda giden ve seyir telinin asılı olduğu taşıyıcı bir portör teli tesis edilir. Bu taşıyıcı tel, pandüller aracılığıyla seyir telinin iki destek noktası arasındaki sehimini tolere eder ve bu sayede seyir teli istenilen seviyede tutulmuş olur. Taşıyıcı amaçlarından dolayı portör telleri çok damarlı olarak tesis edilirler. Ayrıca akım paylaşımı amacıyla da genellikle bakır iletken, kimi zaman da alüminyum olarak tercih edilirler. Şekil 2.8'de bu tellerin kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8. (a) Seyir teli kesiti, (b) Portör teli kesiti

Portör teli kullanılmadığı durumda; demiryolu hattı dinamik açıdan olumsuz etkilenir ve yüksek hızlarda işletmecilik yapılamayacaktır. Seyir teli sehimini dolayısıyla daha az askı açıklığına izin verilecek ve daha fazla askı noktası kullanılması gerekecektir. Seyir teli, ısı değişimlerinden çok fazla etkilenecek ve son olarak akım taşıma kapasitesinin yeterli olmaması problemleriyle karşılaşılacaktır.

Y Halatı

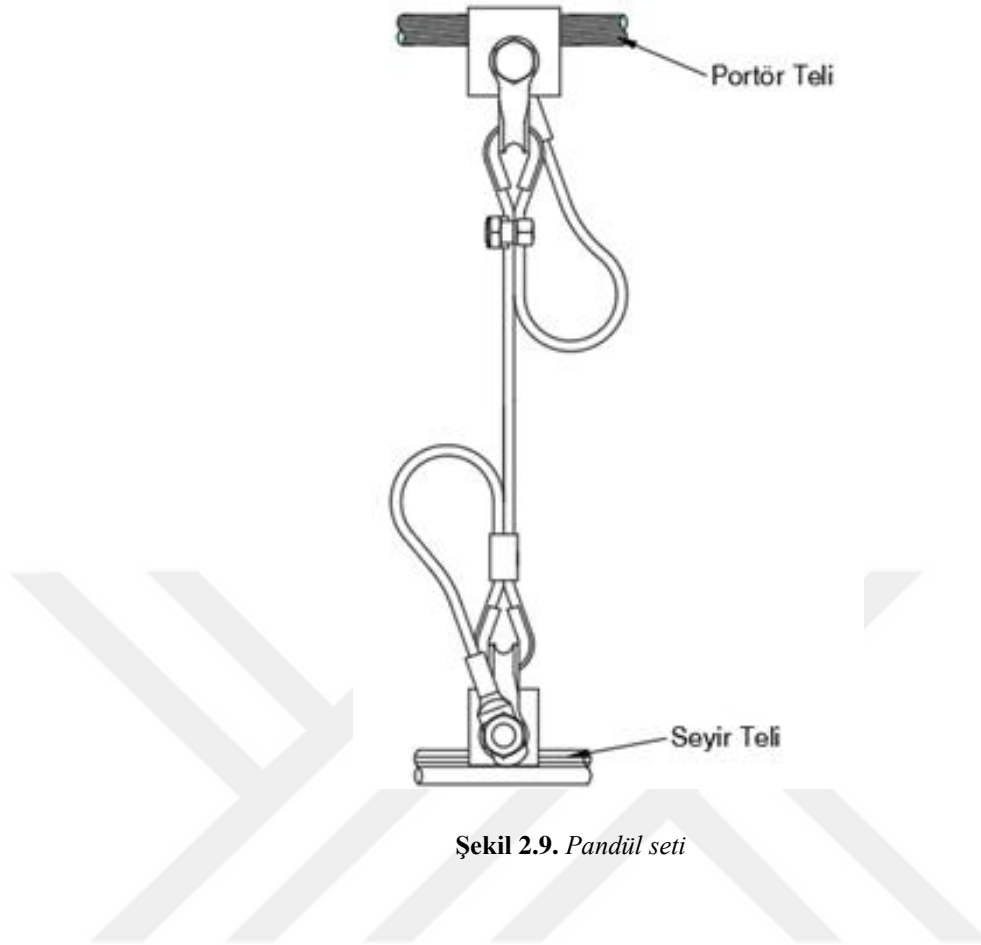
İşletmecilik hızı arttıkça, pantograf ile seyir teli arasındaki dinamik etkileşim arttığından, seyir teli seviyesini daha hassas koruyabilme adına her destek noktasına portör telini destekleyici bir tel olan Y Halatları tesis edilirler. Genellikle bakır iletken olarak seçilirler. Destek noktalarına her iki tarafından da Görsel.2.4'teki gibi pandüller ile asılırlar.



Görsel 2.4. Y Halatı

Pandül

Seyir telinin portör teline asıldığı ara bağlantı elemanlarına pandül denir. Destek noktalarını artırmadan pandüller takılarak seyir telinin esnekliği artırılır (Tan, ve diğerleri, 2019). Seyir teli, pandüller vasıtasıyla istenilen düşey seviyede tutulmaktadır. Pandüller kimi zaman yalnızca taşıma görevi üstlenseler de günümüzde kullanılan pandüller bakır iletkenlerden üretilirler ve portör ve seyir tellerinin akımı bölüşmelerini sağlarlar. Şekil 2.9'da pandül seti örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.9. *Pandül seti*

Pandül setleri kimi zaman sabit kimi zaman ayarlanmaya müsaade eden cıvatalar ile tedarik edilirler.

Pandüllerin yapısı, katener hattının dinamik karakteristikleri açısından büyük öneme sahiptir. Portör teli ve seyir telleri bir destek noktasından diğerine giderken portör telinin sehiminden dolayı birbirlerine yaklaştıklarından iki direk arasında seyir telinin seviyesini sabit tutan pandül teli boyları da iki direk ortasında en kısa halini almaktadır. Hattın dinamik davranışı açısından en küçük pandül boyu da önemlidir. Uygun görülen en kısa pandül boyu Siemens şirketinin “Contact Lines for Electric Railways” (Kiessling, Puschmann, Schmieder, & Schneider, 2009) kitabında Tablo 2.3’te gösterildiği gibi önerilmiştir.

Tablo 2.3. *En küçük pandül boyu önerisi*

Hız (km/h)	En Küçük Pandül Boyu (mm)
$v \leq 120$	300
$v > 120$	500

Pandül tasarımında;

- Seyir teli ağırlığından, buz yüklerinden(mevcutsa), rüzgâr yüklerinden ve seyir teli profilinden kaynaklanan dikey yükler,
 - Titreşimden ve pandül bükülmesinden kaynaklı dinamik yükler,
 - Montaj aşamasındaki yükler,
 - Komşu pandüllerdeki hatalardan kaynaklanan geçici yükler,
 - Demiryolu hattının yatay ve düşey geometrisi,
- dikkate alınmalıdır.

Pandüllerin tedarigiinden önce TS EN 50119 standardında belirtildiği gibi bazı mekanik testlerden geçmesi beklenmektedir. Test sırasında pandüller, projedeki tasarımı halinde kendi ekipmanları ile birlikte işletme koşullarına yakın bir ortamda, her döngü bir pantograf geçişini ifade edecek şekilde 2 milyon kez döngüye maruz bırakılır ve döngüler sırasında pandüllerin mekanik açıdan hasarlanmaması beklenir. Ayrıca döngü testi dışında pandüllerin çekme testinden de başarıyla geçmeleri beklenmektedir. Test düzeneği Görsel 2.5'te gösterildiği gibi oluşturulmaktadır.



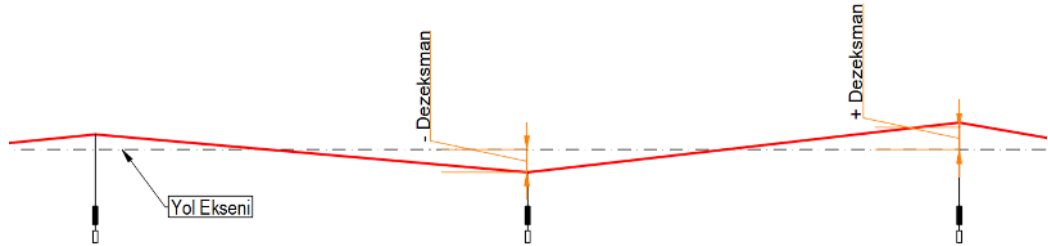
Görsel 2.5. Pandül döngü testi(sol), Pandül çekme testi(sağ)

Sistem Yüksekliği

Sistem yüksekliği, Şekil 2.6.'da görüleceği gibi seyir teli yüksekliği ve portör teli yüksekliği arasındaki destek noktasındaki mesafe farkıdır. Sistem yüksekliği katener hattının esnekliği açısından ve -düşmesiyle birlikte portör telinin iki direk arasında birbirine çok yaklaşacağından- iki destek noktası arası mesafenin belirlenmesinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Sistem yüksekliği düştükçe katener hattı gittikçe rijitleşir ve hattın esnekliği azalır. Gerekli esneklik değerine ulaşılması için de iki direk arası mesafeler kısılacak ve daha fazla destek noktası kullanılması ihtiyacı doğacaktır. Katener hattı esnekliği ilgili standartlarda belirtilmiş olup, katener hattı tasarlanırken dikkate alınmaktadır. Hattın esnekliği birçok parametreye bağlı olmakla birlikte projenin hızı ile doğru orantılıdır. Bu yüzden sistem yükseklikleri proje bazlı olarak belirlenmektedir.

