

Elektrik- Elektronik ve Kontrol Mühendisliği Alanında Farklı Yaklaşımlar

Editor
HASAN ÜZMUŞ

BİDGE Yayınları

Elektrik- Elektronik ve Kontrol Mühendisliği Alanında Farklı Yaklaşımlar

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÜZMUŞ

ISBN: 978-625-372-199-2

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.06.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara



ÖNSÖZ

Teknolojinin gelişiminde ve sürdürülmesinde önemli bir yere sahip olan Elektrik-Elektronik ve Kontrol Mühendisliğinin çalışma alanları gün geçtikçe genişlemekte ve farklılaşmaktadır. Bu alanların sahip olduğu dinamik yapı mühendislik dünyasının yanı sıra küresel toplumları da hem etkilemekte hem de geliştirmektedir.

Bu eserde sunulan “Radyasyon Dedektörü Yapımı ve Örnekler Üzerinden Radyasyon Ölçümü” , “Tahıl Silo Dolum İşlemlerinin Verimli, Güvenilir ve Çevresel Açıdan Sürdürülebilir Hale Getirilmesi için SCADA Tabanlı PLC Otomasyon Sistemiyle Kontrol Edilmesi”, “Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Diferansiyel Röle Uygulamaları, Güvenlik ve Sistem Performansının Artırılması”, “DC ve AC Şarj İstasyonları Hakkında Tanıtıcı Bilgiler”, “Biyosensörlerde Kullanılan Nanomalzemelerin Sentez, Karakterizasyon, Uygulama Yöntemleri ve Gelecek Perspektifi” ve “Buzlu İzolatörlerde Atlama Olayının Yapay Zekâ Teknikleri ile İncelenmesi” isimli çalışmalar ile Elektrik-Elektronik ve Kontrol Mühendisliği alanlarında çalışmak isteyen herkes için kılavuz bilgiler yer almaktadır.

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÜZMUŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
Radyasyon Dedektörü Yapımı ve Örnekler Üzerinden Radyasyon Ölçümü.....	6
Yunus AKALTUN	6
Ali KARAKOÇ	6
Tahıl Silo Dolum İşlemlerinin Verimli, Güvenilir ve Çevresel Açından Sürdürülebilir Hale Getirilmesi İçin SCADA Tabanlı PLC Otomasyon Sistemiyle Kontrol Edilmesi.....	31
Çetin GÜR.....	31
Oktay OKTA	31
Cengiz TÜRKMEN	31
Taner ÇARKIT	31
Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Diferansiyel Röle Uygulamaları, Güvenlik ve Sistem Performansının Artırılması.....	72
Uğur Ali KARATAŞ.....	72
Recep YUMURTACI.....	72
Furkan KARAKUŞ	72
DC ve AC Şarj İstasyonları Hakkında Tanıtıcı Bilgiler	134
İshak PARLAR.....	134
Özge KAYA	134
Biyosensörlerde Kullanılan Nanomalzemelerin Sentez, Karakterizasyon, Uygulama Yöntemleri ve Gelecek Perspektifi	148
Özgün UZ	148
Özge TÜZÜN ÖZMEN.....	148

Buzlu İzolatörlerde Atlama Olayının Yapay Zekâ Teknikleri ile İncelenmesi	188
Muhammed Buğracan ÖZKÜÇÜK	188
Muhsin Tunay GENÇOĞLU	188
Ömer Faruk ALÇİN	188
Yenilenebilir Güç Üretim Sistemlerinin Modellenmesi ve Optimizasyonu	243
Bahtiyar DURSUN	243
Ercan AYKUT	243

BÖLÜM I

Radyasyon Dedektörü Yapımı ve Örnekler Üzerinden Radyasyon Ölçümü

Yunus AKALTUN¹
Ali KARAKOÇ²

Giriş

Bu araştırmanın amacı, radyasyon dedektörlerinin yapımı ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümleri hakkında bilgi vermektir. Çalışmada, radyasyon dedektörlerinin üretimi ve farklı şekillerde kullanımı incelenecektir. Ayrıca alfa, beta, gama radyasyonu gibi farklı radyasyon türlerinin belirtileri ve bu tür radyasyonlara farklı parçacıkların tepkisi de araştırılmaktadır.

¹ Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Erzincan, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9534-9106

² Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Erzincan, Türkiye, Orcid: 0000-0003-4936-9864

Sonuç olarak, radyasyon dedektörü yapımı ve çeşitli malzemelerin radyasyon ölçümüne yönelik araştırma, insanların güvenliğini ve çevrenin korunmasını sağlamak için önemlidir.

Günlük yaşamda radyasyon dedektörleri yapmak ve malzemelerden radyasyon ölçmek yaygın olarak karşılaşılan ihtiyaçlar değildir. Bu tür dedektörler genellikle özel endüstriyel, tıbbi veya bilimsel uygulamalarda kullanılır. Günlük hayatta radyasyon kaynaklarının tespiti veya belirli bölgelerdeki radyasyon seviyelerinin kontrol edilmesi gibi özel durumlar için radyasyon dedektörleri kullanılabilir.

1. Kaynak Özetleri

Firdevs Banu Özdemir'in (2016) "Çok silikonlu radyasyon dedektörünün yapım aşamasında veri toplama, analiz ve benzetim çalışmalarının gerçekleştirilmesi" adlı doktora tezinde; Veri toplama ve analiz çalışmalarıyla dedektörün performansı değerlendirilmiştir. Gerçek deneylerle farklı radyasyon kaynaklarının dedektöre iletilmesi sağlanmış ve dedektör tepkisini gösteren sinyaller kaydedilmiştir. Bu analizler, enerji kaybı, hassasiyet, arka plan gürültü seviyeleri ve radyasyon algılama olasılığı gibi dedektör özelliklerini değerlendirmiştir. Ayrıca, bilgisayar simülasyonları dedektör tasarımlarını optimize etmek ve performanslarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu simülasyonlar, dedektörün fiziksel özellikleri ve radyasyonla etkileşimini göstermektedir.

Sinem Vahide Kurudirek'in (2015) "Hidrotermal yöntemle büyütülen ZnO nanoçubukların karakterizasyonu ve radyasyon dedektörü olarak kullanılabilirliğinin araştırılması" adlı doktora

tezinde; Hidrotermal yöntem kullanılarak sentezlenen ZnO nanoçubuklarının karakterizasyonu yapılmış ve radyasyon dedektörleri olarak potansiyel kullanımı araştırılmıştır. Nanoçubukların radyasyon tespitindeki hassasiyeti ve etkinliği incelenmiştir. Sonuçlar, hidrotermal yöntemle başarılı bir şekilde sentezlenen ZnO nanoçubukların gerekli yapısal özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, nanoçubukların radyasyon dedektörleri olarak kullanılabilceği potansiyeline sahip oldukları bulunmuştur. Bu çalışma, ZnO nanoçubukların radyasyon dedektörleri olarak kullanımını daha da geliştirmek için ileri araştırmalara temel oluşturabilecek önemli bilgiler sunmaktadır.

Berkan Kaynak'ın (2018) "Plastik sintilatörler ile radyasyon ölçümü ve geant ile benzetim çalışmaları" adlı yüksek lisans tezinde; Radyometrik ölçümlerde plastik sintilatörün kullanılabilirliği araştırılmış ve Geant4 simülasyonları kullanılarak yapılan çalışmaların özeti sunulmuştur. Plastik sintilatörler, radyasyonla etkileşime girdiğinde ışık emisyonu üreten malzemelerdir. Sonuçlar, plastik sintilatörün radyasyon ölçümleri için başarılı bir şekilde kullanılabilceğini ve farklı radyasyon türleriyle etkileşimlerde iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Geant4 simülasyonları, plastik sintilatörün davranışını simüle etmek için kullanılmış ve deneysel sonuçlarla uyumlu sonuçlar üretebilmiştir. Bu çalışma, plastik sintilatörün radyometrik ölçümlerde kullanılabilirliğini ve Geant4 simülasyonlarının önemini vurgulayarak, bu alanlarda daha ileri araştırmalar için temel oluşturabilecek bilgiler sunmaktadır.

SN. Ahmed'in (2007) "Physics and engineering of radiation detection" adlı kitabında; radyasyon tespiti alanındaki fiziksel ve

mühendislik konularını ele almaktadır. Bu kitapta, radyasyon tespiti alanındaki fiziksel ve mühendislik problemlerinin çözümü, radyasyonun temel prensipleri, radyasyon dedektörlerinin çalışma prensipleri, bu dedektörlerin tasarımı ve karakterizasyonu gibi konular ele alınmaktadır. İyonlaştırıcı ve radyasyonla etkileşime giren malzemelerden yapılan dedektörler, elektromanyetik dedektörler, nötron dedektörleri ve parçacık dedektörleri gibi farklı türleri içerir. Ayrıca dedektörlerin doğruluk ve güvenilirlik açısından nasıl kalibre edileceğini ve test edileceğini de açıklar. Bu kitap, radyasyon tespiti alanındaki temel prensiplerin, çalışma prensiplerinin ve radyasyon dedektörlerinin tasarımının kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır.

J. Seco, B. Clasié ve M. Partridge (2014) “Review on the characteristics of radiation detectors for dosimetry and imaging” adlı makalelerinde; Dozimetri ve görüntüleme için kullanılan radyasyon dedektörlerinin özelliklerini incelemektedir. Makalede, farklı radyasyon dedektörlerinin özellikleri, avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları tartışılmaktadır. Her dedektör tipinin çalışma prensibi, hassasiyet, enerji çözünürlüğü ve hızlı tepki süresi gibi özellikleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Ayrıca, dedektörlerin avantajları, dezavantajları ve farklı uygulama alanları da detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Makalede, dedektörlerin kalibrasyon işlemi, standart referansla karşılaştırılması ve kalibrasyon katsayılarının belirlenmesi gibi konular da incelenmiştir. Farklı dedektör tiplerinin avantaj ve dezavantajlarının tartışıldığı bu makale, alanda çalışan araştırmacılara ve uygulayıcılara kaynak olmayı hedeflemektedir.

JM. McKenzie (1979) “Development of the semiconductor radiation detector” adlı makalesinde; Yarıiletken radyasyon dedektörlerinin gelişimiyle ilgili bir çalışmayı kapsamaktadır. Makale, yarıiletken malzemelerin radyasyon dedektörleri olarak kullanılmasının araştırılması, tasarımı ve geliştirilmesini ele almaktadır. Yarıiletken dedektörlerin radyasyon tespiti alanında kullanımını önemli kılan özellikler tartışılmaktadır. Makalede, yarıiletken dedektörlerin kullanımı ve performansı nükleer tıp, parçacık fiziği, nükleer enerji ve endüstriyel radyasyon izleme gibi alanlarda test edilmektedir. Bu uygulama örnekleri, yarıiletken dedektörlerin geniş çapta kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu makale, yarıiletken radyasyon dedektörlerinin geliştirilmesine yönelik kapsamlı bir çalışma sunarak, yarıiletken malzemelerin radyasyon dedektörleri olarak kullanılmasına yönelik potansiyeli ve tasarım süreçlerini araştırarak, bu alanda daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmalarının teşvik edilmesini amaçlamaktadır.

2. Kuramsal Temeller

2.1. Radyasyon Nedir ve Radyasyonun Tarihçesi

Radyasyonun tarihi 19. yüzyılın başlarından günümüze kadar uzanır. Wilhelm Conrad Roentgen, 1895 yılında X-ışınlarını keşfetti ve bu keşif insanların kontrol edebileceği radyasyon türlerinin olduğunu gösterdi. Aynı dönemde Henri Becquerel radyoaktiviteyi keşfetti, bu da atom çekirdeğinden doğal olarak yayılan radyasyonu ifade etmektedir. Radyasyonun tıbbi ve endüstriyel uygulamaları 20. yüzyılda hızla gelişti. Radyasyon kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılmaya başlandı ve bu yöntem radyoterapi adı verildi.

Aynı dönemde nükleer enerji üretimi ve nükleer silahlar gibi alanlarda radyasyon kullanımı arttı. Radyasyonun etkileri ve güvenli kullanımı, sürekli olarak araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Bu alışmalar, radyasyonun kontrol altında tutulmasını ve insanların güvenli bir şekilde radyasyonla çalışmasını sağlamayı hedeflemektedir (Roentgen, 1895; Becquerel, 1896).

2.2. Radyasyonun Sınıflandırılması ve Radyasyonun eşitleri

Radyasyon, enerjinin elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar şeklinde yayılmasıdır. Radyasyon farklı türlerde olabilir ve çeşitli kaynaklardan gelir. Radyasyonun sınıflandırılması genellikle iki ana kategoriye ayrılır:

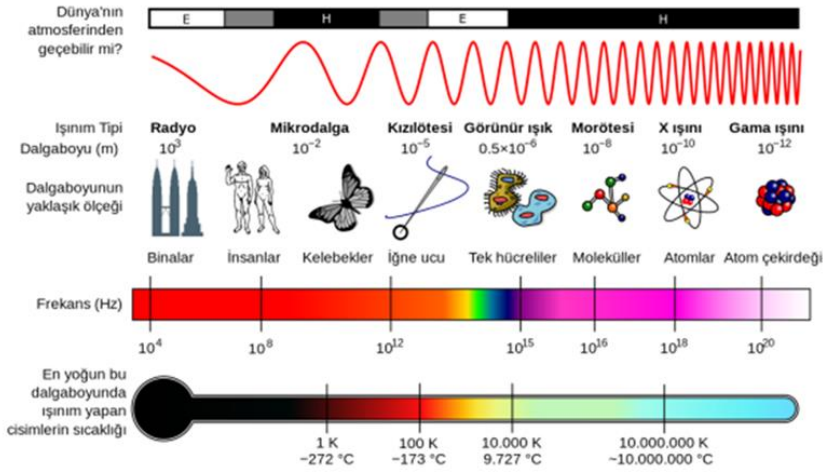
a) İyonlaştırıcı radyasyon: yüksek enerjili parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar içerir ve elektronları atomlardan uzaklaştırarak iyonlaşma sürecini tetikleyebilir. İyonlaştırıcı radyasyonun başlıca türleri şunlardır:

- Alfa parçacıkları: İki proton ve iki nötron içeren bir helyum çekirdeğidir. Alfa parçacıkları yüksek enerjiye sahiptir ve elektronları atomlardan uzaklaştırarak iyonlaşmaya neden olabilir.

- Beta parçacıkları: Enerjik elektronlar (beta negatif) veya pozitronlar (beta pozitif) şeklinde oluşan parçacıklardır. Beta parçacıkları da elektronları atomlardan uzaklaştırarak iyonlaşmaya yol açabilir.

- Gama ışınları ve X-ışınları: Elektromanyetik dalgalar şeklinde ortaya çıkarlar. Yüksek enerjileri nedeniyle elektronları atomlardan uzaklaştırarak iyonlaşmaya sebep olabilirler.

b) İyonlaştırıcı olmayan radyasyon: Elektrik veya manyetik alanda enerji taşıyan ve atomlardan elektronları uzaklaştırmayan radyasyon türlerini kapsar. Örnekler arasında radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ve ultraviyole ışık bulunur. Bu tür radyasyon, telekomünikasyon, kablosuz iletişim, ısıtma ve aydınlatma gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, genellikle düşük enerjili ve insan sağlığına doğrudan zarar verme potansiyeli düşüktür. Ancak, yüksek dozda veya uzun süreli maruziyet durumunda bazı etkileri olabilir, bu nedenle güvenli kullanım ve maruziyet sınırlamaları önemlidir.



Şekil 1: Elektromanyetik Spektrum

İyonlaştırıcı radyasyon, radyoaktif atomlar tarafından üretilen enerji veya parçacıklar olarak ifade edilir ve atomları iyonize etme yeteneğine sahiptir. Elektronları atomlardan uzaklaştırmak için yeterli enerjiye sahiptir. Diğer yandan, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (örneğin radyo dalgaları veya

görünür ışık), bu enerjiye sahip olmadığı için atomları elektriksel olarak yüklü hale getiremez. (Çimen, Erdoğan ve Oğul,2017)

2.3. Doğal ve Yapay Radyasyonlar

Doğal radyasyon ve yapay radyasyon, farklı kaynaklardan elde edilen radyasyon türlerini ifade eder. Doğal radyasyon, doğal kaynaklar ve doğal olarak meydana gelen zararlı maddeler tarafından üretilir. Doğal radyasyon kaynaklarını içerir: Radyoaktif mineraller, Toprak ve su, Güneş ışınları, Kozmik radyasyon.