Dezeksman

Hareket halindeki pantografin seyir teli ile teması sonucu oluşan sürtünmenin sürekli olarak aynı noktada kalarak, pantograf yüzeyindeki kömürünü çabuk aşındırmaması ve kömür yüzeyinin homojen olarak aşınmasının sağlanması için katener hattı, hat ekseninden yatay olarak belirli değerlerle kaçırılır. Katener hattının yol ekseninden yatay doğrultudaki farkına dezeksman denir. Dezeksman, seyir teli ve portör tellerinin destek noktalarındaki konsol hoban takımlarındaki rapeller aracılığıyla çekilerek veya itilerek sağlanmaktadır.



Şekil 2.10. Dezeksman

Şekil 2.10'da dezeksman örneği görülmektedir. Dezeksman değerleri her proje için; açık hat ve kurplarda ayrı ayrı olarak pantograf çalışma yüzeyi ve rüzgâr yükleri hesaba katılarak hesaplanır.

Otomatik gergi cihazı(OGC)

Katener hattı gerginliğinin farklı sıcaklık değerlerinde aynı kalmasını sağlayan donanımlara otomatik gergi cihazı denir. Katener sisteminin tasarımına bağlı olarak;

- Sadece seyir teli tek OGC ile,
 - Seyir teli ve portör teli beraber tek OGC ile,
 - Seyir teli ve portör teli ayrı ayrı OGC cihazları ile,
- gerdirilirler.

OGC cihazları; yaylı olarak veya basit makara mantığı ile makaralardan birine taş veya çelik ağırlıklar asılarak $1/3$ veya $1/5$ oranında bağlanan iletkenleri gerdirirler. Yaylı otomatik gergi cihazlarında gerginlik, cihazdaki yaylar aracılığıyla sağlanmaktadır ve genelde tünellerdeki alan kısıtları sebebiyle tünel katener sistemlerinde tercih edilirler. Ağırlıklı OGC’lerde ağırlıkların yerden yükseklikleri, bölgedeki sıcaklık farklarının hesaba katılarak bir tablo oluşturulmasıyla belirlenir. Bu tabloya göre montaj veya bakım yapılacak OGC ağırlık mesafeleri ayarlanır. Montajların ilgili tabloya göre yapılması çok önemlidir. Örnek vermek gerekirse; kış aylarında ağırlıklar yere yakın bir şekilde monte edilirse, yaz aylarına gelindiğinde artan sıcaklık değerleri ile genişleyen tel, ağırlıkları zemine kadar indirecek ve yeterli gerdirme sağlanamayacaktır. Bu da hattın dinamiğini o etap için son derece olumsuz etkileyecektir.

Görsel 2.6’da $1/3$ makara ile gerginliği sağlanmış ve seyir ve portör telleri ayrı ayrı gerdirilen bir ağırlıklı OGC görülmektedir.

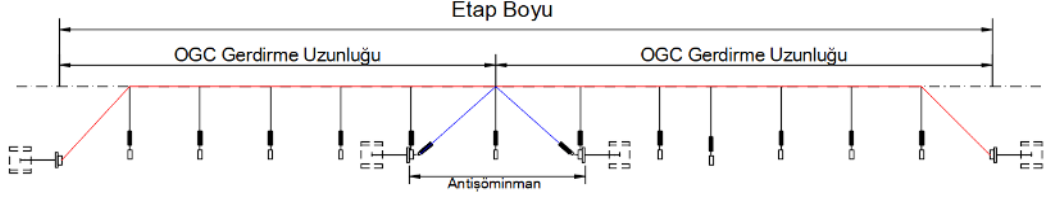


Görsel 2.6. Ağırıklı otomatik gergi cihazı

Etap Boyu

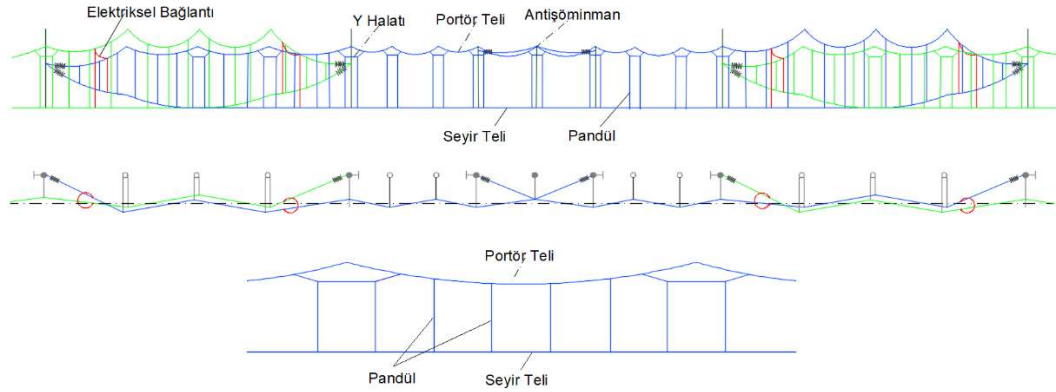
Katener hatlarında kullanılan seyir ve portör telleri, taşıma ve montaj kolaylığı kısıtları ile birlikte en temelde, maksimum gerdirme uzunluğuna bağlı olarak belirli bir uzunluktan fazla üretilemez ve kullanılamazlar. Katener hatlarının projelendirme ve montajında, bu kısıtlar ve proje teknik şartlarına bağlı olarak kesinti olmaksızın iki sonlandırma noktasında çekilen telin uzunluğuna etap boyu denir.

Şekil 2.11.'de görüldüğü üzere teller hem etap başından hem de etap sonundan OGC'ler ile gerdirilir ve maksimum etap boyu, 2 adet OGC gerdirme uzunluğunun toplamından oluşur.



Şekil 2.11. Etap boyu

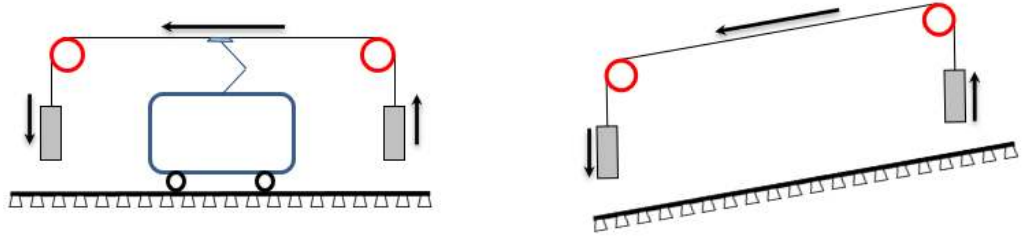
Şekil 2.12'de etap geçişi örneği gösterilmiştir. Şekle göre soldan sağa doğru ilerlediğimizde yeşil olan tel ile bir etap sonlanmış, mavi olan tel ile yeni bir etap başlamıştır. Şeklin sonuna doğru ise mavi olan tel sonlanmış, yeni bir etap yeşil olan tel ile başlamıştır. Üstteki şekil karşıdan, ortadaki şekil üstten görünüşü ifade ederken, üçüncü görünüş ise iki destek noktası(direk) arası pandüller dahil görünüş gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Örnek etap şeması

Antişöminman

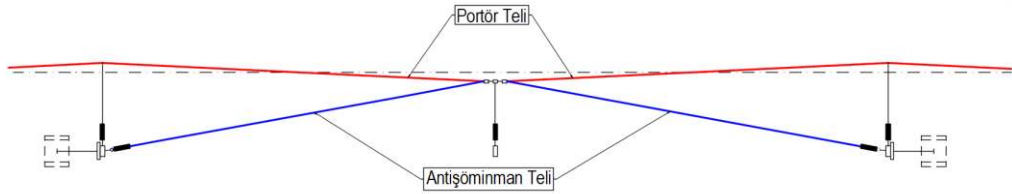
Her iki tarafı da makaralı bir sistemle gerdirilen katener etabı, pantografin geçiş etkisi ya da yolun eğimli olması gibi sebeplerden dolayı Şekil 2.13'teki gibi demiryolu doğrultusunda kayma eğilimindedir.



Şekil 2.13. Etap kayması

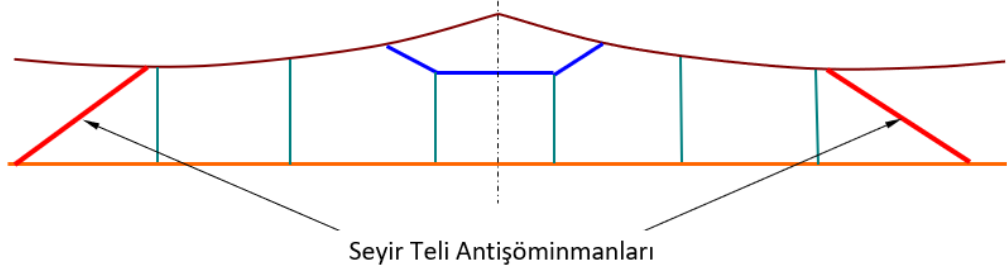
İstenmeyen bu kaymaları engellemek için yani otomatik gergi cihazlarının birbirinden etkilenmeden çalışmasını sağlamak, pantograf geçiş etkisi, eğim vb. sebeplerden dolayı katener hattının demiryolu doğrultusunda kaymasını önlemek ve herhangi bir arıza durumunda seyir teli veya portör telinin kopması sonucu arızanın etabın tamamından etkilenmesinin önlenmesi için oluşturulan bölgeye antişöminman denir.

Antişöminman bölge; portör ve seyir antişöminmanı olmak üzere iki şekilde oluşturulur. Portör antişöminmanı, Şekil 2.14'teki gibi etabın orta noktasındaki direğin portör telini bir azalan bir de artanındaki direğe sabitlemek suretiyle yapılmaktadır. Bu vesileyle, portör teli sabitlendiğinden dolayı OGC'lerin çalışma alanları ayrılmış olur.



Şekil 2.14. Portör antişöminmanı

Portör teli sabitlenmesinden sonra seyir teli de Şekil 2.15'te gösterildiği gibi sabitlenen destek noktasından sağa ve sola olmak üzere genellikle 2-3 pandül sonra çapraz şekilde sabitlenmiş portör telinde sabitlenir. Bu sayede hem seyir hem de portör tellerindeki istenmeyen hareketler engellenmiş olur.



Şekil 2.15. *Seyir antişöminmanı*

Pandül boylarının belirlenmesi

Pandül başlığı altında açıklandığı gibi pandüller; hattın dinamiği ve esnekliği açısından çok önemlidirler. Taşıyıcı telin sehim, seyir telinin sehim, tellerin gerginliği vb. değişkenlere göre konumlarının ve boylarının titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Pandül boy ve konumları önceleri el ile hesaplanarak belirlenirken, günümüzde bazı firmaların geliştirdiği yazılımlar ile hesaplanabilmektedir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

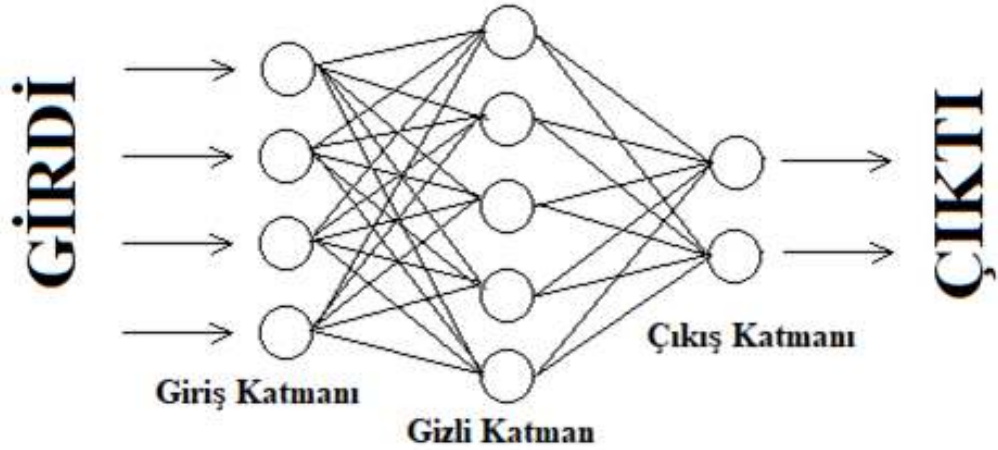
Bu bölümde; makine öğrenimi, yapay sinir ağları ve raylı sistemlerde kullanım alanlarını içeren literatür çalışması aktarılacak olup, son olarak pandül hesaplamalarında makine öğrenimi çalışmalarından bahsedilecektir.

3.1. Makine Öğrenimi ve Yapay Sinir Ağları

Çok büyük miktarlardaki verilerin elle işlenmesi ve analizinin yapılması mümkün değildir. Bu problemleri çözmek için makine öğrenmesi yöntemleri geliştirilmiştir. Makine öğrenmesi yöntemleri, mevcut veriyi kullanarak yeni veri için en uygun modeli bulmaya çalışır. Birçok alanda kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerine; giriş ile çıkış arasındaki fonksiyonun eğrisini bulan “eğri uydurma”, eğitim verilerinin hangi sınıftan olduğu biliniyorsa, yeni gelen verinin hangi sınıfa dahil olacağını bulan “sınıflandırma”, geçmişteki verilerin sınıfları veya etiketleri bilinmediği durumlarda verilerin birbirlerine yakın benzerliklerinin yer aldığı kümeleri bulan “kümeleme” vb. örnek verilebilir (Diri, 2014).

Uygulama alanı ne olursa olsun, çok miktardaki verinin analiz edilerek gelecek ile ilgili tahminlerde bulunması ve bizim karar vermemize yardımcı olması ile makine öğrenmesi yöntemlerinin her geçen gün önemi artmaktadır. Günlük yaşamımızda da parmak izi, göz, ses tanıma, sürücüsüz araçlar geliştirme gibi alanlarda hızla gelişerek kullanılmaktadır.

Yapay Sinir ağları insan beyninin en temel özelliği olan öğrenme işlevini taklit etmek üzere geliştirilmiştir bilgisayar sistemleridir (Öztemel, 2012). Öğrenme işlevini eğitim verileri yardımı ile gerçekleştirirler. Bu ağlar, birbirine bağlı yapay sinir hücrelerinden oluşur. Her bağlantının bir ağırlık değeri vardır. Yapay sinir ağının öğrenmiş olduğu bilgi, bu ağırlık değerlerinde saklı olup ağa yayılmıştır (Öztemel, 2012). Yapay sinir ağının eğitilmesi bu ağırlık değerlerinin belirli girdi değerlerine karşılık istenilen çıktı değerlerini verecek şekilde düzenlenmesidir.



Şekil 3.1. Yapay sinir ağı katmanları

Şekil 3.1'de katman halinde bir araya gelerek özel bir ağ oluşturmuş yapay sinir ağlarının genel şekli sunulmuştur.

Bu katmanlar aracılığıyla girdi ve çıktı arasındaki bağlantılar yapay sinir ağı tarafından saptanır. Yapay sinir ağı yeterince veri ile eğitildiğinde, eğitim verisinden bağımsız girdilerle karşılaşıldığında bağlantılar algılanacak ve beklenen çıktı değerleri oldukça yüksek doğrulukta elde edilmiş olacaktır.

3.2. Katener Sistemlerinde Makine Öğrenimi ve Yapay Sinir Ağları

Veri analizi ve makine öğrenimi günden güne hayatımızın her alanına hızla dahil olmaya devam etmekle birlikte raylı sistemlerde de çeşitli alanlarda kullanılmakta ve kullanım alanları da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Elektrik ile işletilen raylı sistemler; ekonomik, çevre dostu, hızlı ve de güvenli olması sebebiyle tercih edilmekte ve gün geçtikçe tüm dünyada daha da yaygınlaşmaktadır. Yaygınlaşan ve yeni teknolojilerle de günden güne otonomlaşan raylı sistemlerde emniyet ve güvenlik de aynı ölçüde korunmalıdır. Bu bakış açısıyla trafik arttıkça elle veya gözle yapılan ekipman, araç veya hat rutin kontrolleri de aynı hızla otonomlaşması ihtiyacı oluşmaktadır. Bu sebeptendir ki günümüzde katener sistemlerinde makine öğrenimi ve yapay sinir ağlarının kullanımı araştırmaların birçoğu önleyici bakım ve arıza tespitlerine yönelik olarak yapılmaktadır.

Katener sistemlerde, makine öğrenimi ve yapay sinir ağlarının kullanımının en yaygın örnekleri olarak, görüntü işleme yöntemi ile demiryolu sürekli izlenebilirliği üzerine yürütülen çalışmalar verilebilir. Örnek olarak; katener sistemlerinden kaynaklı

arızaların çoğunun kaynağında pantograf-katener etkileşimi yatmaktadır (Gao, Liu, & Yu, 2017). Bu arızalar; pantograf-seyir teli arasındaki arklanmalardan dolayı seyir telinin aşınmasının fazla olduğu yerlerde, seyir telinin kopmasına, hattın bir süre bakıma alınmasına dolayısıyla da trafiğin aksamasına sebebiyet verebilir. Dolayısıyla seyir telinin aşınması takip edilmeli ve pantograf-seyir teli etkileşimi istenen düzeyde sağlıklı bir şekilde işletilmelidir. Fakat bazen bu aşınma ve zayıf noktaları gözle yakalamak mümkün olmayabilir. Ayrıca pantografin kendisinden kaynaklı bir şekil bozukluğu vb. arızalar da gözden kaçarak katener hattında hasarlara yol açabilir. Yapılan araştırmalarla birlikte, hat yanı veya tren seti üzerine monte edilen çeşitli ekipmanlarla bu hataların tespiti arıza öncesinden yapılabilmektedir. Örneğin, hattın belirli bölgelerine tren sefere başlamadan önce pantograf hata tespiti yapan cihazlar konularak pantograf arşesinin kontrolleri yapılabilmekte ve tren seti üzerine monte edilen sensör ve ekipmanlarla da seyir teli aşınması veya ark durum tespitleri yapılabilmektedir. Bu tespitler büyük ölçüde görüntü işleme yöntemi ile yapılmaktadır. Bu cihazlar sürekli olarak kayıt altında olup, anlık görüntüleri sürekli olarak olması gereken referans değerlerle karşılaştırarak istenmeyen durumları tespit etmekte ve yetkilere uyarı vererek arıza öncesinde aksiyon alınmasıyla arızaları önleyebilmektedir.

Bir başka örnek olarak pandül iletken durumu izleme çalışması gösterilebilir. Pandül iletkenlerinden herhangi biri gevşer veya koparsa sistem açısından önemli olumsuz etkilere yol açabilir (Guo, ve diğerleri, 2020). Yine makine öğrenimiyle görüntü işleme mantığına dayanarak katener hattındaki pandül iletkenlerinin de durumu izlenebilmektedir.