Yapay radyasyon, insan faaliyetleri sonucunda üretilen radyasyon türünü ifade eder. Yapay radyasyon kaynakları şunları içerebilir: Tıbbi uygulamalar, Nükleer enerji, Endüstriyel uygulamalar, Nükleer silahlar (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000).

3.4. Radyasyon Dedektörleri

Radyasyon dedektörleri, radyasyon kaynaklarının tespit edilmesi ve kullanımı için kullanılan cihazlardır. Bu dedektörler, radyasyonun kontrolü, nükleer enerji sektörü, tıp, endüstriyel uygulamalar ve güvenlik gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılır. Farklı çalışma prensiplerine sahip olan çeşitli dedektör türleri bulunmaktadır ve bazı yaygın yayılma dedektörler Şunlardır: Geiger-Muller Sayacı, Sintilasyon Dedektörleri, Oransal sayaç, İyonizasyon odası. (International Atomic Energy Agency, 2002)

3.5. Arduino

Arduino, İtalyan şirketi Arduino LLC tarafından sunulan bir mikrodenetleyici tabanlı elektronik platformdur. (Arduino, 2021). Arduino, kullanıcıların yazılım geliştirme ortamını kullanarak

programlama yapmasına olanak sağlar. Bu da çeşitli sensörlerin, motorların ve diğer elektronik projelerin geliştirilmesine olanak tanır. (Smith, 2018).

Arduino, kullanıcıların projelerini paylaşmalarına ve parçalara göre parçalanabilir kütüphanelerden yararlanmalarına olanak sağlayan kapsamlı açık kaynaklı bir platformdur (Johnson, 2020). Bu şekilde Arduino, bilgi ve deneyim paylaşımını kolaylaştırarak yeni gelişmelerin teşvik edilmesine olanak tanır. Kullanıcılar, Arduino kullanarak robotik projeler, ev otomasyon sistemleri, sensörlü uygulamalar ve daha birçok elektronik proje üzerinde çalışabilirler. (Brown, 2019)

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Radyasyon Dedektörünün Tasarımı

Geiger-Müller tüplü bir radyasyon ölçüm dedektörü yapma kararı alındı. Dedektörün yapımı üç adımda gerçekleştirilecek ve bu adımlar, elektronik devreyi ve Arduino'yu birleştirerek bir Geiger-Müller radyasyon dedektörü oluşturmakla sonuçlanacaktır.

Adım 1: Devre Tasarımı

- Geiger-Müller tüpü ile birlikte kullanılacak olan bir elektronik devre tasarlanmalıdır. Bu devre, tüpten gelen sinyalleri algılayacak ve işleyecektir.

Adım 2: Devre Uygulaması ve Montajı

- Devre, şemaya uygun olarak gerçekleştirilmeli ve montajlanmalıdır. Elektronik bileşenler, devre kartı üzerine lehimlenmeli veya uygun bağlantı yöntemleriyle bir araya getirilmelidir.

Adım 3: Yazılım Geliştirme

- Mikrodenetleyici (Arduino) için, tüpten gelen sinyallerin okunmasını, işlenmesini ve radyasyon seviyesinin hesaplanmasını sağlayacak bir yazılım geliştirilmelidir.

3.2. Geiger-Müller dedektörü

Geiger-Müller (GM) tüpü, radyasyon tespiti için kullanılan gazla dolu bir tüptür. GM tüpü, içindeki gazın iyonlaşması prensibine dayanarak radyasyonu tespit eder ve böylece radyasyon seviyesini ölçer. GM silindirlerinde kullanılan gazlar hakkında daha fazla ayrıntı aşağıda yer almaktadır:

- Ortam Gazı (Çalışma Gazı):

GM tüpleri tipik olarak bir soy gaz olan helyum (He) veya argon (Ar) ile doldurulur. Helyum daha düşük voltajlarda çalışır ve alfa parçacıklarını tespit etmede daha etkilidir; argon ise daha yüksek voltajlarda çalışır, beta ve gama radyasyonunu tespit etmede daha etkilidir. Yüzdeleri şu şekilde olabilir:

- Helyum (He): Yaklaşık %90

- Argon (Ar): Yaklaşık %90

- Quench Gazı:

İçerdiği gazın iyonlaşma sürecini kontrol etmek ve devam eden iyonlaşmayı durdurmak için bir "söndürme gazı" kullanılır. Metan (CH₄) veya etan (C₂H₆) gibi organik bileşikler sıklıkla söndürme gazları olarak kullanılır. Örneğin:

- Metan (CH₄): Yaklaşık %1-10

➤ Etan (C₂H₆): Yaklaşık % 1-10

• Dolgu Gazı:

GM tüpü içindeki gazın basıncını ve elektriksel özelliklerini kontrol etmek için kullanılır. Örneğin etilen (C₂H₄) veya metanol (CH₃OH) gazlar kullanılabilir. Doldurma gazı yüzdesi tüpün tasarımına bağlı olarak da değişebilir. Örneğin:

➤ Azot (N₂): Yaklaşık % 1-10

➤ Etilen (C₂H₄): Yaklaşık % 1-10

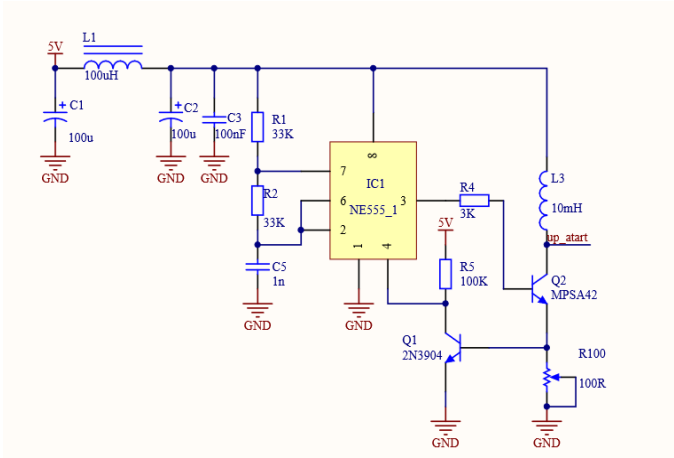
3.3. Elektronik devrenin bilgisayar yardımıyla çizimi

Elektronik devrenin bilgisayar yardımıyla çizimi toplamda altı adım olarak gerçekleştirilmiştir.

• Adım 1

Gerilim Modülü Tasarımı

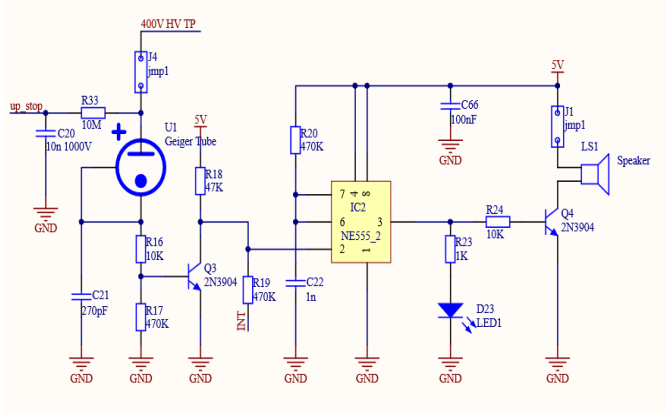
Şekil 2: Gerilim Modülü Tasarımı



• Adım 2

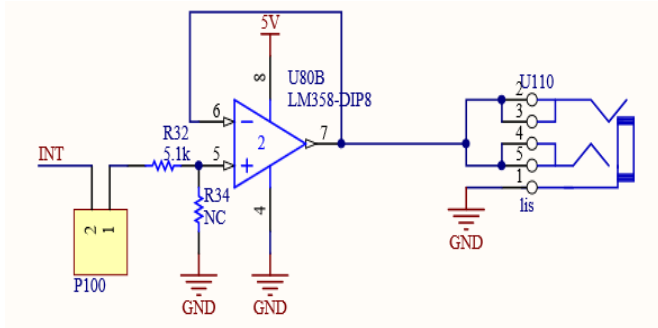
Gaiger- Müller Tüplü Ana Modül

Şekil 3: Gaiger- Muller Tüpü Ana Modül Tasarımı



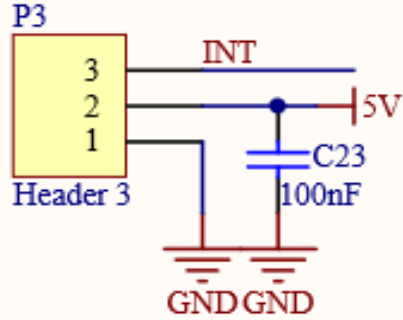
- Adım 3
Çıkış Modülü (Mikrofon)

Şekil 4: Çıkış Modülü Tasarımı



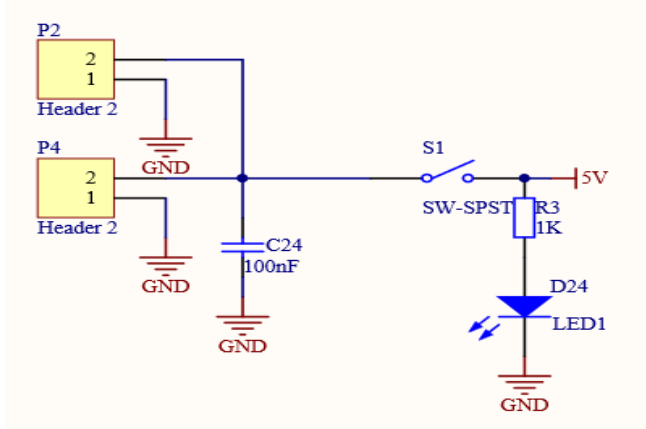
- Adım 4
Çıkış eklentisi

Şekil 5: Çıkış Eklentisi Tasarımı



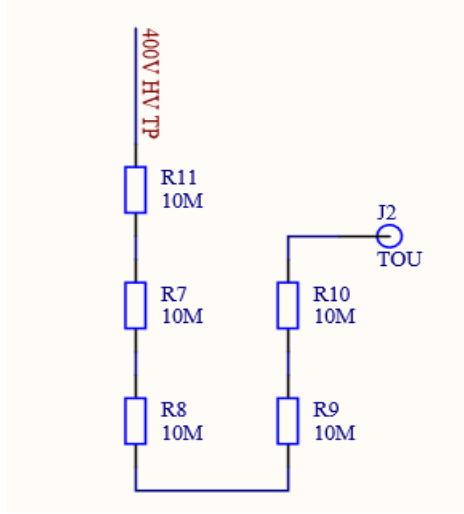
- Adım 5
Geçiş Entegresi

Şekil 6: Geçiş Entegresi Tasarımı



- Adım 6
Geri beslemeli Test Modülü

Şekil 7: Geri Beslemeli Test Modülü Tasarımı



4. Bulgular

Radyasyon değerleri mS (MiliSivert) cinsinden ölçülerek not edilmiştir.

- uSv değerini hesaplama

GM Tüp modeli: M4011

1uSv/h = 151 CPM

- Anlık uSv değerini hesaplamak için formül:

Anlık uSv = ((Geçen Milisaniye / 60000) * Sayılan Ticks) / CPM

- Anlık uSv güvenlik seviyesi:

$\leq 0,52$ Safe, $> 0,52$ ve < 10 Unsafe, > 10 UNSAFE!!!

- voltajı hesaplama

J2 test noktasında (PCB'nin sağ üst köşesi), voltajı ayarlamak için R100'ü kullanılmıştır, hesaplanacak formül:

$$\text{Çıkış voltajı} = V_{\text{read}} * ((60\text{m} + R_{\text{voltageMeter}}) / R_{\text{voltageMeter}})$$

Değerler fotoğraflı bir şekilde not edilmiştir. Sonuç kısmındaki değerlendirme şu şekildedir;

$\leq 0,52$ Safe, $> 0,52$ ve < 10 Unsafe, > 10 UNSAFE!!!


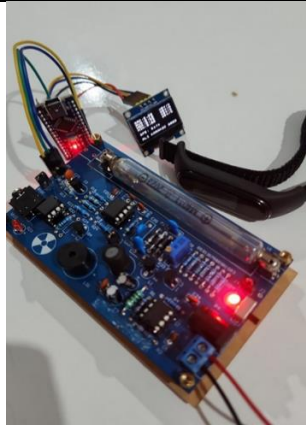
Tablo 1. referans alınarak Yıllık Doz oranlarının hesaplanması halinde, Normal bireyler için 0,52 uSv Altında olan değerler Güvenlidir.


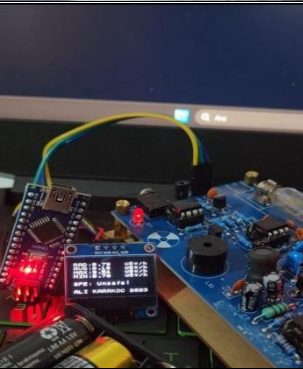
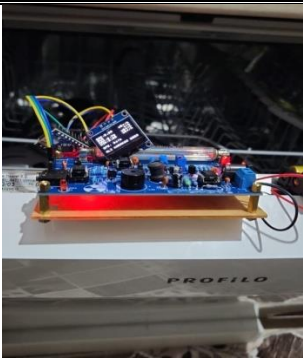
Tablo 1. Radyasyondan Korunma Kuralları Uyarınca Radyasyona Maruz Kalabilecek İnsan Gruplarının Alabilecekleri Maksimum Doz Değerleri

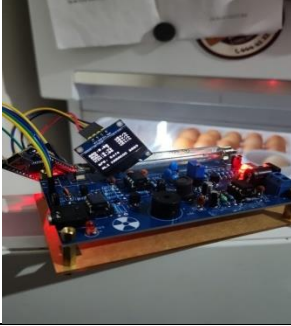
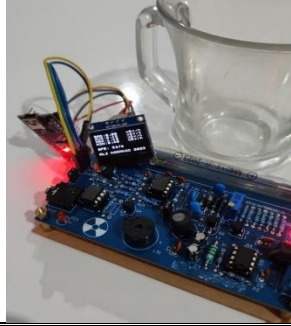
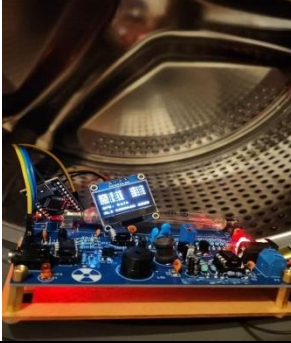
İNSAN GRUPLARI		VÜCUT BÖLGESİ	Doz Sınır Değeri (Bir Çalışma Yılı -2000 saat-Süresinde)	Doz Sınır Değeri(Birbirini takip eden 3 ay içinde)
1.Mesleği gereği radyasyonla çalışanlar	Çalışma Grubu A ¹	Tüm Vücut	50 mSv	25 mSv
		Vücutun Bir Bölümü	500 mSv	250 mSv
	Çalışma Grubu B ²	Tüm Vücut	15 mSv	7.5 mSv
		Vücutun Bir Bölümü	150 mSv	75 mSv
2.Radyasyondan Özellikle Korunması Gereken İnsanlar	a)18 yaşın altındakiler	Tüm Vücut	5 mSv	-----
	b)Hamileler	Rahim	-----	5 mSv/ay


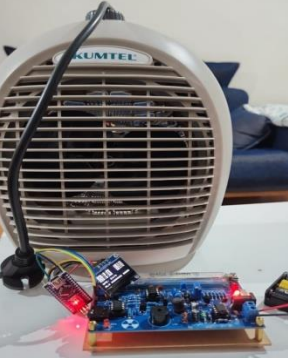

3.Kontrol ve gözetim bölgelerindekiler	Tüm Vücut	5 mSv	-----
4.Diğer kişiler	Tüm Vücut	1.5 mSv	-----