Katener sistemlerinin yanı sıra demiryolu altyapı durumu izleme, demiryolu araç fren sistemi kontrolü vb. izleme sistemleri de çeşitli araç üstü ve hat boyu ekipmanlarla yapılabilmektedir.

3.3. Literatürde Pandül Boyu Hesaplama Çalışmaları

Pandül boyları önceleri el ile hesaplanarak yerleştirilir, boyları ayarlanır ve montajları yapılır. Literatürde, bu hesapların otomatikleşmesi ve dijitalleşmesi için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Cho'nun, 2008'deki çalışmasında sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan pandül formülasyonu önerilmiş ve pantograf-katener dinamiğinin bir simülasyonu

sunulmuştur (Cho, Numerical simulation of the dynamic responses of railway overhead contact lines to a moving pantograph, considering a nonlinear dropper, 2008).

Cho, Lee, Park, Kang ve Kim, 2010'da pantograf-demiryolu katener sisteminin hareket denklemlerini doğrusal olmayan denklem sistemi şeklinde yazmışlardır. Daha sonra bu doğrusal olmayan denklemler basitleştirilerek, sonlu elemanlar yöntemi yardımı ile katener sistemi parçaları hesaplanmıştır (Cho, Lee, Park, Kang, & Kim, 2010).

Jung, Kim, Paik ve Park, yine katener ve pantografin dinamik etkileşimlerinin bir analizini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak sunmaktadır. Çalışma, pandül uzunluğunu hesaplamak için bir analitik yöntem aktarmıştır. Hesaplanan pandül uzunlukları bir katener modeline uygulanmış ve yerçekiminden kaynaklanan deformasyonun simülasyonu yapılmıştır (Jung, Kim, Paik, & Park, 2012).

Lee ve Park, çalışmalarında mutlak düğüm koordinat denklemleri ile yine katener sistemi tasarımı yapılmıştır (Lee & Park, 2012).

Benet ve diğerlerinin 2013'te yayınlanan çalışmalarında, 3 boyutlu bir katener sistemi modeline ait denklemler, yüksek işlem performansına sahip InDiCa3D isimli bir yazılım aracılığıyla hesaplanmıştır (Benet, ve diğerleri, 2013).

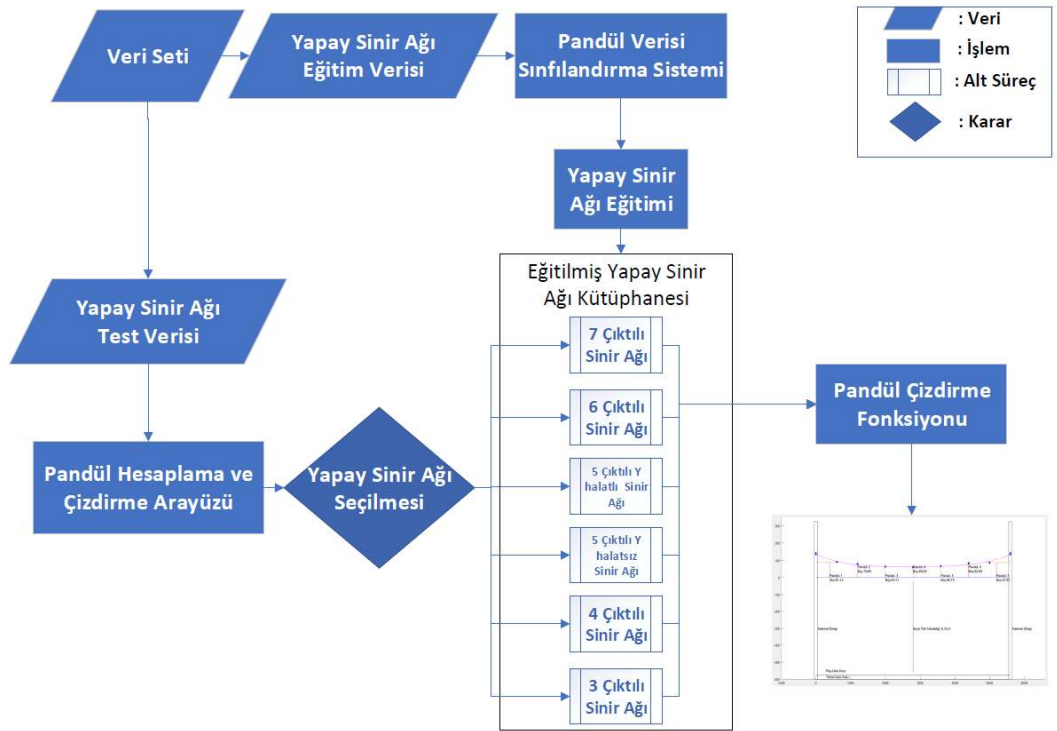
Song, Liu, Wang, Lu & Zang, çalışmalarında pandül hesabını doğrusal olmayan modeller aracılığıyla tasarlanmasının gerekliliğini savunmuşlardır. Çalışmada, pandül hesaplarının yapılmasını sağlayacak doğrusal olmayan denklemlerin Newton-Raphson iterasyon metodu ile çözülmüştür (Song, Liu, Wang, Lu, & Zhang, 2015).

Chen, Peng & He, çalışmalarında pandüllerin yorulma yaşam analizi yaparak, pandül hesaplarına yönelik araştırma alanına farklı bir yaklaşım getirilmiştir (Chen, Peng, & He, 2018).

Günümüzde pandül hesapları çeşitli ticari yazılımlar vasıtasıyla hesaplanabilmektedir. Bu maliyetli yazılımlara bir alternatif olarak önceki projelerden elde edilen verilerle yapay sinir ağları oluşturularak pandül boylarının belirlenmesi bir alternatif olarak düşünülebilir. Literatürde yapay sinir ağları kullanılarak pandül boyu belirlenmesi ile ilgili bir çalışma mevcut değildir. Bu vesileyle bu tez konusu, raylı sistemlerdeki makine öğreniminin bu alanında literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

4. YAPAY SINIR AĞLARI İLE PANDÜL SİSTEMİ TASARIMI

Bu bölümde, raylı sistem tesislerinde önemli bir işlevi bulunan, seyir telinin belirli bir yükseklikte kalmasını garantileyen, pandül boyu hesaplarının yapay sinir ağları aracılığıyla yapılması anlatılacaktır. Mevcut raylı sistem tesislerine ait bir pandül veri seti ile yapay sinir ağlarının eğitilmesi mantığına dayanarak pandül boylarının gerçeğe yakın şekilde elde edilebileceği gösterilecektir. Bu çalışmada, ilk olarak pandül boylarını etkileyen girdiler belirlenmiştir ve bu girdiler ilgili çıktılarla eşleştirilmiştir. Bu veriler uygun şekillerde ayıklanarak işlenebilir hale getirilmiştir. Sonrasında ayıklanan veriler ile yapay sinir ağları eğitilmiştir. Otomatik pandül çizdirme fonksiyonları oluşturularak elde edilen pandül verilerinin görselleştirilmesi sağlanmıştır. Bu kısımda anlatılacak çalışmalar Şekil 4.1’de sunulan akış şemasında gösterilmektedir. Her aşama detaylarıyla bu başlık altında işlenecektir.



Şekil 4.1. Yapay sinir ağları ile pandül sistemi tasarımı akış şeması

4.1. Veri Toplama

Bu proje için, Y halatlı bir katener tesisi projesinden elde edilen pandül verilerinden bir veri seti oluşturulmuştur. Bu çalışmada 415 satırlık bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti; pandül boylarını etkileyen 5 girdi ve pandül boylarını içeren 7 çıktı sütunundan

oluşmaktadır. Girdiler, pandül boylarını etkileyen faktörlerden olan, dezeksman, portör teli yüksekliği, seyir teli yüksekliği, açıklık ve sistem yükseklikleridir. Çıktı olarak ise pandül boyları bulunmaktadır. İlgili girdi değerlerine göre çıktı adetleri değişkenlik göstermektedir. Veri seti örneği Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Her satırdaki pandül çıktıları soldan sağa doğru iki destek noktası arasındaki pandülleri temsil etmektedir.

Tablo 4.1. Pandül veri seti örneği

GİRDİLER					ÇIKTILAR						
Dezeksman (cm)	Portör Teli Yüks. (cm)	Seyir Teli Yüks. (cm)	Açıklık (cm)	Sistem Yüks. (cm)	1.Pandül Uzunluğu (cm)	2.Pandül Uzunluğu (cm)	3.Pandül Uzunluğu (cm)	4.Pandül Uzunluğu (cm)	5.Pandül Uzunluğu (cm)	6.Pandül Uzunluğu (cm)	7.Pandül Uzunluğu (cm)
20	715	575	5997	140	89.70	74.70	56.40	50	55.70	73.30	87.70
-20	715	575	5399	140	92.90	79.70	66.30	66.40	80.10	92.70	NaN
-20	715	575	5006	140	92.80	83	70.40	70	83.10	93.70	NaN
-5	715	575	4900	140	95.80	87.70	77.10	77	87.50	95.30	NaN
-20	715	575	3500	140	119	105,9	105,9	119	NaN	NaN	NaN
-20	740	600	2545	140	126.90	123.40	125.10	NaN	NaN	NaN	NaN
-20	715	575	5602	140	90.60	79.40	64.20	59.30	64.70	80.40	92
20	715	575	4802	140	96.80	88.60	78.10	78	88.10	95.10	NaN
-5	715	575	4945	140	94.50	86.60	76.20	76.70	87.80	96.50	NaN
20	715	575	6002	140	88.90	74.10	55.90	49.70	55.60	73.50	88.20
-24	715	575	3800	140	120	106,8	102,4	106,9	120,3	NaN	NaN
5	715	575	5609	140	91.80	80.90	65.90	61.10	66.30	81.60	92.70
24	715	575	2545	140	122	115.90	122	NaN	NaN	NaN	NaN
24	715	575	2545	140	122.40	116.70	122.20	NaN	NaN	NaN	NaN
-20	715	575	5989	140	89.20	74	55	47.90	54.20	73.40	88.50

Veri setinde yer alan pandül boylarını etkileyen faktörler olarak kullanılan girdilerin açıklaması ve birimi şu şekildedir:

-Dezeksman: Katener hattının yol ekseninden yatay doğrultudaki farkının cm cinsinden değeridir.

- Portör Teli Yüksekliği: Portör telinin ray seviyesinden cm cinsinden yüksekliğidir.

- Seyir Teli Yüksekliği: Seyir telinin ray seviyesinden cm cinsinden yüksekliğidir.

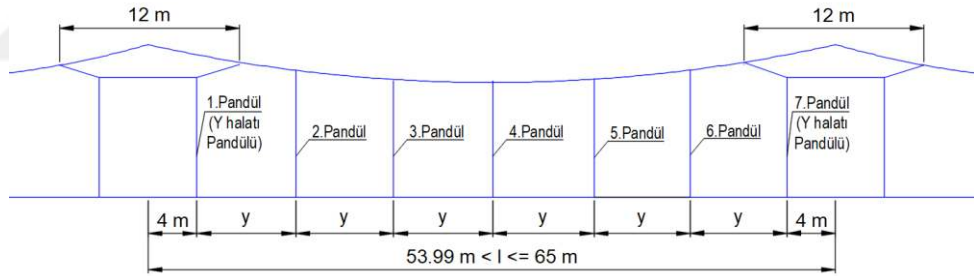
- Açıklık: İki katener destek noktası arasındaki mesafenin cm cinsinden değeri.

- Sistem Yüksekliği: Seyir teli ile portör teli eksenleri arasındaki yüksekliğin cm cinsinden değeridir.

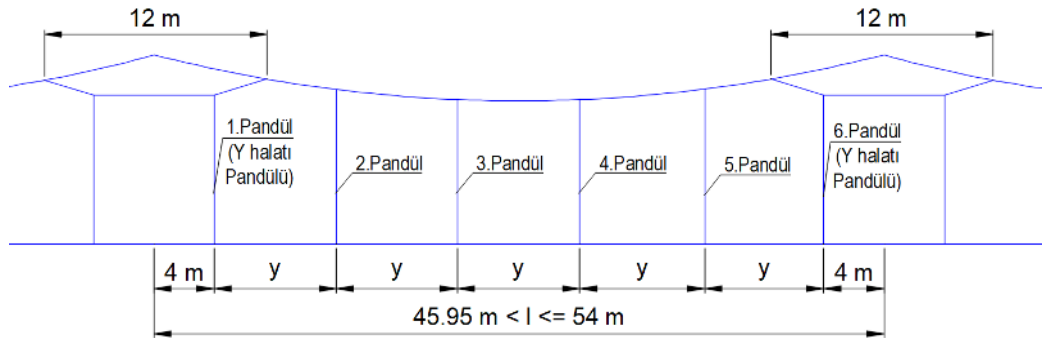
4.2. Verilerin Gruplanması ve Pandül Konumları Kuralları

Eğitilen bir yapay sinir ağının başka bir veri üzerinde test edilmesi veya çıktı üretmek üzere kullanılabilmesi için test verisinin hem girdi hem de çıktı sütun sayılarının eğitim verisi ile aynı olması gerekmektedir. Pandül verisinde, her veri satırının girdi sayısı sabit olarak 5 adettir. Fakat çıktı sayıları çeşitli durumlara ve kurallara göre değişmektedir. Bu sebeple bu denkleştirmenin sağlanabilmesi için, veriler bir sınıflandırma prensibi ile alt gruplara ayrılmıştır.

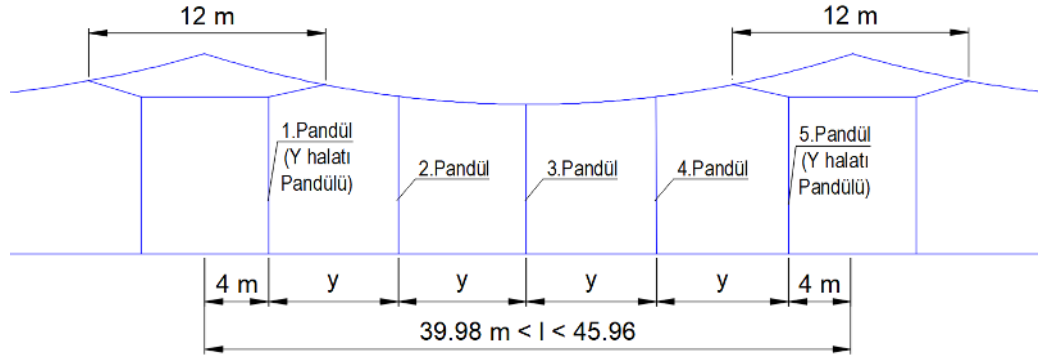
Pandül sayısı ve konumu proje başlangıcında tasarım prensibi olarak belirlenen kurallarla ve açıklık ile ilişkilidir. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de veri alınan proje için pandül etabı prensipleri gösterilmiştir. Prensip olarak iki destek noktası arasındaki ilk ve son pandüller destek noktasının 4 m yakınına konulacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca şekillerde gösterilen ardı sıra gelen pandül arası mesafeler de maksimum 9,5 m olarak belirlenmiştir. Bu prensiplere göre; 7 çıktılı, 6 çıktılı, Y halatlı 5 çıktılı, Y halatsız 5 çıktılı, 4 çıktılı ve 3 çıktılı olarak pandül verileri gruplara ayrılmıştır.



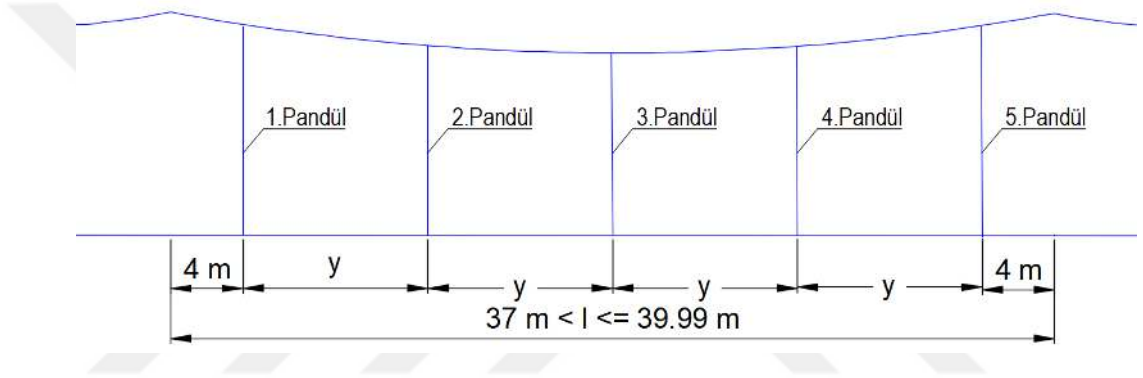
Şekil 4.2. 7 çıktılı pandül etap prensibi



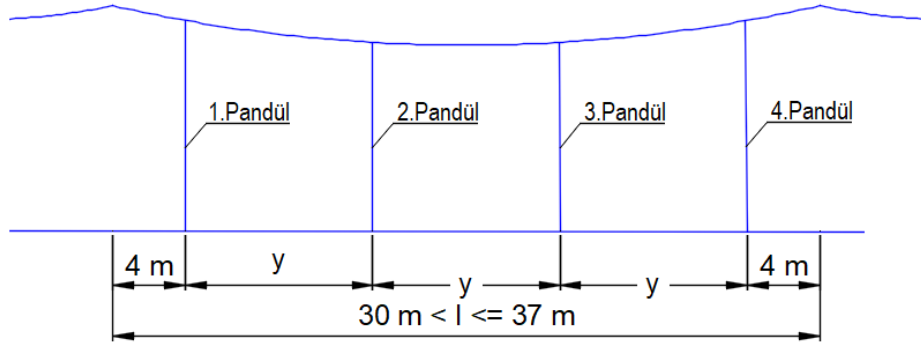
Şekil 4.3. 6 çıktılı pandül etap prensibi



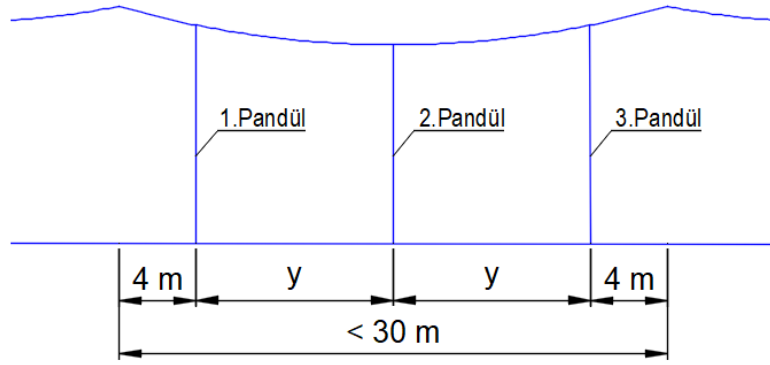
Şekil 4.4. 5 çıklılı Y Halatlı pandül etap prensibi