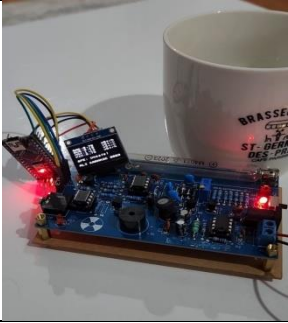

Tablo 2. Ölçüm Sonuçları Tablosu



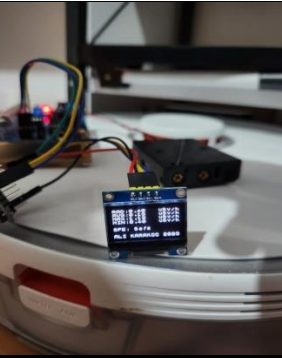
Ölçüm Yapılan Malzeme İsmi	Ölçüm Yapılan Malzemenin Fotoğrafi	Değerler	Ölçüm Sonucu
Airfryer		0.00 uSv	Güvenli
Akıllı Bileklik Saat		0.00 uSv	Güvenli

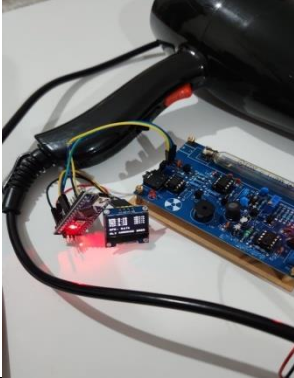


Araba		0.40 uSv	Güvenli
Bilgisayar		0.79 uSv	Güvenli Değil
Bulaşık Makinesi		0.00 uSv	Güvenli

Buzdolabı		0.00 uSv	Güvenli
Cam Bardak		0.00 uSv	Güvenli
Çamaşır Makinesi		0.40 uSv	Güvenli

Hava Temizleme Aracı		0.79 uSv	Güvenli Değil
Fanlı Isıtıcı		0.00 uSv	Güvenli
Kamera		0.00 uSv	Güvenli

Kettle		0.00 uSv	Güvenli
Porselen Bardak		0.79 uSv	Güvenli Değil
Kurutma Makinesi		0.00 uSv	Güvenli

Modem		1.19 uSv	Güvenli Değil
Dijital Piyano		0.00 uSv	Güvenli
Robot Süpürge		0.40 uSv	Güvenli

Saç Kurutma Makinesi		0.40 uSv	Güvenli
Cep Telefonu		0.79 uSv	Güvenli Değil
Radyum		0.79 uSv	Güvenli Değil

Sonuç

Radyasyon tespit cihazları, radyasyonu tanımak ve ölçmek için kullanılan önemli cihazlardır. Geiger-Müller (GM) sayacı, yaygın olarak kullanılan bir radyasyon dedektörüdür. Kendi

radyasyon dedektörünüzü yapmak istediğinizde aşağıdaki rehberlikler size yardımcı olabilir:

1. Geiger-Müller Sayacı Tüpü: İhtiyaçlarınıza uygun bir Geiger-Müller tüpü seçilmelidir. Bu tüp, radyasyon parçacıklarını tespit etmek ve iyonlaşmasını sağlamak için kullanılır.
2. Yüksek Gerilim Güç Kaynağı: Radyasyon dedektörü için yüksek gerilim gereklidir. Bu gerilim, tüpteki gazın iyonlaşmasını kolaylaştırır. Yüksek gerilim kaynağı, pil veya dönüştürülmüş bir güç kaynağı şeklinde olabilir.
3. Sayma Birimi: Radyasyon seviyesini ölçmek için bir sayma birimine ihtiyaç vardır. Bu birim, radyasyon parçacıklarını tespit eder ve sayma hızını hesaplar.
4. Kontrol Devreleri ve Bağlantılar: Radyasyon dedektörünün doğru çalışması için kontrol devreleri ve bağlantılar önemlidir. Bu devreler, yüksek gerilim kaynağını düzenler, sayacı okur ve bilgileri işler.
5. Kalibrasyon Standardı: Radyasyon dedektörünüzü doğru şekilde kalibre etmek için bir kalibrasyon standardı kullanılmalıdır. Bu, dedektörün belirli bir radyasyon seviyesiyle orantılı bir sayım üretmesini sağlar.
6. Koruyucu Kılıf: Radyasyon dedektörünü korumak ve güvenli bir şekilde kullanmak için koruyucu bir kılıf kullanmanız önerilir.

Kaynaklar

Ahmed, S. N. (2007) Physics and Engineering of Radiation Detection, *Academic Press*, Great Britain, 497.

Becquerel, H. (1896) “Sur les radiations émises par phosphorescence. (On the radiation emitted by phosphorescence)”, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 420-421.

Brown, C (2021) “Radyasyon Ölçümleri ve Sağlık Kontrolleri”, *Radyasyon Güvenliği ve Sağlık Dergisi*, 112-130.

Çimen, B., Erdoğan M., Oğul R. (2017) “İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri Ekim”, *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 139-147.

International, Atomic Energy Agency (2009) “Radiation Protection and Safety of Radiation Sources”, *International Basic Safety Standards*, Vienna, Austria.

Kaynak, B. (2018) "Plastik sintilatörler ile radyasyon ölçümü ve geant ile benzetim çalışmaları", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalı, İstanbul, 71.

Kurudirek, S.V. (2015) "Hidrotermal yöntemle büyütülen ZnO nanoçubukların karakterizasyonu ve radyasyon dedektörü olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Ana Bilim Dalı, Katıhal Fiziği Bilim Dalı, Erzurum, 165.

McKenzie, JM. (1979) “Development of the semiconductor radiation detector”, *Nuclear Instruments and Methods*, 1-3(162), 49-73.

Özdemir, F.B. (2016) "Çok silikonlu radyasyon dedektörünün yapım aşamasında veri toplama, analiz ve benzetim çalışmalarının gerçekleştirilmesi", Doktora Tezi, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Fizik Ana Bilim Dalı, Isparta, 135.

Roentgen, W.C. (1895) "Über eine neue Art von Strahlen. (On a new kind of rays)", ***Sitzungsberichte der Würzburger Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft***, 137-147.

Seco, J., Clasié B., Partridge M. (2014) "Review on the characteristics of radiation detectors for dosimetry and imaging", ***Institute of Physics and Engineering in Medicine***, England, 59.

United, Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000) "Sources and Effects of Ionizing Radiation", ***United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly***, New York.

BÖLÜM II

Tahıl Silo Dolum İşlemlerinin Verimli, Güvenilir ve Çevresel Açıdan Sürdürülebilir Hale Getirilmesi İçin SCADA Tabanlı PLC Otomasyon Sistemiyle Kontrol Edilmesi

Çetin GÜR¹
Oktay OKTA²
Cengiz TÜRKMEN³
Taner ÇARKIT⁴

Giriş

Tahıl silo otomasyonu, günümüz dünyasında giderek artan zorluklarla başa çıkabilmek ve küresel ihtiyaçlara daha etkili bir

¹ Kırklareli Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, cetingur@outlook.com, Orcid: 0009-0004-4454-6336

² Türk Telekom A.Ş., oktayokta@hotmail.com, Orcid: 0009-0003-7634-7078

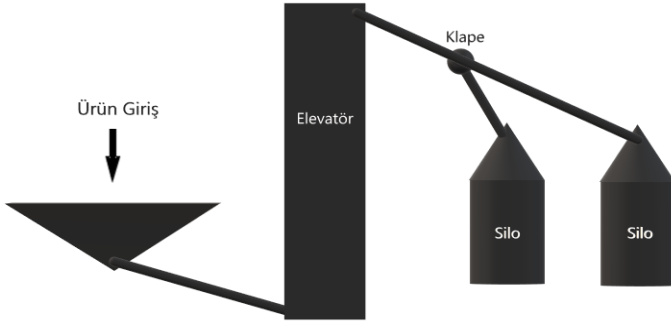
³ Toprak Mahsulleri Ofisi, cengizturkmenn28@gmail.com, Orcid: 0009-0000-6204-8323

⁴ Dr. Kırklareli Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, tanercarkit@klu.edu.tr, Orcid: 0000-0002-5511-8773

şekilde yanıt verebilmek adına önemli bir rol oynamaktadır. Küresel ısınma, iklim değişikliği, doğal afetler ve savaşlar gibi faktörler dünya genelinde gıda üretim ve dağıtım sistemlerine büyük ölçüde etki etmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği tarım alanlarını etkileyerek ürün verimliliğini azaltmakta ve su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemektedir (Demirel, 2009:270; Çelik & Köse, 2020:501-520). Doğal afetler ve savaşlar ise tarım alanlarına olan erişimi kısıtlayarak ürün hasatını ve ürünlerin depolanmasını zorlaştırmaktadır. İnsanlığın iki temel ihtiyacı olan su ve tahıl, bu zorluklarla baş etmek adına etkili ve güvenilir bir şekilde yönetilmelidir.

Günümüzde, nüfus artışı ve çeşitli faktörlerle birlikte gıda talebindeki artış, tarım sektörünü daha verimli ve sürdürülebilir hale getirme ihtiyacını ortaya koymaktadır. Tahıl, dünya genelinde temel bir besin kaynağı olup, buğday, pirinç ve mısır gibi ürünlerin sürdürülebilir bir şekilde depolanması ve yönetilmesi, küresel gıda güvenliğinin temelini oluşturmaktadır. İşte bu noktada, tahıl silo otomasyonu devreye girmekte ve tarım sektörünü geleceğe taşıyacak önemli bir çözüm sunmaktadır. Otomasyon sistemleri, tahıl depolama süreçlerini daha verimli, güvenilir ve sürdürülebilir hale getirerek, tarım ürünlerinin kayıplarını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu zorluklarla baş etme çabalarından motivasyon alan bu çalışmada, tahılın silolara aktarılması ve depolanması aşamaları için bir SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi sunulmaktadır. Silo otomasyonunu sağlamak için üzerinde çalışılan SCADA sistemi, tahılın depolama sürecinin daha etkili bir şekilde izlenmesine ve kontrol edilmesine imkan tanımaktadır. SCADA sistemleri, silolara gelen tahılın seviye

kontrolünden, malzeme transferine ve çeşitli işlem parametrelerinin izlenmesine kadar bir dizi işlemi yönetmekte ve optimize etmektedir. Bu sistem, sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı veri toplayarak, bu verileri merkezi bir kontrol noktasında analiz etmekte ve operatörlere anlık bilgiler sunmaktadır. Şekil 1’de temsili görüldüğü üzere; tasarlanan SCADA sistemi, özellikle tahılın elevatöre aktarılması ve daha sonra ilgili klapelelerin çeşitli yön değişimleri ile tahılın taşınacağı silolara aktarılmasını etkili bir şekilde yönetmektedir.



Şekil 1. *Tasarlanana temsili SCADA sisteminin temel çalışma şeması*

Bu sistem, tarım sektöründeki depolama süreçlerini optimize etmek ve genel verimliliği artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Kubura gelen tahılın yukarı taşınması aşamasında kullanılan elevatör, SCADA sistemi tarafından anlık olarak izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Aynı şekilde, tahılın taşınacağı silolara yönlendiren klapelelerin çeşitli yön değişimleri de SCADA sistemi tarafından koordine edilmekte ve sürekli olarak izlenmektedir. Bu sayede, depolama süreçleri daha verimli, güvenilir ve kontrol altında gerçekleştirilmektedir.

Tahılın doğru bir şekilde depolanması ve taşınması süreçlerinde teknolojinin etkin bir şekilde kullanılması, tarım sektöründeki operasyonları daha akıllı ve sürdürülebilir hale getirmektedir. Tasarlanan SCADA sisteminin, söz konusu bu hedef ve/veya hedeflere ulaşmak için tarım endüstrisine önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir. Yapılan tasarım sonucunda, SCADA sistemi sayesinde tahıl depolama süreçleri daha verimli bir hale getirilerek; enerji tasarrufu sağlama, malzeme kayıplarını minimize etme ve acil durum müdahale kapasitesini artırmak amaçlanmıştır.

Bu çabalarındaki temel amaç, tahılın silolara aktarımı ve depolanması süreçlerinde teknolojiyi etkin bir şekilde kullanarak, küresel zorluklara karşı dirençli ve sürdürülebilir tarım sistemlerine katkıda bulunmaktır. Tasarım sonucunda elde edilen sonuçlar; silo otomasyonu ve SCADA sistemleri sayesinde tarım sektörünün daha verimli, güvenilir ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir hale getirilebileceğini göstermektedir.

Çalışmada Yer Alan Bazı Tanımsal İfadeler

Otomasyon: Bir işlemi veya sistemleri insan müdahalesi olmadan otomatik olarak gerçekleştiren teknolojik sistemleri ifade etmektedir.

SCADA: Endüstriyel süreçleri izleyen, kontrol eden ve veri toplayan bir otomasyon sistemidir, genellikle büyük tesislerde kullanılmaktadır (Söğüt & Erdem, 2020:557-566).

PLC (Programmable Logic Controller): Endüstriyel süreçlerin kontrolünde kullanılan programlanabilir bir bilgisayar cihazıdır.

Sensör: Çevresel değişiklikleri algılayan ve bunları ölçülebilir sinyallere dönüştüren bir bileşendir.

Klape: Bir boru hattında sıvı veya gaz akışını kontrol etmek amacıyla kullanılan, genellikle döner veya menteşeli bir yapıya sahip olan valf türüdür.

Elevatör: Katlar arasında veya yüksek yerlere dikey olarak taşıma sağlayan bir asansör sistemidir.

Silo: Genellikle tarım ürünleri, tahıl, toz veya diğer malzemelerin depolanması için kullanılan, genellikle silindirik veya konik biçimdeki büyük depolama yapılarıdır.

CAN (Controller Area Network): Endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanılan bir haberleşme protokolüdür, çoklu cihazlar arasında yüksek güvenilirlik, hızlı veri iletimi ve esnek topoloji sağlar.

Endüktif Sensörler: Metal nesnelerin varlığını tespit etmek veya metal nesnelerin özelliklerini ölçmek için kullanılan elektronik cihazlardır.

Yakın Literatürdeki Silo Otomasyon Sistemlerinin Üzerine Bazı Gelişmeler

Kurşunel'in 2001 yılında yaptığı çalışmada; un fabrikalarında kaliteye etki eden paçallama ve tavlama faktörleri üzerinde durulmuştur. Konya'daki 13 tesiste yapılan araştırmada, silo kapasiteleri incelenerek tav siloları ve paçal oranlarına bağlı matematiksel bir model oluşturulmuştur. Bu model, mevcut tesislerin hangi buğdayları ne kadar tavlama bekletebileceklerini, kaç çeşit buğdayı karıştırabileceklerini hesaplamaktadır. Bu

doğrultuda, yeterli siloya sahip olmayan tesislere ılık veya sıcak tavlama önerilerek tav sürelerinin kısaltılması ve istenilen paçallamanın yapılması önerilmiştir. Bu yaklaşımın; kalitede süreklilik, mevcut imkanların en iyi şekilde kullanımı ve üretim maliyetinde düşüş sağlayabileceği belirtilmiştir (Kurşunel, 2021:1-8).

Fidan ve Satuk'un 2012 yılında yaptıkları çalışmada, mevcut silo otomasyon sistemlerinden farklı bir yaklaşım kullanılmıştır. Bulanık mantık kontrollü hava kompresörü yardımıyla silo otomasyon sisteminin tasarımı ve uygulaması üzerine bir çalışma sunulmuştur. İlgili çalışma kapsamında silo içindeki işlemler, ilaçlama, transfer ve havalandırma bulanık mantık kontrolü ile yönetilmiştir. Silolarda depolanan hububatın sıcaklık ve nem değerlerinin ölçümü için elektronik devreler kullanılmıştır. Bu ölçümler, bilgisayar yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve hububatın uygun sıcaklık ve nem değerlerinde depolanması sağlanmıştır. Ayrıca, bilgisayar yazılımı sayesinde hububat alımı, satışı, transferi ve ilaçlama gibi işlemler raporlandırılarak silo otomasyon sistemi başarıyla uygulanmıştır. Bulanık mantık kontrolünün silo otomasyon sistemlerinde nasıl kullanılabileceğini ve yöntemin hububat depolama süreçlerindeki verimliliği artırabileceği gösterilerek, endüstriyel otomasyon alanına yeni bir perspektifi sunulmuştur (Fidan & Saltuk, 2011:1-14).