Şekil 4.5. 5 çıklılı Y Halatsız pandül etap prensibi



Şekil 4.6. 4 çıklılı pandül etap prensibi



Şekil 4.7. 3 çıktılı pandül etap prensibi

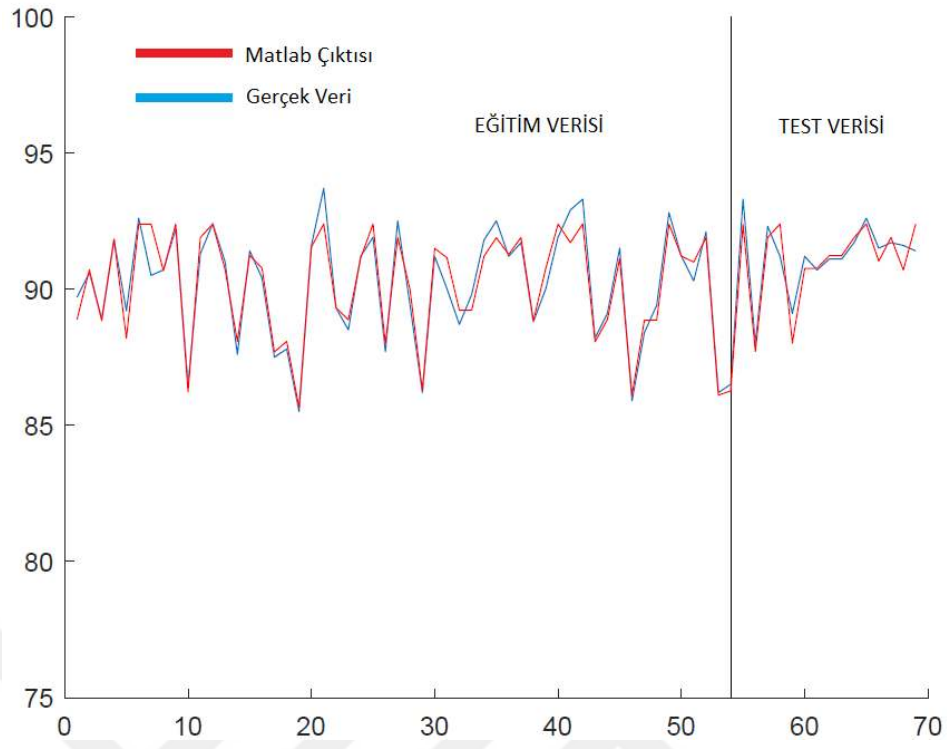
Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7’te belirtildiği gibi pandül çıktı sayılarının açıklık ile doğrudan ilişkisi vardır. Bu ilişki, ilgili şekillerdeki ilk pandül kuralları da dikkate alındığında;

- Açıklık değeri 53,99 m ve 65 m arasında ise 7 Çıktılı,
- Açıklık değeri 45,95 m ve 54 m arasında ise 6 Çıktılı,
- Açıklık değeri 39,98 m ve 45,96 m arasında ise 5 Çıktılı Y Halatlı,
- Açıklık değeri 37 m ve 39,99 m arasında ise 5 Çıktılı Y Halatsız,
- Açıklık değeri 30 m ve 37 m arasında ise 4 Çıktılı,
- Açıklık değeri 30 m ve altında ise 3 Çıktılı,

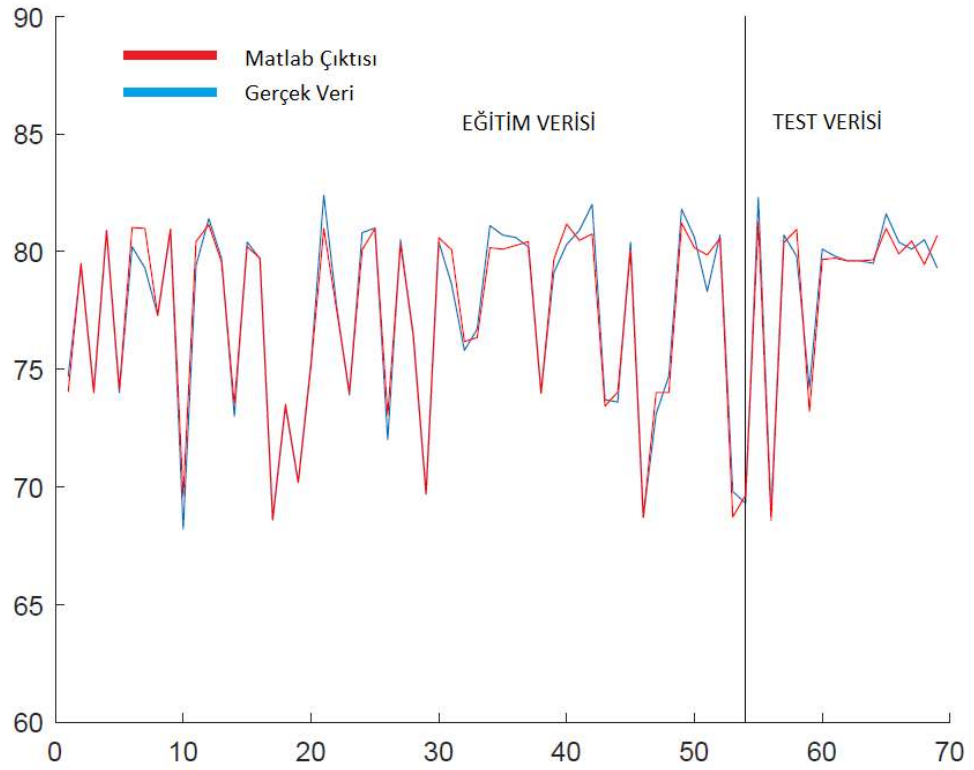
şeklindedir.

4.3. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

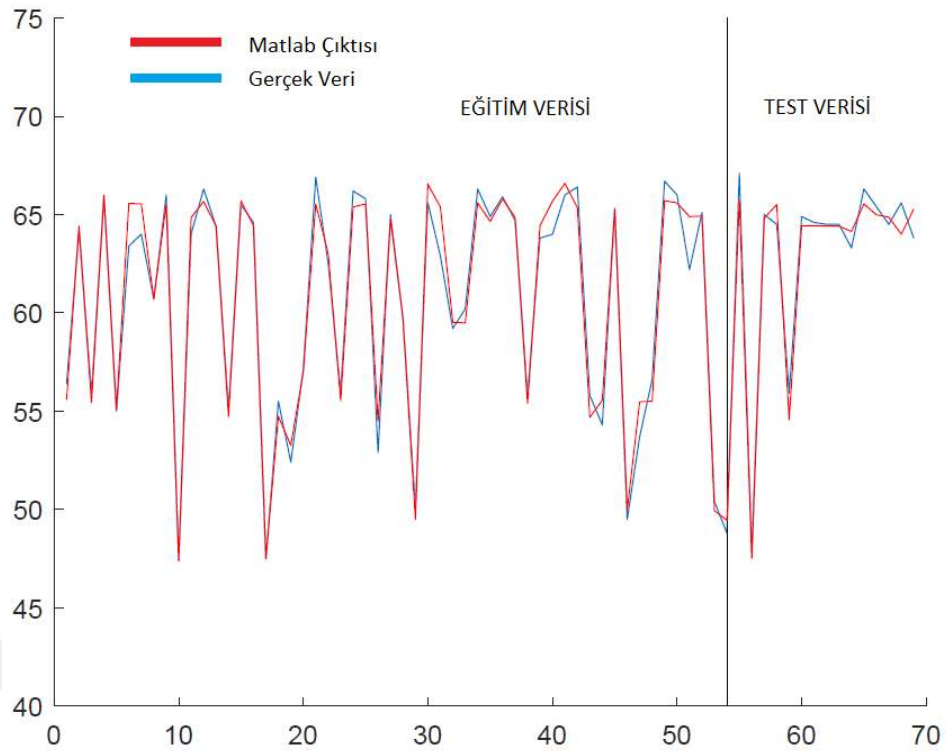
Matlab® yazılımı ile, oluşturulan alt veri grupları için ayrı ayrı yapay sinir ağı eğitilmiştir. Veriler eğitilirken her bir alt veri grubu için verilerin %90’ı eğitim için %10’u ise test için ayrılmıştır. Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da bu eğitim ve test işlemi 7 açıklıklı pandül sisteminin ilk 3 çıktısı için aynı anda gösterilmiştir. Bu ön denemelerde ilk 54 satır eğitim verisi olarak kullanılıp kalan veriler test için ayrılmıştır. Şekillerden görüldüğü üzere yapay sinir ağı çıktısı ile gerçek veriler ufak sapmalar ile büyük ölçüde örtüşmektedir.



Şekil 4.8. 7 Çıktılı 1.Pandül boyu uzunluğu kestirimi



Şekil 4.9. 7 Çıktılı 2.Pandül boyu uzunluğu kestirimi



Şekil 4.10. 7 Çıktılı 3.Pandül boyu uzunluğu kestirimi

4.4. Yapay Sinir Ağlarının Hata Oranları

Yapay sinir ağlarının performansları büyük ölçüde uygun girdi değişkenlerinin seçimine bağlıdır. Modelin girdi değişkenlerini belirlemek için önemli çabalar gereklidir, çünkü çıktı üzerindeki etkileri her zaman önceden bilinmeyebilir. (Lee 2020) Uygun girdi değişkenleri belirlendikten sonra eğitilen yapay sinir ağlarının uygun çıktılar üretip üretmediğinin doğrulanması gerekmektedir. Modelleri doğrulamak için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan çapraz doğrulama, beklenen tahmin yeteneğinin istatistiksel bir tahminini verir (Fonseca-Delgado & Gómez-Gil, 2013). Bu çalışmada Monte Carlo Çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak her bir yapay sinir ağı 20 iterasyon ile çalıştırılıp her seferinde gerçek değerler ile karşılaştırılarak ortalama hata değerlerine ulaşılmıştır. Karşılaştırılma örnekleri bir önceki başlıkta figürler halinde verilmiştir. Aşağıdaki Tablo 4.2.'de ise tüm sinir ağları için hata oranı tablosu santimetre cinsinden görülmektedir.

Tablo 4.2. *Pandül uzunluğu ortalama tahmin hatası*

	1.Pandül Hata Oranı(cm)	2.Pandül Hata Oranı(cm)	3.Pandül Hata Oranı(cm)	4.Pandül Hata Oranı(cm)	5.Pandül Hata Oranı(cm)	6.Pandül Hata Oranı(cm)	7.Pandül Hata Oranı(cm)
7 Pandüllü (Y halatlı)	0.5781	0.4620	0.5721	0.5600	12.006	0.7331	0.8756
6 Pandüllü (Y halatlı)	0.5353	0.4494	0.2555	0.3552	0.6127	0.8082	X
5 Pandüllü (Y halatlı)	12.736	22.218	20.962	0.9582	11.100	X	X
5 Pandüllü (Y halatsız)	20.373	15.483	11.019	12.619	0.8883	X	X
4 Pandüllü (Y halatsız)	0.9084	0.9841	13.993	12.111	X	X	X
3 Pandüllü (Y halatsız)	19.390	20.699	13.405	X	X	X	X

4.5. Pandül Çizdirme Sistemi

Tüm girdi ve çıktı değerlerine ek olarak pandül lokasyonları da bilindiğinde 2 direk arasındaki pandüllerin çizdirilmesi mümkün olmaktadır. Pandüllerin çizdirilmesi ve görsel kontrolü pandüllerdeki olası hataların fark edilmesi açısından önemli olabilmektedir. Dolayısıyla her pandül alt grupları için pandülleri çizdiren fonksiyonlar oluşturulmuştur. Pandül lokasyonları, veri setinin parçası olmadıklarından oluşturulan fonksiyonlara 2 direk arası açıklık bilgisiyle ile pandül lokasyonlarının da hesaplandığı kısımlar eklenmiştir. Bu kısımlar eklendikten sonra girdi ve çıktı değerleriyle birlikte pandül çizdirme fonksiyonları son hallerine getirilmiştir.

4.6. Otomatik Pandül Hesabı ve Arayüz

Son olarak girdi değerlerinin girildiği takdirde pandül lokasyon ve boylarının hesaplanıp çizdirildiği toplu bir sistem tasarlanıp, Şekil 4.11’de gösterildiği gibi bir arayüzle kullanıcılara sunulmuştur. Bu arayüz Matlab® yazılımı GUI (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) eklentisiyle tasarlanmıştır.

Arayuz

Tez Konusu : Raylı Sistem Elektrifikasyonu Katener Sistemlerinde Pandül Verilerinin Yapay Sinir Ağları ile Tasarlanması, Bölüm : Raylı Sistemler Mühendisliği (Tezli) (YL)
Öğrenci : Alirıza ATAM, Tez Danışmanı : Dr.Seçkin ULUSKAN

Dezeksman(cm) Edit Text

Portör teli Yüks. (cm) Edit Text

Seyir Teli Yüks. (cm) Edit Text

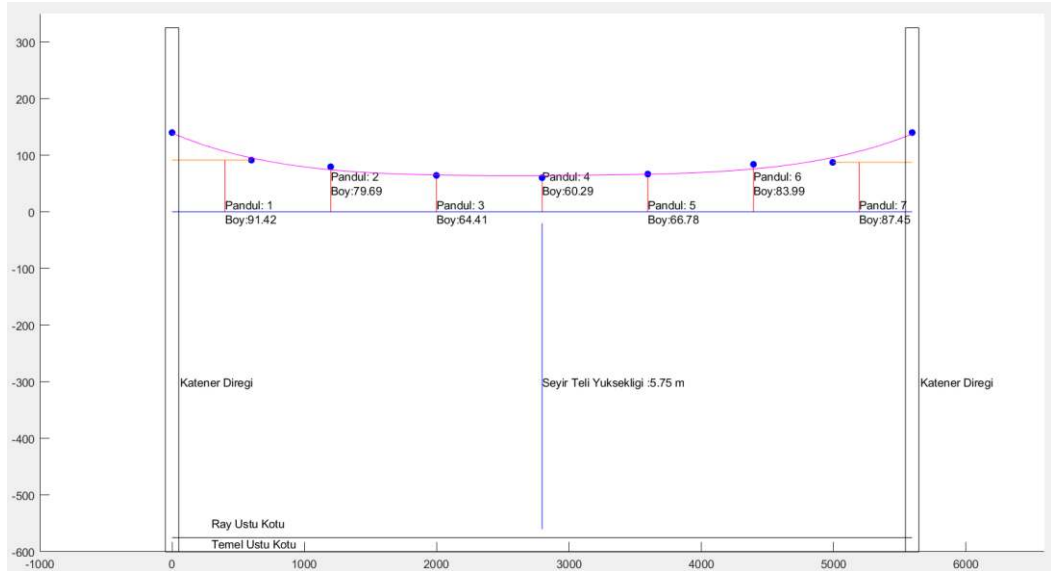
Açıklık (cm) Edit Text

Sistem Yüks. (cm) Edit Text

Bilgileri girip bu butona basınız

Şekil 4.11. Otomatik pandül hesabı arayüzü

Kullanıcılar, girdi bilgilerini girip “Bilgileri girip bu butona basınız” butonuna basarak girdi satırını oluşturur. Bu girdi satırının, otomatik olarak hangi veri alt grubuna ait olduğu belirlenerek ve ilgili yapay sinir ağı çalıştırılarak, pandül boyları hesaplanır. Son olarak, bu satırla ilgili olan çizdirme fonksiyonu çalıştırılarak pandül çizimi oluşturulur. Dolayısıyla kullanıcı girdileri girdikten sonra karşısına Şekil 4.12’deki gibi, girdiği bilgiler için bir pandül etabı çizdirilmiş olur.



Şekil 4.12. Pandül etabı çıktısı

5. SONUÇ

Birçok dağınık veriye maruz kaldığımız günümüzde bu verilerin düzenlenip anlamlı hallere getirilip, hayatımızı kolaylaştıracak hale getirilmesinde veri analizi ve makine öğrenimi alanı her geçen gün hayatımızın her alanında önem kazanmaktadır. Raylı sistemler alanında da birçok makine öğrenimi ve veri analizi çalışmaları yapılmaktadır. Katener sistemleri özelinde, görüntü işleme yöntemiyle hata tespitleri yapılarak olası arızalar önceden tespit edilebilip, hattın güvenliği artırılabilir.

Pandül hesaplama işlemleri, daha önceki çalışmalarda belirtildiği üzere doğrusal olmayan bir denklem sistemidir (Song, Liu, Wang, Lu, & Zhang, 2015). Bu sebeple doğrusal olmayan pandül hesapları için sonlu elemanlar yöntemi, Newton-Raphson iterasyonu gibi yöntemlerle sonuca ulaşmaya çalışılmıştır. Bu noktada, doğrusal olmayan ilişkileri modelleme yeteneği yüksek olan yapay sinir ağları önemli bir çözüm aracı olarak ortaya çıkmaktadır. Pandül hesaplamalarında, yapay sinir ağları etkin bir şekilde kullanılabilir ve hesap işlemlerinin daha verimli ve etkin hale getirilmesinde yeni bir zemin oluşturabilir.

Bu bakış açısıyla, bu çalışmada önceleri el ile hesaplanan günümüzde ise maliyetli yazılımlarla hesaplanabilen pandül boyu belirlenmesi konusunda, Matlab® yazılımının yapay sinir ağları eklentisi ile yapılan incelemelerde; eğitilen yapay sinir ağı, veri setindeki girdi ve çıktıları öğrendikten sonra beklenen çıktıya oldukça benzer veriler üretebilmiştir. Bu durum; yapay sinir ağlarının, mevcut raylı sistem katener tesislerindeki pandül verilerinin eğitim verisi olarak kullanıldığı uygulamalarda, gelecek pandül hesaplamaları için farklı bir yöntem olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Bu çalışmada mevcut raylı sistem tesislerine ait bir pandül veri seti ile yapay sinir ağlarının eğitilmesi mantığına dayanarak pandül boylarının gerçeğe yakın şekilde elde edilebileceği gösterilmiştir. İlk olarak pandül boylarını etkileyen girdiler belirlenmiştir ve bu girdiler ilgili çıktılarla eşleştirilmiştir. Bu veriler uygun şekillerde ayıklanarak işlenebilir hale getirilmiştir. Sonrasında ayıklanan veriler ile bir yapay sinir ağları kütüphanesi oluşturulmuştur. Otomatik pandül çizdirme fonksiyonları oluşturularak elde edilen pandül verilerinin görselleştirilmesi sağlanmıştır.