Mısır vd.'nin 2018 yılında yaptığı çalışmada, silo sistemlerinde çeşitli malzemelerin depolanması ve kontrolü üzerine odaklanan CAN tabanlı merkezi silo alan ağı (SAA) önerilmiştir. Bu öneri, siloların kontrolü, malzeme miktar takibi ve verilerin

izlenmesi için merkezi bir ağın önemini vurgulamaktadır. CAN'in mesaj kimlik özelliği kullanılarak siloya özgü verilerin algılayıcı ve silo ayırt edici metotlar ile birleştirilmesi, endüstriyel bir haberleşme çözümü sunmaktadır. Her siloda bulunan algılayıcılardan gelen bilgiler; CAN ağına katılan her siloya özgü bir silo numarası, algılayıcı türü numarası ve siloları sınıflandırmak için kullanılan kimlik kodu ile belirli bir mesaj metodolojisi ile iletilmiştir. Geliştirilen bu yöntemler sayesinde, silo sistemleri için temel algılayıcı ve kontrol mesajları için CAN destekli merkezi bir silo alan ağı başarıyla geliştirilmiştir (Mısırlı vd., 2018:106-112).

Çelik ve Köse'nin 2020 yılında yaptığı araştırmada; özellikle sismik bölgelerde inşa edilen tahıl depolama silolarının ince cidarlı yapılardan kaynaklı kritik burkulmalar ve patlamalarla karşılaşma potansiyeli incelenmektedir. Çalışma; tahıl depolama silolarının sismik analizlerini değerlendirmenin yanı sıra, yeni tasarım yaklaşımlarını da ortaya koymaktadır. Doğru yapılan sismik analizlerin, siloların sismik kaynaklı hasarları önlemede kritik bir rol oynayabileceği vurgulanmaktadır. Silolar, sismik hareketler sırasında tanecikler arası sürtünmelerden kaynaklanan dinamik basınçlara maruz kalmaktadır. Bu bağlamda, sonlu elemanlar metodu (SEM/SEY) kullanılarak yapılan analizlerde, taneciklerin hareketlerinin simüle edilmesi, silo cidarındaki gerilmelerin ve burkulmaların gözlemlenmesi önemli bir konu olarak ele alınmaktadır. Ancak, literatürdeki SEY analizlerinde, silo içindeki tanecikler arası boşluklar ve sıkıştırma oranlarına dair eksiklikler bulunmaktadır. Bu bağlamda, ayrıık elemanlar metodu (AEM/AEY) ile SEY birleştirerek yapılan çalışma gerçeğe uygun simülasyonlar ve analizlerle tahıl depolama silolarının sismik

performansını daha etkili bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Çelik & Köse, 2020:501-520).

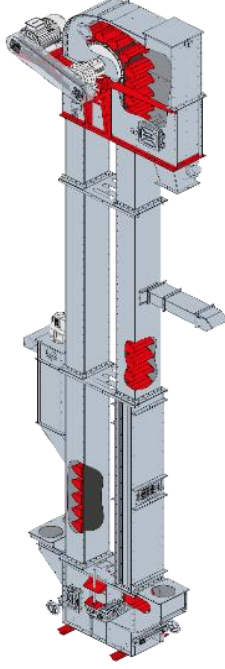
Yöntem ve Materyal

Tahıl silolarının işleyişi üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, işleyişi temel olarak şu şekilde özetlenebilmektedir; ürün kabul bölümüne ulaşan tahıl, Şekil 2'deki tahıl elevatörü tarafından içinde bulunan bir dizi çep vasıtası ile Şekil 3'teki siloların belirli bir üst noktasına kadar taşınmaktadır. Daha sonrasında, belirlenen güzergahtan klapeler vasıtasıyla silolara dolmak üzere aktarılmaya başlanmaktadır. Bu çalışmada, mevcut sistemleri daha verimli kılabilmek, insan faktörünü minimumda tutarak sistemi daha etkin bir hale getirmek, olası aksaklıklar durumunda sistemin nasıl tepki vermesi gerektiği konusunda çözüm odaklı senaryolar geliştirmek amacıyla hareket edilmiştir.

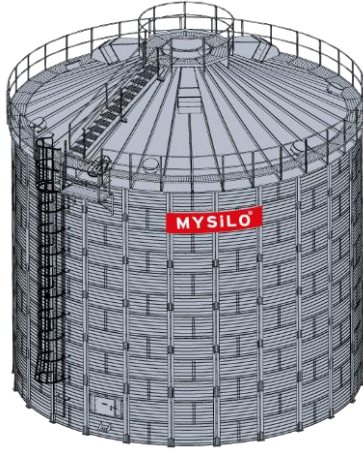
Sistem ile kullanıcı etkileşimini güçlendirmek için, sistemi kullanıcılar için daha anlaşılır hale getirmek ve aşamaların daha rahat takip edebilmesini sağlamak adına görsel odaklı geliştirme planlanmıştır. Bu iş için; endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan PLC ve SCADA sistemini seçilerek, insan makine arayüzünü sağlayarak PLC'ler için programlama yapılmasına imkan verecek bir programa gereksinim ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan Siemens markasının endüstriyel otomasyon uygulamalarını entegre etmek amacıyla geliştirdiği bir yazılım olan TIA Portal programını tercih edilmiştir.

TIA Portal, bir dizi programlama dili ve otomasyon teknolojisi için tek bir bütünleşmiş geliştirme ortamını içermekte ve

PLC programlama için çeşitli dilleri desteklemektedir. Portal içerisinde Ladder Diagram (LAD), Function Block Diagram (FBD), Structured Text (ST) ve Sequential Function Chart (SFC) gibi diller mevcuttur. TIA Portal ile PLC'ler için imkan sunduğu; insan makine arayüzünü (HMI) desteklem, program oluşturabilme, program düzenleyebilme ve hazır olan programın yönetim birimine yüklenerek çalıştırılma aksiyonları önem arz etmektedir. Ayrıca, grafiksel bir arayüz üzerinden kullanıcı dostu dokunmatik paneller oluşturularak ve kontrol edilebilmektedir. Bu çalışmada bu ürünün tercihe edilmesindeki en önemli faktörlerden birisi; benzer endüstriyel uygulamalarda ekipmanın kendini kanıtlamış olması ve neredeyse her fabrikada benzer endüstriyel uygulamalarda kullanılması sebebiyle operatörlerin benzer sistemlerin işleyişi ile ilgili deneyim ve bilgi sahibi olmalarıdır (URL-1, 2024).



Şekil 2. Elevatör içyapısı



Şekil 3. Tahıl Silosu



Şekil 4. S7-1200/1214C/PLC

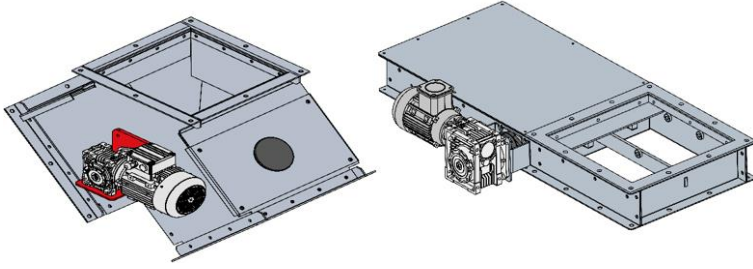
Sistemin ihtiyacı olan giriş/çıkış sayısını ve ayrıca türlerini belirlemekle işe başlanmıştır. Sistemde 6 adet silo, 1 adet elevatör ve 5 adet klapenin olması kararlaştırılmıştır. Sistemle ilgili bütün girdi çıktılar dijital giriş/çıkış içermektedir. Bu yüzden, seçilen PLC ve ek modüller çalışmaya uygun seçilmiştir. Oluşturulması planlanan sistem için Şekil 4'teki Siemens SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, DC/DC/DC, 6ES7 214-AG40-0XB0 PLC tercih edilmiştir.

Seçilen PLC gerek hafıza alanı gerek giriş/çıkış tipi ile sistem gereksinimlerini sağlamakta ve yaygın olarak kullanılan bir ürün olduğundan endüstriyel tercihe sahip ve uygulamalarda kendini kanıtlamıştır. Kullanılan ürün gerek duyulması halinde aşağıdaki ek özellikleri de sağlamaktadır:

- Geniş aralıklı AC veya DC güç kaynağı olarak entegre güç kaynağı (85-264 V AC veya 24 V DC) olarak kullanılabilir.
- Entegre 24 V enkoder/yük akımı beslemesi, sensörlerin ve enkoderlerin doğrudan bağlantısı için gerekmektedir, 400 mA çıkış akımı ile yük-güç kaynağı olarak kullanılabilir.

- 14 entegre dijital giriş 24 V DC (akım batma/kaynak girişı (IEC tip 1 akım batma)),
- 10 entegre dijital çıkış, 24 V DC veya röle,
- RS485 veya RS232 gibi ek iletişim arayüzleri ile genişletme,
- Entegre girişleri simüle etmek ve kullanıcı programını test etmek için opsiyonel simülatör desteği sağlayabilmektedir.

SCADA sisteminin görsel olarak tasarlaması aşamısında HP Pavilion G6 2023ET bilgisayarını kullanılmıştır. Programlama yapılırken Siemens PLC'lerini programlamada yaygın olarak kullanılan LAD (Ladder Diagram) dili tercih edilmiştir. LAD dili, otomasyon ve endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir programlama dili türüdür. LAD, özellikle PLC'ler için tasarlanmış bir grafik programlama dilidir. Bu dil, elektriksel devre şemalarının benzetim çalışmalarının ve kontrol mantığını görsel olarak ifade etmek için tasarlanmıştır. LAD dili, birçok endüstriyel uygulamada kullanılan basit ve anlaşılır bir grafiksel programlama dili olarak bilinmektedir. LAD dili, özellikle endüstriyel otomasyon alanında makinelerin kontrolü ve süreçlerin yönetimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Siemens PLC'leri gibi birçok otomasyon sistemleri, LAD dilini desteklemekte ve bu dilde programlama yapmayı mümkün kılmaktadır. Bu dilin avantajlarından biri, elektrik mühendisleri ve otomasyon uzmanlarının çoğunun aşına olduğu klasik elektrik devre şemalarına benzer bir yapıya sahip olmasıdır.



Şekil 5. Elektrik motoru kontrollü klape

Sistemin kontrol ve kullanıcı ile etkileşimini sağlayacak ekipmanlarının belirlenmesi aşamasından sonraki süreç olarak sahada kullanılacak ekipmanın belirlenmesi gelmektedir. Sistem için sektörde yaygın olarak kullanılan iki yönlü klape modeli tercih edilmiştir. Bunların tahrik mekanizması olarak; Şekil 5'teki elektrik motoru ve Şekil 6'daki pnömatik ile kontrollü tipleri mevcuttur.



Şekil 6. Pnömatik kontrollü klape

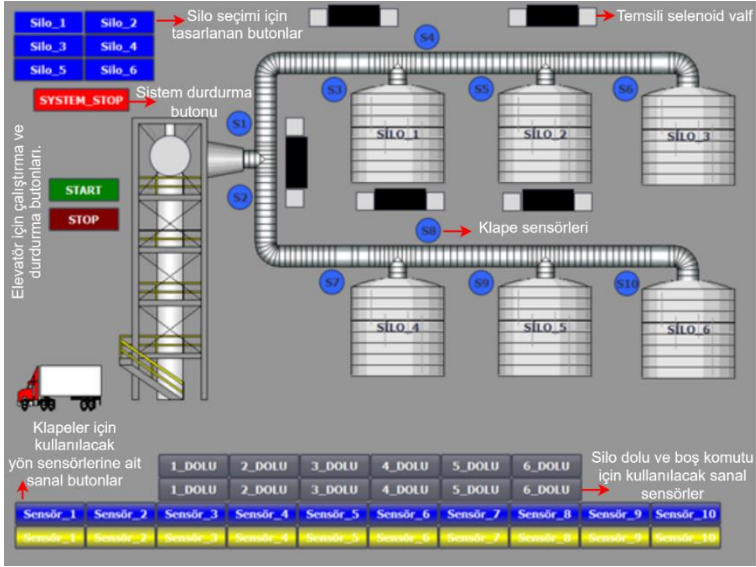
Sistem için maliyet ve bakım koşullarını göz önüne alındığında klapelelerin pnömatik olarak kontrol edilmesi daha uygun olacaktır selenoid bir valf seçimi yapılmıştır. Pnömatik kontrol, düşük maliyetli ve bakımı kolay bir çözüm sunmaktadır. Selenoid valfler, pnömatik sistemlerde pistonun hareketini tetikleme, valf kontrolünü sağlama ve bu sayede klapelelerin açılma veya kapanma işlemlerini gerçekleştirme konusunda etkili bir rol oynamaktadır. Seçilen selenoid valfin özellikleri, tasarlanan

sistemin ihtiyaçlarına uygun olmalıdır. Basınç, akış kapasitesi ve ortam uyumluluğu gibi faktörler göz önünde bulundurularak doğru valfin seçilmesi önem arz etmektedir. Bu faktörler göz önüne alındığında sistem için en uygun valfin Şekil 7a'da gösterilen 5/2 çift bobinli selenoid valf olduğu belirlenmiştir. Klape hareketlerinin sistem tarafından algılanması için sensörlere ihtiyaç duyulmaktaydı. Sistemde hareketli kısımların özellikle klapelelerin metal olması kullanılacak sensörlerin belirlenmesinde etkili bir faktördür. Tasarımda maliyet ve sistem yapısı da göz önüne alınarak Şekil 7b'deki endüktif sensörün kullanılması kararlaştırılmıştır. Endüktif sensörler, metal nesnelerin varlığını tespit etmek veya metal nesnelerin özelliklerini ölçmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Bu sebeple metal olan klapelelerin hareketinin algılamasında sistem için uygun sensördür.

Sahadaki ekipmanların kontrol ve algılama tiplerinin önceden belirlemesi programlama kısmında bazı senaryoların belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Bu yüzden, bu ekipmanlar belirlendikten sonra programlama kısmı için sistemin normal çalışma süreci ve harici oluşacak istenmeyen durumlar adına sistemin nasıl tepki vermesi gerektiğiyle ilgili senaryoların tasarlanması gerekmektedir.