Tablo 4.2'ye bakıldığında, tüm pandül hesaplamaları için ortalama hata oranı 1,07 cm'dir. Bu değer yapay sinir ağları ile, pandül hesabı işleminin ne kadar yüksek

doğrulukta yapılabildiğini göstermektedir. En düşük hata oranlarının 0,25 cm olduğu görülmüştür. En yüksek hata oranlarının ise, 2,21 cm olduğu görülmüştür. Bu gruptaki hata oranının yüksek olmasının sebebi veri setindeki 5 çıktılı Y halatlı veri grubuna ait projedeki verilerin azlığından kaynaklanmaktadır. Daha geniş bir veri setiyle daha düşük hata oranının gerçekleştiği diğer gruplarda görülmektedir. Gelecekte daha kalabalık veri setleriyle tahmin doğruluk oranları artırılabilir.

Oluşturulan sistem, daha geniş veri setleriyle geliştirilerek standart Y halatlı demiryolu projelerinde kullanılabilir. Bu sistem mantığının kullanılması, pandül hesaplama işlemlerinin çok hızla ve yüksek doğrulukla yapılması ve işlerin aksamadan proje sahasına tüm tesis için pandül hesaplarının çok kısa sürede otomatik olarak yapılması gibi kolaylıklar sunabilecektir.

Gelecek çalışmalar olarak, katener sistemlerinde konsol-hoban takımları boru boyu ölçüleri de benzer mantıkla hat girdilerine göre hesaplanıp, boru boyutları belirlenmektedir. Gelecekte uygun veri setleri oluşturularak konsol-hoban setleri boru boyları belirlenirken de benzer mantık kullanılabilir. Ayrıca, daha çeşitli projelerden daha geniş girdi eklentileriyle güçlendirilen verilerin birleştirilip daha büyük veri setleri oluşturularak ve bu verilerin de gruplandırılıp eğitilmesiyle, her türden standart katener sistemi projesine daha yüksek hassasiyet ile yanıt verecek tek bir uygulama yapılabilir.

Ülkemizde ve dünyamızda raylı sistemlerle taşımacılık, diğer taşımacılık modellerine önemli bir alternatif olarak gelişimini sürdürmektedir. İletim hatlarıyla donatılan elektrikli taşımacılık da hem çevreci hem de ekonomik çözümler sunabildiğinden yeni tesis edilen projelerin çoğu elektrikli işletme yapılmak üzere tesis edilmekte ve hali hazırda dizel işletmecilik yapılan hatlar da modernize edilerek sinyalizasyon ve elektrifikasyon tesisleri ile donatılmaktadır. Günümüzde -özellikle kent içi demiryolu ulaşımında- farklı enerjilendirme alternatifleri tartışılrsa da katener sistemleri şehirlerarası ulaşımında tek tercihken, şehir içi ulaşımında da yüksek oranda tercih edilmektedir. Dolayısıyla katener tesisi tasarımlarındaki akademik çalışmalar da bu yönde artmakta ve yeni bakış açılarıyla gelişmektedir. Bu çalışma da böylelikle bu alandaki kısıtlı olan literatüre diğer pandül hesaplama yöntem ve mantıklarına ek olarak katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu çalışmada aktarılan sistem ve benzeri üretilecek sistemler yaygınlaştığı takdirde, ülkemizdeki demiryolu yatırımlarının da hızla arttığı günümüzde, yazılım ithalatının bu alanda azalmasına katkı sağlayabilecektir.

KAYNAKÇA

- Bautista, A., Montesinos, J., & Pintadoa, P. (2016). Dynamic interaction between pantograph and rigid overhead lines using a coupled FEM — multibody procedure. *Mechanism and Machine Theory*, 100-111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2015.10.009>
- Benet, J., Cuartero, N., Cuartero, F., Rojo, T., Pedro, T., & Arias, E. (2013). An advanced 3D-model for the study and simulation of the pantograph catenary system. 138-156. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.08.004>
- Chen, L., Peng, P., & He, F. (2018). Fatigue life analysis of dropper used in pantograph-catenary system of high-speed railway. *Advances in Mechanical Engineering*, 1–10. doi:<https://doi.org/10.1177/1687814018776135>
- Cho, Y. H. (2008). Numerical simulation of the dynamic responses of railway overhead contact lines to a moving pantograph, considering a nonlinear dropper. *Journal of Sound and Vibration*, 433-454. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.02.024>
- Cho, Y. H., Lee, K., Park, Y., Kang, B., & Kim, K.-n. (2010). Influence of contact wire pre-sag on the dynamics of pantograph–railway catenary. *International Journal of Mechanical Sciences*, 1471-1490. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2010.04.002>
- Diri, B. (2014). *Makine Öğrenmesine Giriş*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Akademik Veri Yönetim Sistemi. <https://avesis.yildiz.edu.tr/diri/dokumanlar> adresinden alındı
- Fonseca-Delgado, R., & Gómez-Gil, P. (2013). An assessment of ten-fold and Monte Carlo cross validations for time series forecasting. *2013 10th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*. Mexico City: IEEE. doi:10.1109/ICEEE.2013.6676075
- Gao, S., Liu, Z. G., & Yu, L. (2017). Detection and Monitoring System of the Pantograph-Catenary in Highspeed Railway (6C). *2017 7th International Conference on Power Electronics Systems and Applications - Smart Mobility, Power Transfer & Security (PESA)*. Hong Kong: IEEE. doi:10.1109/PESA.2017.8277746

- Guo, Q., Liu, L., Xu, W., Gong, Y., Zhang, X., & Jing, W. (2020). An Improved Faster R-CNN for High-Speed Railway Dropper Detection. *IEEE Access*, 105622 - 105633. doi:10.1109/ACCESS.2020.3000506
- Jung, S. P., Kim, Y. G., Paik, J. S., & Park, T. W. (2012). Estimation of Dynamic Contact Force Between a Pantograph and Catenary Using the Finite Element Method. *Journal of computational and nonlinear dynamics*, 13. doi:https://doi.org/10.1115/1.4006733
- Kiessling, F., Puschmann, R., Schmieder, A., & Schneider, E. (2009). *Contact lines for electric railways: planning, design, implementation, maintenance*. (B. a. Siemens Aktiengesellschaft, Dü.) Erlangen: Publicis Publishing.
- Lee, J.-H., & Park, T.-W. (2012). Development of a three-dimensional catenary model using cable elements based on absolute nodal coordinate formulation. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 3933–3941. doi:https://doi.org/10.1007/s12206-012-0892-7
- Oura, Y., Mochinaga, Y., & Nagasawa, H. (1998). Railway Electric Power Feeding System. *Japan railway & transport review* 16(10), 48-58.
- Özmen, İ. (2014, Mayıs). 750 V DC CER GÜCÜ TEDARİK SİSTEMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLEMESİ, BENZETİMİ VE ANALİZİ. *YÜKSEK LİSANS TEZİ*. İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ.
- Öztemel, E. (2012). *YAPAY SİNİR AĞLARI*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Song, Y., Liu, Z., Wang, H., Lu, X., & Zhang, J. (2015). Nonlinear modelling of high-speed catenary based on analytical expressions of cable and truss elements. *Vehicle System Dynamics*, 1455-1479. doi:https://doi.org/10.1080/00423114.2015.1051548
- Srivastava, J. K., Singh, V. K., & Singhal, A. K. (2013). Review on Railway Traction Power Supply. *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*, 1236-1250.

- Tan, P., Li, X., Wu, Z., Ding, J., Ma, J., Chen, Y., . . . Ning, Y. (2019). Multialgorithm Fusion Image Processing for High Speed Railway Dropper Failure–Defect Detection. *IEEE*, 4466 - 4478. doi:10.1109/TSMC.2019.2938684
- TS EN 50367. (2012). *Demiryolu uygulamaları- Akım toplama sistemleri- Pantograf ile havai hat arasındaki etkileşim için teknik kriter (serbest erişim elde etmek için)* (ICS 45.060.01)
- TS EN 50119. (2002). *Demiryolu Uygulamaları- Sabit Tesisler- Elektrikli Cer- Temas Hava Hatları* (ICS 29.280)
- Wei, X., Meng, H., He, J., Jia, L., & Li, Z. (2020). Wear analysis and prediction of rigid catenary contact wire and pantograph strip for railway system. *Wear*, 442-443. doi:https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203118
- Zdziebko, P., Martowicz, A., & Uhl, T. (2019). Experimental and numerical investigation on the components of a pantograph slider suspension. *III International Conference of Computational Methods in Engineering Science (CMES'18)* (s. 6). MATEC Web of Conferences 252, 05003 (2019). doi:https://doi.org/10.1051/mateconf/201925205003

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Alırıza ATAM

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2016, Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği (İngilizce)
- 2017-2018, Yönetici Adayı, Barsan Global Lojistik
- 2018-Günümüz, Elektrifikasyon Tasarım Mühendisi, Yapı Merkezi İnşaat, Ulaşım Sistemleri

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Alırıza Atam, Seçkin Uluskan (2021), Raylı Sistem Elektrifikasyonu Katener Sistemlerinde Pandül Verilerinin Yapay Sinir Ağları İle Tasarlanması. *2021 IOCENS International Online Conferences on Engineering and Natural Sciences*