Şekil 7. a) 5/2 çift bobinli selenoid valf, b) Endüktif sensör



Şekil 8. Tasarlanan SCADA ekranı

Sistemden ilk olarak Şekil 8'deki SCADA biriminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda sistemin ana modelini ve sistemin ruhunu bozmadan gerçekteki görünümüne uygun görsel modellemelerle tasarım yapılmıştır. Görsek olarak eklenecekler program kısmında sanal girdi/çıkıtlı olacağı için ilk olarak bu kısmın görünümü ve erişim için buton konumları belirlenmiştir. Daha sonra, sistemde bazı belirli hareketler için (çalışma durumunda ekranda vereceği tepkileri, duruma göre renk değişimi, hareket...vb.) durumlar eklenmiştir. Ayrıca, sistem tasarım ve benzetimden oluştuğu için gerçek hayattaki gibi bağlı sensörlerin olmaması simülasyon kısmında sistem takibinde kolaylık ve anlaşılabilirlik kazandırması adına SCADA ekranına sanal sensör girdileri sağlayacak butonlar da eklenmiştir. Şekil 8'deki ekranda, sistemde kullanılması planlanan çift bobinli selenoid valflere de yer verilmiştir. Verilen komuta göre selenoid valfte hangi bobinin

çektiginin/tetiklediğinin görülmesi açısından bu durum önemlidir. Bu aşamadan sonra programlama kısmına geçmek için öncelikle sistem durumlarına ait senaryoların tasarımlarına başlanmalıdır. Sistemin olağan/istenilen çalışma durumu dışında sistemin verebileceği tepkiler ve arızalar tahmin edildiğinde aşağıdaki durum senaryoları ortaya çıkmaktadır:

- Durum 1: İlk olarak, sistemde Şekil 8'deki ekrandan seçilen siloya, ilgili ürünün yönlendirilmesi beklenmektedir. Kullanıcı, ürünün gitmesini istediği siloyu belirlemek amacıyla ekrandan ilgili butona basarak seçim yapmaktadır. Bu seçim sonrasında tasarlanmış SCADA sistemi, klapelerin hareketleri aracılığıyla ürünün gidiş yolunu ekranda gösterecektir. Ayrıca, ilgili valflerin enerjilenen bobin uçları klapelerin hareketlerinin tamamlanmasıyla birlikte, sistemdeki sensörlerin aktif ya da pasif durumları da görsel olarak izlenebilecektir.
- Durum 2: Silolara konacak tahıllar, çeşit ve kalite olarak farklılık gösterebilmektedir. Sistemin çalışması esnasında bilinçsiz/bilgisiz/yetkisiz kullanıcı tarafından yanlışlıkla ekranda istenmeyen tuşlamalar yapılabilmektedir. Bunun sonucunda, aktif olarak taşınmakta olan tahıl farkında olmadan gideceği siloyu değiştirerek sistemde karışıklığa sebep olabilmektedir. Bu durumun önüne geçilmesi sistemin güvenliği için önemlidir.
- Durum 3: Belirlenen siloya aktif olarak ürün transfer edildiğinde, silonun dolması veya zaten dolu olan bir siloya ürün yönlendirilmesi durumunu içermektedir. Bu durumda,

taşma veya kapasiteyi açma olaylarının önlenmesi için önceden belirlenmiş bir uyarı ya da otomatik yönlendirme mekanizmasının sistemin içinde bulunması önemlidir. Bu bağlamda, silo kapasitesinin sürekli olarak izlenmesi ve belirlenen bir seviyeye ulaşıldığında sistemde gerekli önlemlerin otomatik olarak alınması gerekmektedir.

- Durum 4: Klapeler istenilen konuma gelse de, elevatör çalışıp aşağıdan ürün taşımadığı sürece silolara ürün gitmez. Elevatör çalıştığında ise ürün taşıma işlemi başlamaktadır. Sistem durduğunda, tüm sistem durmaktadır. Ancak, harici durumlarda elevatör, sistemin genelini durdurmadan önce harici bir durdurma butonuna sahip olmalıdır. Bu özellik, bakım veya anlık duruş zamanları için sistemin daha etkili bir şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktadır.

Muhtemel durumların belirlenmesi ve PLC seçiminin yapılması sırasında belirlenen girişin/çıkışın sayısı ve türü tespit edilmektedir. Bu aşamadan sonraki ilk adım, belirli işlemleri veya bilgileri temsil eden Tablo 1'deki PLC etiketlerinin (tag) tanımlanmasıdır. Bu etiketler, otomasyon sürecinde kullanılacak değişkenleri ve bilgileri temsil etmektedir. Bu durumu örneklendirmek gerekirse; eğer bir üretim sürecini yönetiyorsanız, etiketler ürün adı, miktarı, işlem durumu gibi bilgileri içerebilmektedir. Etiketlerin belirli koşullar altında nasıl davranması gerektiğini belirleyen etkenlere durum denmektedir. Bu durumlar, bir üretim hattında yer alan muhtemel hata durumu veya ürünün tamamlanması durumu gibi iş süreçlerindeki çeşitli senaryolara dayanabilmektedir. Etiketlerin ve durumların belirlenmesinden sonra, LAD kullanılarak kod oluşturma süreci

başlarmaktadır. LAD, iş akışlarını modellemek ve otomasyon senaryolarını kodlamak için güçlü bir araçtır. Bu aşamada, etiketler arasındaki ilişkileri, durum geçişlerini ve işlemleri belirleyen mantık ifadeleri oluşturulmaktadır. Özellikle, LAD ile kod oluştururken her bir durumun altında gerçekleşecek işlemleri ve etiketlerin nasıl etkileşime gireceğini ayrıntılı bir şekilde planlamak önemlidir. Bu, otomasyon sürecinin doğru ve hatasız çalışmasına destek olmaktadır. Her bir durumun altında gerçekleşecek işlemleri detaylı bir şekilde planlamak, etiketler arasındaki ilişkileri doğru bir şekilde kurmak ve durum geçişlerini belirlemek başarılı bir otomasyonun anahtarıdır.

Tablo 1. PLC’de kullanılan sistem etiketleri

İsim	Adres	İsim	Adres
Elevator_kontaktor	%Q1.3	Piston_Sensor_10_Tarafına	%Q1.2
Silo_1_Start	%M0.2	Sensor_10	%M2.1
Piston_Sensor_1_Tarafına	%Q0.1	Elevator_Start	%M0.0
Piston_Sensor_3_Tarafına	%Q0.3	Elevtor_Stop	%M0.1
Sensor_1	%M0.3	Acil_Stop	%M2.2
Sensor_3	%M0.4	STOP	%Q0.0
Silo_2_Start	%M0.5	B_1	%M2.4
Piston_Sensor_4_Tarafına	%Q0.4	B_2	%M2.5
Piston_Sensor_5_Tarafına	%Q0.5	B_3	%M2.6
Sensor_4	%M0.6	B_4	%M2.7
Sensor_5	%M0.7	B_5	%M3.0
Silo_3_Start	%M1.0	B_6	%M3.1
Piston_Sensor_6_Tarafına	%Q0.6	B_STOP	%M2.3
Sensor_6	%M1.1	BLOK_1	%M3.2
Silo_4_Start	%M1.2	BLOK_2	%M3.3
Piston_Sensor_2_Tarafına	%Q0.2	P_S3	%M3.4
Piston_Sensor_7_Tarafına	%Q0.7	P_S6	%M3.5
Sensor_2	%M1.3	P_S7	%M3.6

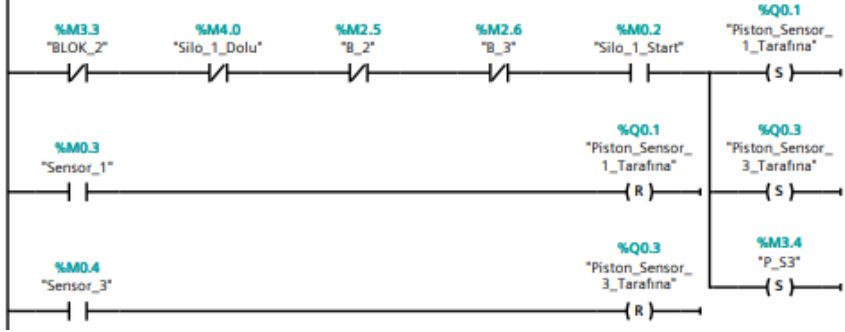
Sensor_7	%M1.4	P_S9	%M3.7
Silo_5_Start	%M1.5	Silo_1_Dolu	%M4.0
Piston_Sensor_8_Tarafına	%Q1.0	Silo_2_Dolu	%M4.1
Piston_Sensor_9_Tarafına	%Q1.1	Silo_3_Dolu	%M4.2
Sensor_8	%M1.6	Silo_4_Dolu	%M4.3
Sensor_9	%M1.7	Silo_5_Dolu	%M4.4
Silo_6_Start	%M2.0	Silo_6_Dolu	%M4.5

Programlama safhasında, her etiketin belirli bir durum altında nasıl davranması gerektiğini belirleyen mantık ifadeleri oluşturulmaktadır. Bu ifadeler, etiketler arasındaki etkileşimleri ve işlemleri kontrol ederek, otomasyonun düzgün ve hatasız çalışmasını yardım etmektedir. Özet olarak; programlama kısmı belirlenen etiketler ve durumlar üzerinden LAD kullanılarak kod oluşturmayı içermektedir. Bu aşama, otomasyon sürecinin gerçek dünyada uygulanabilir ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak adına kritik bir rol oynamaktadır. Otomasyon süreci içindeki programlama safhasına geçildiğinde, öncelikle ürün aktarımı aşamasına odaklanılmaktadır. Bu aşama üretim veya iş süreçlerindeki başlangıç noktasını temsil etmektedir. İlk olarak, belirlenen etiketler ve durumlar çerçevesinde ürünün nereden alınacağını ve nereye taşınacağını net bir şekilde belirlemek önemlidir.

Tablo 1’de görüldüğü üzere PLC sisteminin çalışması aşamasında ilk olarak Şekil 9’daki Network_1’de, Silo_1’e ürün taşımak için gereken kodlama yapılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken durumlar şunlardır:

- 1) Blok_2, elevatörden sonraki ilk klape sensör 1 yönüne dönük olacaktır.

- 2) Silo_1_Dolu, ilgili silonun “silo dolu” sensörü aktif olmayacaktır.
- 3) B_2 ve B_3, kendi hattı üzerindeki diğer silolara o anda ürün taşınmıyor olmalıdır.
- 4) Yukarıdaki üç durum tamamlandıktan sonra Silo_1_Start, ekranda belirlenen ilgili butona basılmış olmalıdır.



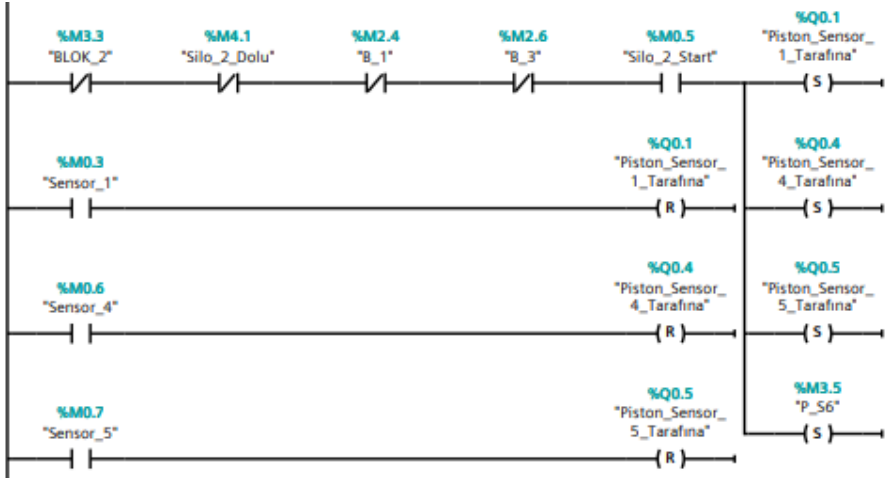
Şekil 9. Network_1 adımı

Ekranda Silo_1_Start'a basıldıktan sonra gerekli durumlar sağlanıyorsa;

- 1) Piston_Sensor_1_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Kklapenin Sensör_1 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 2) Piston_Sensor_3_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_3 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 3) P_S3 sanal çıkış; ekrandaki simülasyonda ilgili güzergahı aktif etmek için çıkış verecektir.
- 4) Sensor_1 ve Sensor_3 sensörleri aktif olduğunda, klapeler hareketini tamamladığında sensörler aktif olacak ve ilgili klapenin selenoid valfinin enerjisini kesecektir.

Yukarıdaki dört adımdan sonra Şekil 10'daki Network_2 de, Silo_2'ye ürün çekmek için gereken kodlama yapılmaktadır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken durumlar aşağıda verilmektedir:

- 1) Blok_2, elevatörden sonraki ilk klap Sensör_1 yönüne dönük olacaktır.
- 2) Silo_2_Dolu, ilgili silonun "silo dolu" sensörü aktif olmayacaktır.
- 3) B_1 ve B_3, kendi hattı üzerindeki diğer silolara o anda ürün taşınmıyor olmalıdır.
- 4) Yukarıdaki üç durum tamamlandıktan sonra Silo_2_Start, ekranda belirlenen ilgili butona basılmış olmalıdır.

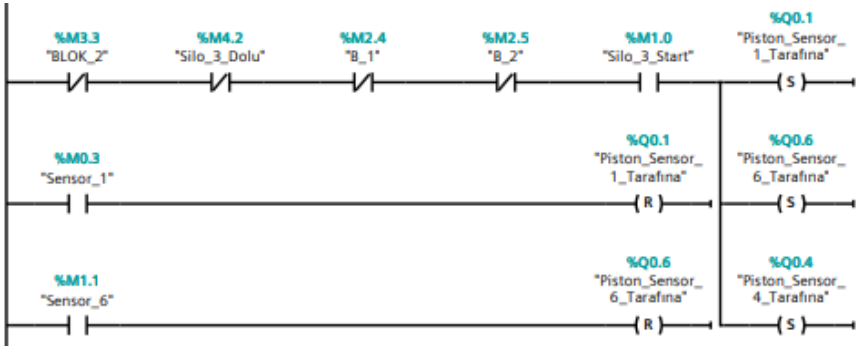


Şekil 10. Network_2 adımı

Ekranda Silo_2_Start'a basıldıktan sonra gerekli durumlar sağlanıyorsa;

- 1) Piston_Sensor_1_Tarafina isimli çıkış aktif olacaktır. Klappenin Sensör_1 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.

- 2) Piston_Sensor_4_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_4 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 3) Piston_Sensor_5_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_5 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 4) P_S6 sanal çıkış, ekrandaki simülasyonda ilgili güzergahı aktif etmek için çıkış verecektir.
- 5) Sensor_1, Sensor_4 ve Sensor_5 sensörleri aktif olduğunda, klapele hareketini tamamladığında, sensörler aktif olacak ve ilgili klapenin selenoid valfinin enerjisini kesecektir.



Şekil 11. Network_3 adımı

Şekil 11'deki Network_3'de, Silo_3'e ürün çekmek için gereken kodlama yapılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken durumlar şöyledir:

- 1) Blok_2, elevatörden sonraki ilk klape Sensör_1 yönüne dönük olacaktır.
- 2) Silo_3_Dolu, ilgili silonun "silo dolu" sensörü aktif olmayacaktır.
- 3) B_1 ve B_2, kendi hattı üzerindeki diğer silolara o anda ürün taşınmıyor olmalıdır.

- 4) Yukarıdaki üç durum tamamlandıktan sonra Silo_3_Start, ekranda belirlenen ilgili butona basılmış olmalıdır.

Ekranda Silo_3_Start'a basıldıktan sonra gerekli durumlarda sağlanıyorsa;

- 1) Piston_Sensor_1_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Klapenin Sensör_1 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 2) Piston_Sensor_4_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_4 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 3) Piston_Sensor_6_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_6 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 4) Sensor_1, Sensor_4 ve Sensor_6 sensörleri aktif olduğunda, klapele hareketini tamamladığında, sensörler aktif olacak ve ilgili klapenin selenoid valfinin enerjisini kesecektir.

Şekil 12'deki Network_4'te, Silo_4'e ürün taşımak için gereken kodlama işlemi yapılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken durumlar şöyledir:

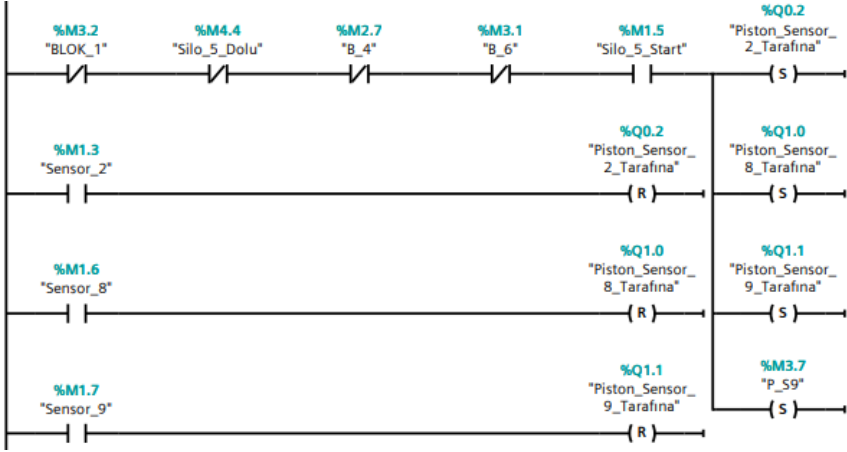
- 1) Blok_1, elevatörden sonraki ilk klape Sensör_2 yönüne dönük olacaktır.
- 2) Silo_4_Dolu, ilgili silonun "silo dolu" sensörü aktif olmayacaktır.
- 3) B_5 ve B_6, kendi hattı üzerindeki diğer silolara o anda ürün taşınmıyor olmalıdır.
- 4) Yukarıdaki üç durum tamamlandıktan sonra Silo_4_Start, ekranda belirlenen ilgili butona basılmış olmalıdır.



Şekil 12. Network_4 adımı

Ekranında Silo_4_Start'a basıldıktan sonra gerekli durumlarda sağlanıyorsa;

- 1) Piston_Sensor_2_Tarafina isimli çıkış aktif olacaktır. Klapenin Sensör_2 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 2) Piston_Sensor_7_Tarafina isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_7 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 3) P_S7 sanal çıkış, ekrandaki simülasyonda ilgili güzergahı aktif etmek için çıkış verecektir.
- 4) Sensor_2 ve Sensor_7 sensörleri aktif olduğunda, klapeler hareketini tamamladığında, sensörler aktif olacak ve ilgili klapenin selenoid valfinin enerjisini kesecektir.



Şekil 13. Network_5 adımı

Şekil 13'teki Network_5'te, Silo_5'e ürün çekmek için gereken kodlama yapılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

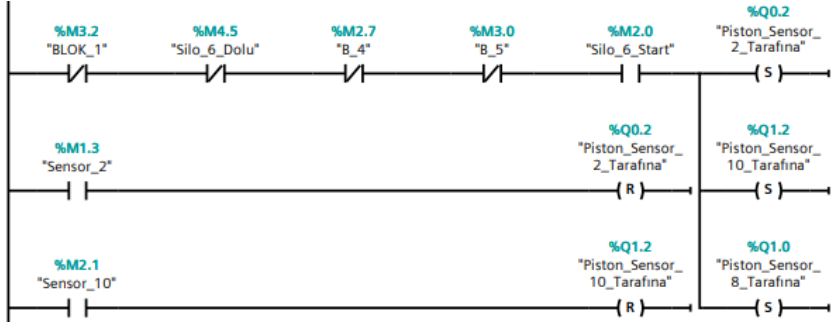
- 1) Blok_1, elevatörden sonraki ilk klappe Sensör_2 yönüne dönük olacaktır.
- 2) Silo_5_Dolu, ilgili silonun "silo dolu" sensörü aktif olmayacaktır.
- 3) B_4 ve B_6, kendi hattı üzerindeki diğer silolara o anda ürün taşınmıyor olmalıdır.
- 4) Yukarıdaki üç durum tamamlandıktan sonra Silo_5_Start, ekranda belirlenen ilgili butona basılmış olmalıdır.

Ekranda Silo_5_Start'a basıldıktan sonra gerekli durumlar sağlanıyorsa;

- 1) Piston_Sensor_2_Tarafina isimli çıkış aktif olacaktır. Klappenin Sensör_2 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 2) Piston_Sensor_8_Tarafina isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klappenin Sensör_8 tarafına

hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.

- 3) Piston_Sensor_9_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_9 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 4) P_S9 sanal çıkış, ekrandaki simülasyonda ilgili güzergahı aktif etmek için çıkış verecektir.
- 5) Sensor_2, Sensor_8 ve Sensor_9 sensörleri aktif olduğunda, klapeler hareketini tamamladığında, sensörler aktif olacak ve ilgili klapenin selenoid valfinin enerjisini kesecektir.



Şekil 14. Network_6 adımı

Şekil 14'teki Network_6'da, Silo_6'ya ürün çekmek için gereken kodlama yapılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken durumlar şunlardır:

- 1) Blok_1, elevatörden sonraki ilk klape Sensör_2 yönüne dönük olacaktır.
- 2) Silo_6_Dolu, ilgili silonun "silo dolu" sensörü aktif olmayacaktır.
- 3) B_4 ve B_5, kendi hattı üzerindeki diğer silolara o anda ürün taşınmıyor olmalıdır.

- 4) Yukarıdaki üç durum tamamlandıktan sonra Silo_6_Start, ekranda belirlenen ilgili butona basılmış olmalıdır.

Ekranda Silo_6_Start'a basıldıktan sonra gerekli durumlar sağlanıyorsa;

- 1) Piston_Sensor_2_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Klapenin Sensör_2 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 2) Piston_Sensor_10_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_10 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 3) Piston_Sensor_8_Tarafına isimli çıkış aktif olacaktır. Güzergah üzerindeki diğer klapenin Sensör_8 tarafına hareketi için ilgili selenoid valfin bobin ucu enerjilenecektir.
- 4) Sensor_2, Sensor_8 ve Sensor_10 sensörleri aktif olduğunda, yani klapele hareketini tamamladığında, sensörler aktif olacak ve ilgili klapenin selenoid valfinin enerjisini kesilecektir.

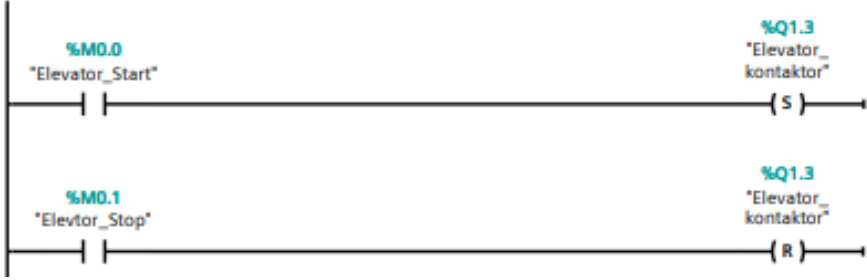
Bu Network_1-6 işlemlerinin ardından silolara ürün taşıyan elevatörün çalıştırma ve durdurma işlemleri için gerekli kodlama yapılmalıdır. Burada, durdurma işlemi sistem durdur (stop) butonu haricinde elevatör için ayrı bir stop butonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun başlıca sebebi. Elevatörün bağımsız olarak çalıştırılmak ve durdurulmak istenmesidir. İleriki Networklerde ve Network_11'de görüleceği üzere elevatörün hem sistem stop hem de kendi stop butonu ile durması sağlanmaktadır.

Şekil 15'teki Network_7 de yapılan işlemler şu şekildedir:

- 1) Elevatör_Start, ekrandan elevatörün ilgili start butonuna basıldığında Elevator_Kontaktor adlı çıkış aktif

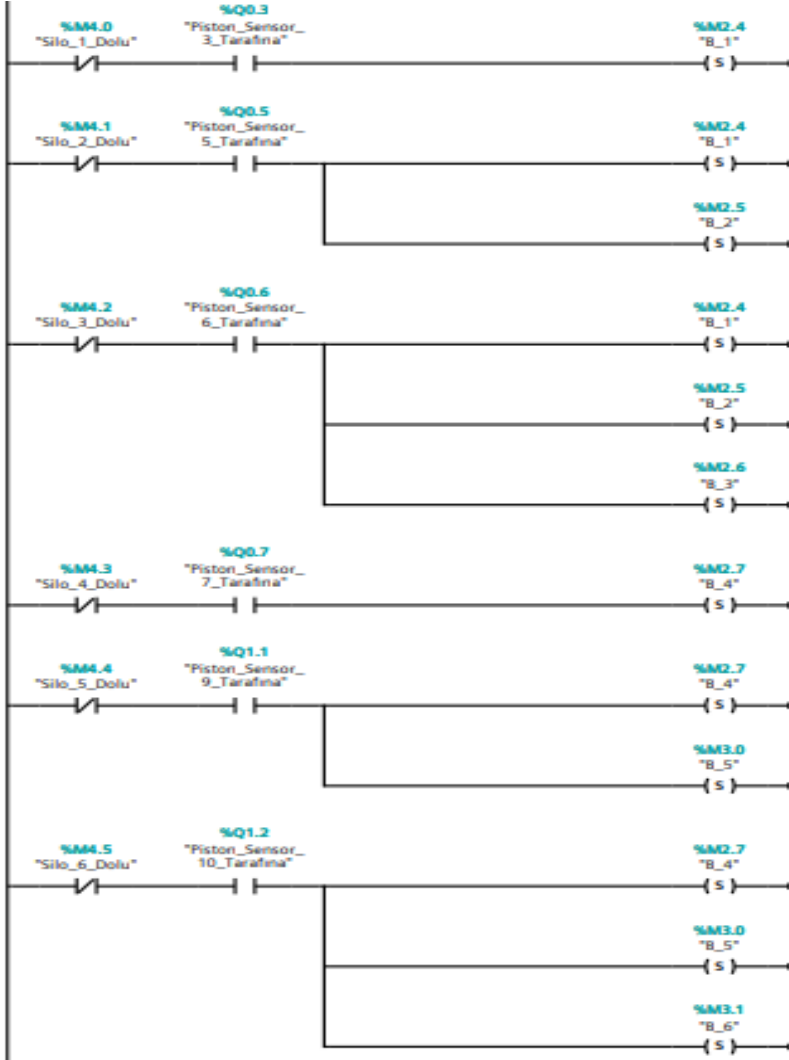
olacaktır. Bu çıkış bilgisi SCADA ekranında ilgili yerdeki renk değişimi olarak görünecektir.

- 2) Elevatör_Stop, ekrandan elevatörün ilgili stop butonuna basıldığında Elevator_Kontaktor adlı çıkışı pasif olacaktır. Yine bu bilgi SCADA ekranında ilgili yerdeki renk değişimi olarak görünecektir.



Şekil 15. Network_7 adımı

Ekranda ilgili silo seçildiğinde ürünün gidiş yolunun gösterilmesi için programa sanal çıkışlar eklenmiştir. Bunun sebebi bir örnek senaryo üzerinde anlatılmak istendiğinde; kullanıcı Silo_3'e ürün taşıırken klapelerin dönüşünü sağlayan çıkışlar atanmış olursa, klapeler istenilen konuma geldiğinde sensörler aktif olacak ve bu çıkışları sıfırlayacaktır (resetlemek). Bu durumda, ekranda gidiş yolları ile ilgili görseller kaybolmuş olacaktır. Bunun darboğazın önüne geçebilmek amacıyla gidiş yolları için ayrı olarak sanal çıkışlar tanımlanmıştır. Bu sanal çıkışlardan belirlenenler yine belirli koşullar vasıtası ile devreye girip çıkacak ve sistem sıfırlandığı zaman kaybolacaktır.



Şekil 16. Network_8 adımı

Belirlenen durumları gerçekleştirmek için Şekil 16'daki Network_8'de, gerekli kodlamalar yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken durumlar şöyledir (Sistemin normal işleyişinin etkilenmemesi için (Örnek: Klape hareketleri tamamlandığında

sensörlerin görmesi ve ilgili çıkışın resetlenmesi gibi durumlarda SCADA ekranındaki görsellerin etkilenmemesi)):

- 1) Silo_1_Dolu, Silo_1 dolu değilse ve Piston_Sensor_3_Tarafına yani piston Sensör_3 tarafına aktif olursa B_1 aktif edilmektedir. B_1 sanal çıkışı 1'inci ve 2'nci klapeler arasındaki kısmını aktif etmek için kullanılmaktadır.
- 2) Silo_2_Dolu, Silo_2 dolu değilse ve Piston_Sensor_3_Tarafına yani Piston_3 tarafına aktif olursa B_1 ve B_2 Aktif edilmektedir. B_1 sanal çıkışı 1'inci ve 2'nci klapeler arasındaki kısmını aktif etmek için, B_2 sanal çıkışı ise 2'nci ve 3'üncü klapeler arasındaki kısmı aktif etmek için kullanılmaktadır.
- 3) Silo_3_Dolu, Silo_3 dolu değilse ve Piston_Sensor_6_Tarafına yani piston Sensör_6 tarafına aktif olursa B_1, B_2 ve B_3 aktif hale gelmektedir. B_1 sanal çıkışı 1'inci ve 2'nci klapeler arası kısmı aktif etmek için, B_2 sanal çıkışı 2'nci ve 3'üncü klapeler arasını aktif etmek için, 3'üncü klape ve Silo_3 arasındaki kısmı aktif etmek için kullanılmaktadır.
- 4) Silo_4_Dolu, Silo_4 dolu değilse ve Piston_Sensor_7_Tarafına yani piston Sensör_7 tarafına aktif olursa B_4 aktif edilmektedir. B_4 sanal çıkışı 1'nci ve 4'üncü klapeler arası kısmını aktif etmek için kullanılmaktadır.
- 5) Silo_5_Dolu, Silo_5 dolu değilse ve Piston_Sensor_9_Tarafına yani Piston_9 tarafına aktif olursa B_4 ve B_5 aktif olmaktadır. B_4 sanal çıkışı 1'inci ve 4'üncü klapeler arası kısmını aktif etmek için, B_2 sanal çıkışı 4'üncü ve 5'inci klapeler arasındaki kısmı aktif etmek için kullanılmaktadır.
- 6) Silo_6_Dolu, Silo_6 dolu değilse ve Piston_Sensor_10_Tarafına yani piston Sensör_10 tarafına aktif olursa B_4, B_5 ve B_6 aktif olmaktadır. B_4 sanal çıkışı 1'inci ve 4'üncü klapeler arasındaki

kısmı aktif etmek için, B_5 sanal çıkışı 4'üncü ve 5'inci klapeleler arası kısmını aktif etmek için, B_6 sanal çıkışı 5'inci klape ve Silo_6 arasındaki kısmı aktif etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 17. Network_9 adımı

Şekil 17'deki Network_9'da ilgili ürün için silo seçimi esnasında 1'inci klapeenin ilk ve yön seçici klape olduğuna dikkat edilmektedir. Bundan dolayı kilit rol oynadığı noktada bu klapeenin silo seçilmişken ters yöndeki bir silo için dönmemesini sağlamak amacıyla bir blok kodu oluşturulması gerekmektedir. Gereken kodlama Network_9 da yapılmıştır:

- 1) Ekrandan, Silo_1_Start veya Silo_2_Start veya Silo_3_Start butonlarına basıldığında B LOK_2 aktif olacaktır. Network_4, Network_5 ve Network_6 koşul

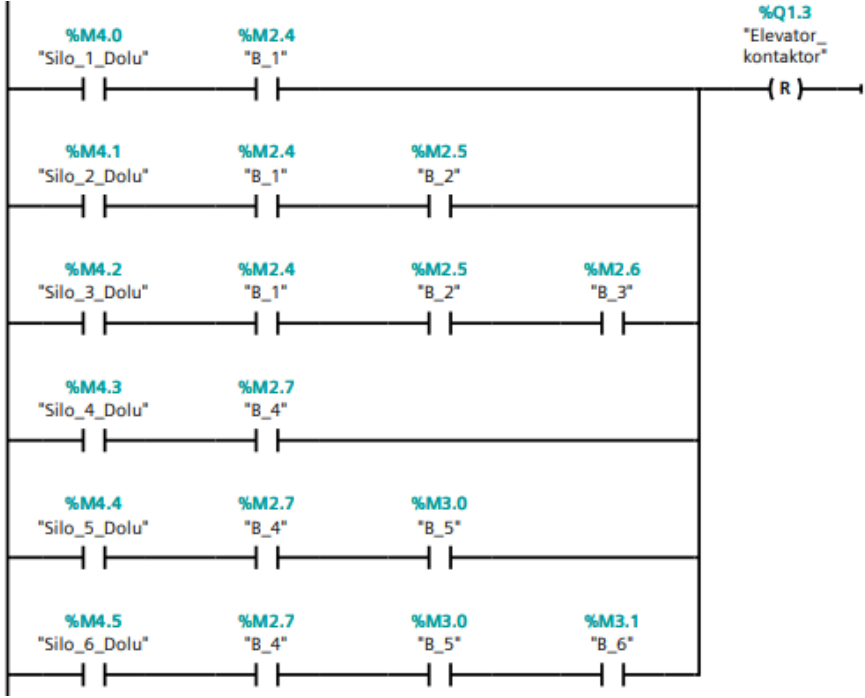
olarak kullanılan BLOK_2'nin aktif olması Silo_1, Silo_2 ve Silo_3 tarafına dönen 1'inci klapenin ilgili silolara taşıma yaparken aksi yönde bulunan 4'üncü, 5'inci ve 6'ncı silolara ürün çekmeyi engelleyecek koşulu sağlamaktadır.

- 2) Yine ekrandan, Silo_4_Start veya Silo_5_Start veya Silo_6_Start butonlarına basıldığında B LOK_2 aktif olacaktır. Network_1, Network_2 ve Network_3 koşul olarak kullanılan BLOK_2'nin aktif olması Silo_4, Silo_5 ve Silo_6 tarafına dönen 1'inci klapenin ilgili silolara taşıma yaparken aksi yönde bulunan 1'inci, 2'nci ve 3'üncü silolara ürün çekmeyi engelleyecek koşulu sağlamaktadır.

Şekil 18'deki Network_10'da herhangi bir silonun dolma durumunda elevatörün durması için gereken kodlama yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken durumlar şöyledir (İlgili silo seçildiğinde ve ürün taşınırken, silo dolu olduğunda elevatörün tahıl taşımamasını durdurması, aynı zamanda dolu siloya tahıl taşımak istendiğinde sistemin elevatörün dolu siloya ürün taşımamasını engellemesi sağlanmalıdır):

- 1) Silo_1_Dolu, Silo_1 dolduğu zaman ve B_1 yani SCADA ekranında Silo_1'e gidiş yolunu göstermek için atanan çıkışlar aktif olduğunda, bu ilgili silonun halihazırda ekranda seçilmiş olması demektir. Bu durumda Elevator_Kontaktor'ü elevatörü pasif konuma getir komutu vermektedir bunun anlamı durdur demektir.
- 2) Silo_2_Dolu, Silo_2 dolduğu zaman, B_1 ve B_2 SCADA ekranında Silo_2'e gidiş yolunu göstermek için atanan çıkışlar aktif olduğunda, ilgili silonun halihazırda ekranda seçilmiş olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda Elevator_Kontaktor'ü elevatörü pasif konuma getirmekte ve durdur komutu vermektedir.

- 3) Silo_3_Dolu, Silo_3 dolduğu zaman, B_1, B_2 ve B_3'ün SCADA ekranında Silo_3'e gidiş yolunu göstermek için atanan çıkışlar aktif olduğunda, ilgili silonun halihazırda ekranda seçilmiş olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda Elevator_Kontaktor'ü elevatörü pasif konuma getirmekte ve durdur komutu vermektedir.
- 4) Silo_4_Dolu, Silo_4 dolduğu zaman, B_4 SCADA ekranında Silo_4'e gidiş yolunu göstermek için atanan çıkışlar aktif olduğunda, ilgili silonun halihazırda ekranda seçilmiş olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda Elevator_Kontaktor'ü elevatörü pasif konuma getirerek durdur komutu vermektedir.
- 5) Silo_5_Dolu, Silo_5 dolduğu zaman, B_4 ve B_5 SCADA ekranında Silo_5'e gidiş yolunu göstermek için atanan çıkışlar aktif olduğunda, ilgili silonun halihazırda ekranda seçilmiş olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda Elevator_Kontaktor'ü elevatörü pasif konuma getirmekte ve durdur komutu vermektedir.
- 6) Silo_6_Dolu, Silo_6 dolduğu zaman, B_4, B_5 ve B_6'nın SCADA ekranında Silo_3'e gidiş yolunu göstermek için atanan çıkışlar aktif olduğunda, ilgili silonun halihazırda ekranda seçilmiş olduğu görülmektedir. Bu durumda Elevator_Kontaktor'ü elevatörü pasif konuma getirmekte ve durdur komutu vermektedir.

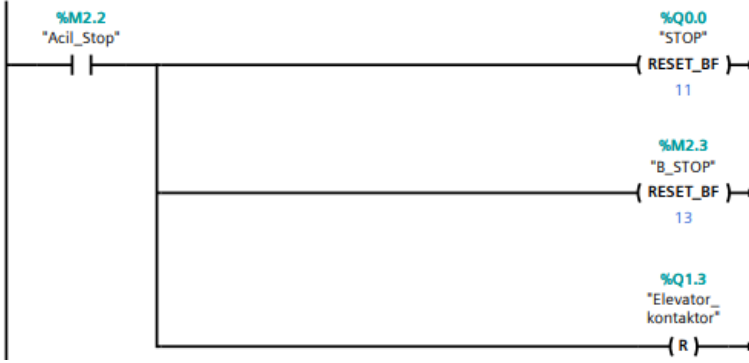


Şekil 18. Network_10 adımı

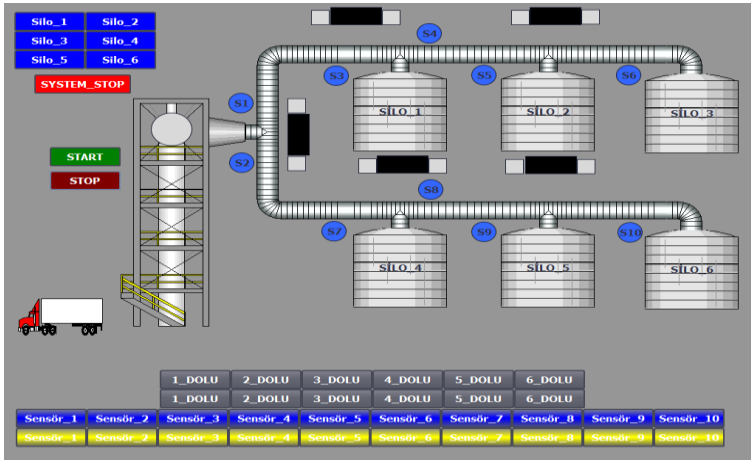
Sıradaki işlem: Sistem stop işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu aşamada, sistemi tamamen durduracak ve sıfırlayacak bir komutun kullanılması gerekmektedir. Şekil 19'daki Network_11 de RESET_BF komutu bu amaçla kullanılmaktadır. Bu komut, belirtilen bilgiye dayanarak aynı anda birden fazla giriş ve çıkışı sıfırlama yeteneğine sahiptir (Örneğin; Q0.0'dan başlayarak belirtilen sayı kadar Q çıkışını sıfırlanır.). Bu komut, hem Q çıkışları için hem de SCADA ara yüzümüzde kullanılan sanal giriş ve çıkışlar olan M kontakları için kullanılmaktadır. Network_11'de yapmakta olan işlemler şunlardır:

- 1) Acil_Stop olarak tanımlanan etiket aktif olduğu zaman Q0.0 etiketinden itibaren indisler artarak 11 adet Q

çıkışı, M2.3 ten başlayarak ileri doğru 13 sanal kontağı ve Elevator_Kontaktor olarak tanımlanan elevatörü sıfırlamaktadır.



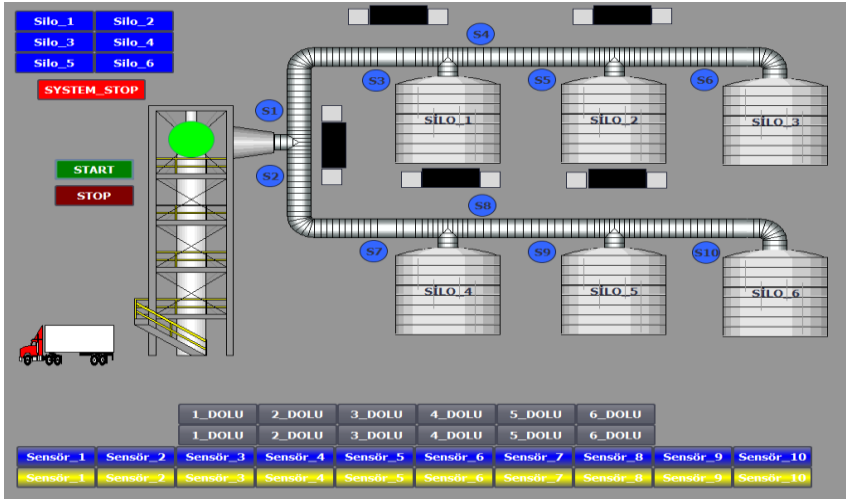
Şekil 19. Network_11 adımı



Şekil 20. SCADA ekranı durağan görüntüsü

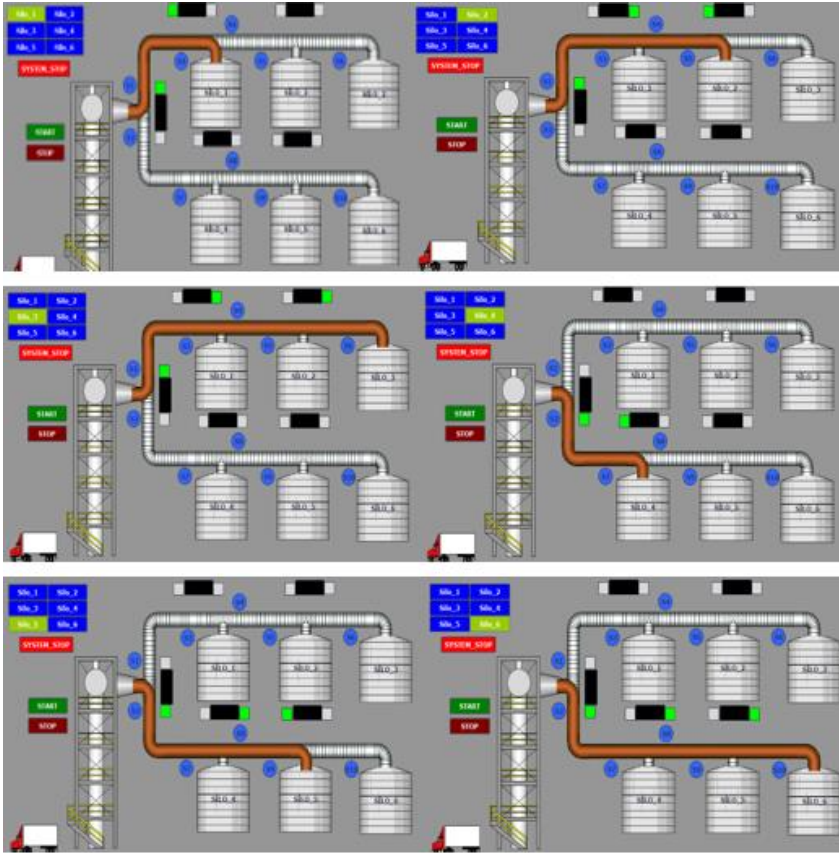
Şekil 19'daki işlem sonrasında hem SCADA ara yüzünde bulunan görseller hem de valf, piston gibi çıkışlar için sıfırlama işlemi yapılmaktadır. Eğer sistemde aktif sensör varsa, sistem sıfırlansa dahi bu sensörler konumlarından dolayı aktiflerse (Örneğin: Klape kapalı ise bunu klape kapalı sensörü) görmeye

devam edecektir. Sistemin ilgili programlama işleminden sonraki adımı; tasarlanan SCADA sistemi ile LAD kodları arasındaki irtibatın sağlanmasıdır. Programlama esnasında kullanılan etiketlere uygun olarak SCADA ekranına gerekli atamalar gerçekleştirilmektedir. Bunun ardından, oluşturulan sistemi sınamak için belirlenen senaryoları SCADA sistemi üzerinde deneme işlemine başlanmaktadır. Oluşturulan sistem, SCADA ekranında gerçekleştirilen sınamaya işlemi ile başlamaktadır. İlk adım olarak, elevatörü çalıştırmak ve hem sistem stop butonuyla hem de kendi stop butonuyla durma işlemi takip edilmektedir. Şekil 20'deki SCADA ekranının normal durumda görünmektedir. Elevatörün üstündeki yuvarlak şekilli sensörlerin gri olması durağan anlamına gelirken, yeşil olması elevatörün çalıştığı anlamına gelmektedir. Şekil 21'de başlama (start) butonuna basıldıktan sonra elevatörün çalışması için ilgili çıkışın aktif olduğu ve elevatör üzerindeki yuvarlağın yeşil olduğu görülmektedir



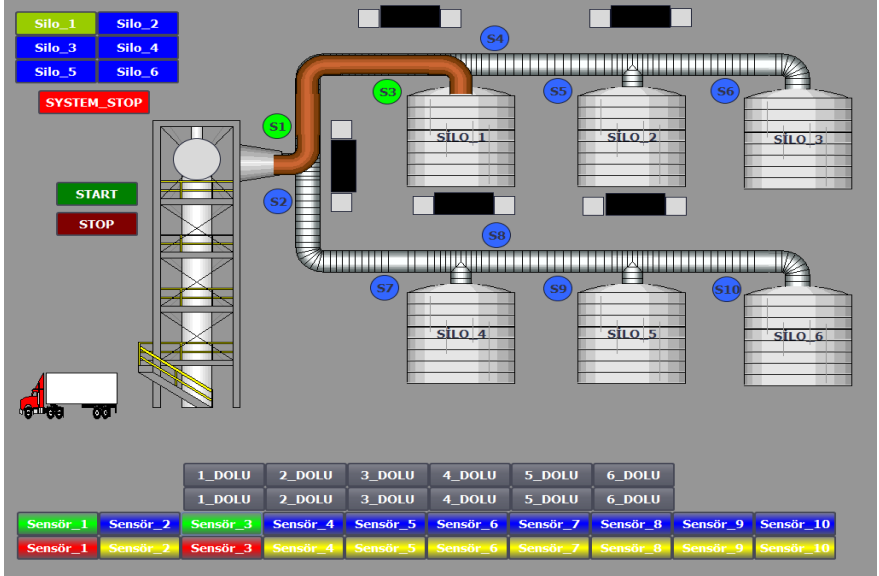
Şekil 21. Başlama butonuna basıldıktan sonra elevatörün durumu

Diğer bir test edilmesi gereken durum, tahıl taşımak için seçilen silo ile elevatör arasındaki hat görselinin Şekil 22'deki gibi SCADA ekranında görünmesidir. Görselde seçilen silo ile ürünün yukarı taşınmasını sağlayan elevatör arasındaki hat görseli renk değiştirecektir. Yolu gösteren renk değişimi yalnızca seçili silo ve elevatör arasında olmalıdır. Bu işlem sırasında aktif olan ilgili selenoid valflerin de aktif olan bobin uçları yeşil renkte aktif olmaktadır.

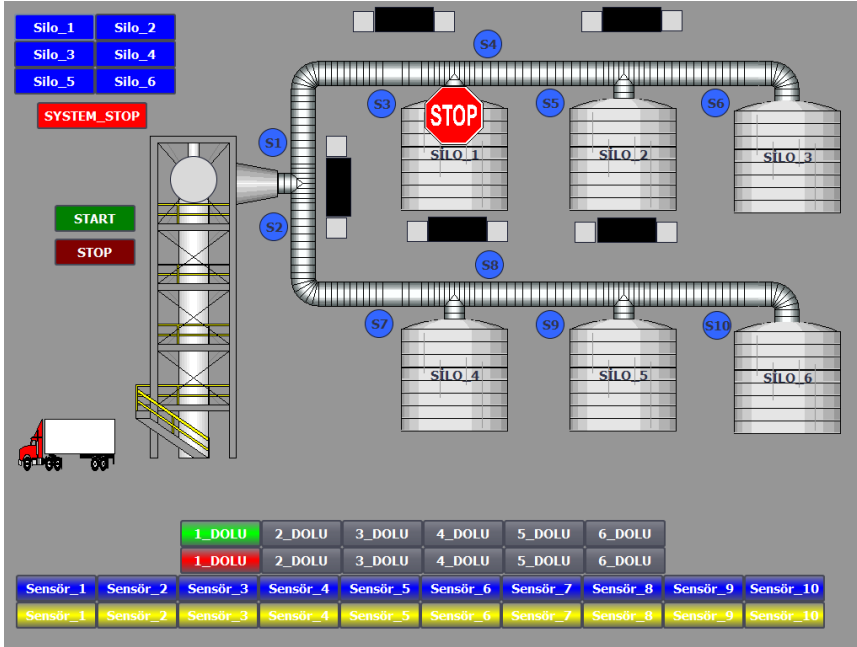


Şekil 22. Seçilen ilgili siloların SCADA ekranında gidiş yolları

Klapelerin yön değişiklikleri sonucu aktif olan sensörler yeşil olarak gösterilen selenoid valflerin bobin uçlarını sıfırlamaktadır. Bu işlem bobinlerin enerjilerini kesmekte ve bu sayede bobinlerde ısınma gibi olumsuz durumlar engellenmektedir. Bu işlem sürecinin örneklendirilmesi amacıyla Şekil 23’de Silo_1 için gösterim sağlanmıştır.



Şekil 23. Silo 1 için klapе sensörlerinin aktif olma durumu



Şekil 24. *İlgili silo doluluk gösterge sensörünün aktif olması*

SCADA sistemi aynı anda iki silo seçimi ile sınıdığında, sistem halihazırda seçili olan silo dışında ikinci bir silonun seçilmesine izin vermemektedir. Test edilmesi gereken diğer bir durum; Şekil 24'deki, siloların belirlenen düzeyde tahılla dolması halinde SCADA ekranında ilgili siloların dolduğunu belirten bir uyarı gözükmesi ve elevatörün ürün taşımayı durdurması işlemidir. Sonuçta, dolu olan siloya tekrar ürün aktarımı için sistem izin vermemektedir.

Sonuç

Bu çalışma, Tahıl Silo Otomasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için önemli adımları içermekte ve tarım sektöründe kullanılabilecek etkili bir otomasyon sistemini

detaylandırmaktadır. Çalışmanın temel odak noktaları, silo otomasyonunun verimliliğini artırmak ve kullanıcı etkileşimini güçlendirmek üzerine yapılan geliştirmelerdir. Sistemin sahada uygulanabilirliği ve performansıyla ilgili yapılan simülasyonlar, çalışmanın olumlu sonuçlarını desteklemektedir.

Tarım sektöründeki otomasyon uygulamalarının geniş bir perspektiften ele alınmasına katkı sağlamayı hedefleyen çalışmada; tarım sektöründeki otomasyonun genel etkinliğini artırmak için gerekli olan özellikler ve iyileştirmeler vurgulanmaktadır. Bu durum, tarım işlemlerinin daha verimli ve kullanıcı dostu hale getirilmesine katkı sağlamaktadır. Gelecekteki planlanan çalışmalarda, benzer otomasyon sistemlerinin farklı tarım alanlarında nasıl kullanılabileceğinin ve bu sistemlerin sürdürülebilir tarım uygulamalarına nasıl entegre edilebileceğinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu durumun, tarım endüstrisindeki teknolojik gelişmelerin daha geniş bir kapsamda değerlendirilmesine olanak tanıyarak sektördeki verimliliği ve sürdürülebilirliği ne derece artırabileceği merak edilmektedir.

KAYNAKÇA

Demirel, M. (2009). Su kaynakları yönetimindeki politika ve sorunlar: Denizli örneğinde bir değerlendirme. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, s. 270.

Fidan, U., Saltuk, S. (2011). Bulanık mantık kontrollü silo otomasyon sistemi tasarımı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(2): 1-14.

Kurşunel, A.L. (2001). Un fabrikalarında tavlama ve tav siloları üzerine yapılan bir araştırma. Selçuk Teknik Online Dergisi, 1(3): 1-8.

Mısır, O., Bal, C., Gökrem, L. (2018). CAN BUS tabanlı silo alan ağı tasarımı. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 7(2): 106-112.

Söğüt, E., Erdem, A. (2020). Endüstriyel kontrol sistemlerine (SCADA) yönelik siber terör saldırı analizi. Politeknik Dergisi, 23(2): 557-566.

URL-1: SIEMENS. Totally integrated automation portal- always ready for tomorrow. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>. Erişim Tarihi: Mart 2024.

BÖLÜM III

Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Diferansiyel Röle Uygulamaları, Güvenlik ve Sistem Performansının Artırılması

Uğur Ali KARATAŞ¹
Recep YUMURTACI²
Furkan KARAKUŞ³

1.Giriş

1.1 Literatür Özeti

Raylı sistem elektrik tesislerindeki sorunların önlenmesi ve güvenliğin artırılması amacıyla yapılan bu çalışma, orta gerilim elektrik sistemleri ve diferansiyel koruma sistemlerinin incelenmesini ve literatür taraması ile uzman görüşlerinin

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0009-0005-4201-3576

² Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-3993-405X

³ Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-0218-3985

değerlendirilmesini içermektedir. Raylı sistem elektrik tesislerindeki diferansiyel röle uygulamaları, elektrik tesislerinin güvenliğini sağlamak adına büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, sorunların tespit edilmesi ve çözümlerin sunulması yoluyla raylı sistem elektrik tesislerinin verimliliğini ve güvenliğini artırmaktır. Bu doğrultuda, orta gerilim elektrik sistemleri incelenecek ve mevcut uygulamalar değerlendirilecektir. Ayrıca, farklı diferansiyel koruma sistemleri ve çalışma prensipleri hakkında bilgi sağlanacak ve bu sistemlerin raylı sistem elektrik tesislerinde nasıl uygulandığı açıklanacaktır. Bu çalışma ayrıca literatür taraması ve uzman görüşlerini içerecektir. Bu kaynaklardan elde edilen bilgiler, diferansiyel röle uygulamalarının avantajları ve dezavantajları hakkında derinlemesine bir anlayış sağlayacak ve karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik öneriler sunacaktır. Sonuç olarak, raylı sistem elektrik tesislerindeki diferansiyel röle uygulamaları, elektrik tesislerinin güvenliğini artırmada etkili bir yöntemdir ve bu çalışma, bu alanda daha fazla araştırma ve geliştirme yapma olanağı sunmaktadır.

1. "A Coordinated Multi-Element Current Differential Protection Scheme for Active Distribution Systems" isimli makalede, DG (Dağıtılmış Üretim) entegrasyonlu dağıtım sistemlerine uygun çok elemanlı hat diferansiyel koruma yaklaşımı üzerinde durulmuştur. Mevcut diferansiyel koruma şemalarından farklı olarak, bu yaklaşım, her dağıtım koruma bölgesine (DPZ) birden fazla diferansiyel eleman uygulayarak etkin bir zaman dereceli şema oluşturmayı hedeflemiştir. Bu yöntem, kritik hata direnci değerine sahip hatalara karşı hassas bir diferansiyel eleman ve en şiddetli hatalara karşı ani bir diferansiyel eleman kullanımını içermektedir. Ayrıca, DG beslemesinden kaynaklanan harici hatalar sırasında gereksiz açılmaları önlemek için bloklama temelli mantık uygulanmış ve yedek koruma için bir bozulan

koruma (BF) şeması tasarlanmıştır. Gerçek bir dağıtım sistemi üzerinde yapılan zaman alanı hata simülasyonları, tasarlanan koruma şemasının performansını artırdığını ve geleneksel yaklaşıma göre üstünlüğünü ortaya koymuştur.

2. "A Wavelet-Based Transformer Differential Protection With Differential Current Transformer Saturation and Cross-Country Fault Detection" isimli makalede, sınır ayırık dalgacık dönüşümüne dayalı güç transformatörü diferansiyel koruma şeması araştırılmıştır. Önerilen yöntem, iç hataları %100 başarı oranı ve 214 µs ortalama röle çalışma süresi ile tespit ederken, geleneksel yöntem %92.60 başarı oranı ve 19 ms süre sağlamıştır. Ayrıca, önerilen yöntem, CT saturasyonuna karşı daha yüksek güvenilirlik sunmaktadır.
3. "Adaptive Differential Protection Scheme for Wind Farm Integrated Power Network" isimli makalede, rüzgar çiftliği entegreli güç ağına uygulanan diferansiyel koruma algoritması için yenilikçi bir eşik seçme süreci araştırılmıştır. Bu yöntem, sürü zekası tekniğini kullanmaktadır. Geleneksel diferansiyel şemalar, rüzgar çiftliklerinin entegrasyonu nedeniyle dinamik çalışma koşullarında eşik ayarlama sorunları yaşamaktadır. Bu sorunu hafifletmek için PSO (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu) yardımı sağlanarak, genel güvenilirlik artırılmıştır. Rüzgar çiftliğinin dinamik çalışma koşulları altında, yöntem doğru ve güvenilir sonuçlar vermektedir. PSO ile belirlenen en doğru minimum eşik, geleneksel deneme-yanılma yöntemleriyle elde edilemeyecek kadar yüksek güvenilirlik sağlamaktadır. Önerilen yaklaşımın hesaplama yükü mevcut röle şemalarına göre ihmal edilebilir düzeydedir ve eşik ayarlama süreci çevrim dışı hesaplamalara dayandığından, rüzgar çiftliğinin dinamik koşullarında bile hız ve güvenilirlikten ödün verilmemektedir.

4. "An Energy Differential Relay for Long Transmission Lines" isimli makalede, uzun iletim hatları için enerji diferansiyel rölesi araştırılmıştır. Önerilen koruma yönteminde, korunan hatta kısa bir zaman diliminde beslenen net enerjiyi hesaplamak için iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemler, iletim hattındaki enerji akışını ve dağıtılmış elemanların enerji tüketimini iç hata olmadığı varsayımıyla hesaplamaktadır. İç hata olmadığında, bu iki yöntemin enerjileri eşit çıkmaktadır. Önerilen teknik, yüksek güvenilirlik, hızlı tepki süresi ve yüksek dirençli toprak hatası koşullarında mükemmel performans göstermektedir. Yöntemin performansı, Elektromanyetik Geçici Rejim Programı (EMTP) simülasyon testleri, dinamik simülasyon testleri ve rekabetçi bir yöntemle yapılan karşılaştırmalarla doğrulanmıştır.
5. "Investigating the Dynamic Performance of New Protective Equipment" isimli makalede, yeni koruma ekipmanlarının dinamik performansının araştırılması üzerinde durulmuştur. Gerçek saha operasyonları altında önerilen röle fonksiyonunun gerçek davranışını temsil etmek için MATLAB paketi ile tam dinamik bir güç sistemi modeli geliştirilmiştir. Sonuçlar, hattın ortasında bile tüm iç hata türleri için üstün röle duyarlılığını doğrulamıştır. Tüm harici hata koşullarına ve hem kararlı hem de kararsız güç salınımlarına karşı mükemmel bir stabilite göstermiştir. Ayrıca, uygulama aşamasında güvenilir ve basit bir gelişim sağlamak için yeni bir ayar profili önerilmiştir. Bu nedenle, güç diferansiyel rölesinin iletim hatlarına uygun koruma sağladığı açıktır.
6. "A New Differential Relaying Scheme for Busbar Protection" isimli makalede, baraseti koruma için yeni bir diferansiyel röle şeması önerilmiştir. PSCAD/EMTDC yazılım paketi kullanılarak mevcut bir 230 kV Hindistan güç iletim sistemi ağını modelleyerek üretilen verilerle kapsamlı testler yapılmıştır.

Önerilen şema, tüm bölge içi hataları tespit edebilmekte ve bölge dışı hatalar sırasında stabil kalabilmektedir. Çoğu iç hata için ortalama açma süresi 20 ms içindedir. Sıfır geçiş tekniği, farklı sistem parametreleriyle tüm dış hata türlerinde ciddi Akım Transformatörü saturasyonunu tespit edebilmektedir. Ayrıca, şema yüksek dirençli bölge içi hatalarda yüksek duyarlılığa sahiptir.

7. "Adaptive Differential Protection for Power Transformer Protection" isimli makalede, güç transformatörleri için adaptif diferansiyel koruma önerilmiştir. PSCAD yazılımı ile 400/230 kV, Y-Y transformatör modeli kullanılarak sistem modellenmiş ve transformatör içindeki çeşitli hatalar için doğrulanmıştır. Yüksek empedanslı bölge içi hatalar simüle edilip yüzde-eğilimli diferansiyel röle tekniği üzerinde test edilmiştir. Ayrıca, değişen sistem parametreleriyle transformatör dışındaki birkaç hata oluşturulmuş ve algoritma üzerinde uygulanmıştır. Önerilen teknik, enerji sistemi ağlarının EHV trafo merkezlerinde sıkça kullanılan çeşitli transformatör düzenleri için de test edilmiştir. Çoğu iç hatanın ortalama tepki süreleri kabul edilebilir sınırlar içindedir. Ayrıca, önerilen çift eğimli diferansiyel röle yöntemi, yüksek dirençli iç hatalar durumunda çalışmaya devam edecek ve Akım Transformatörü saturasyonu durumunda hassas olmayacaktır. Önerilen şemanın doğruluğunu kontrol etmek için, farklı seviyelerde Akım Transformatörü saturasyonu ile bölge dışı hatalar oluşturulmuş ve algoritmanın mantığına göre karakteristikler değiştirilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, raylı sistem elektrik tesislerinde diferansiyel röle uygulamalarının güvenlik ve sistem performansını artırma potansiyelini incelemektir. Araştırmanın odak noktası,

diferansiyel koruma sistemleri aracılığıyla orta gerilimde karşılaşılan arızaların tespiti ve hat korumasının nasıl yapılabileceğinin belirlenmesidir. Bu çerçevede, farklı sistemlerdeki uygulamalar karşılaştırılarak en etkili yöntemlerin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Çalışma, hat diferansiyel koruma rölelerinin seçicilik, hızlı müdahale, güvenilirlik, ekonomik verimlilik ve arıza lokalizasyonu açısından faydalarını ortaya koymayı hedeflemektedir. Uluslararası güvenilirliğe sahip bir firmanın diferansiyel rölelerine ait saha test sonuçları paylaşılacak ve bu sonuçlar teorik bulgularla karşılaştırılacaktır.

Ayrıca, ETAP simülasyon programı kullanılarak yapılan elektrifikasyon çalışmaları ve röle ayarlamaları gösterilecektir. Bu simülasyonlar, diferansiyel rölelerin etkinliğini ve pratik uygulamalardaki performansını doğrulamak amacıyla kullanılacaktır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, kent içi raylı sistemlerde kullanılan orta gerilim elektrik tesislerindeki diferansiyel koruma rölelerinin etkinliği ve avantajları üzerine çeşitli hipotezler öne sürülmektedir. Öncelikle, diferansiyel koruma rölelerinin diğer koruma rölelerine göre daha hızlı arıza tespiti ve müdahale sağladığı hipotez edilmektedir. Bu hipoteze göre, diferansiyel röleler, arızaları daha kısa sürede tespit ederek sistem güvenliğini artırmaktadır.

İkinci olarak, diferansiyel rölelerin arıza lokalizasyonu doğruluğu açısından diğer rölelere kıyasla daha üstün olduğu öne sürülmektedir. Bu, diferansiyel rölelerin arızalı bölgeyi daha yüksek doğrulukla belirleyerek sistemin geri kalan kısmının güvenli bir şekilde çalışmasını sağladığı anlamına gelmektedir.

Üçüncü olarak, diferansiyel rölelerin ekonomik verimlilik ve güvenilirlik açısından diğer rölelerden daha avantajlı olduğu hipotez edilmektedir. Diferansiyel rölelerin bakım ve işletim maliyetlerinin daha düşük olduğu ve güvenilirliklerinin daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, diferansiyel rölelerin seçicilik, hızlı müdahale kapasitesi, ekonomik verimlilik ve arıza lokalizasyonu gibi kriterlerde üstün performans sergilediği varsayılmaktadır.

Ayrıca, ETAP simülasyon programı kullanılarak yapılan elektrifikasyon çalışmaları ve röle ayarlamalarının, diferansiyel rölelerin etkinliğini pratik uygulamalarda doğruladığı hipotez edilmektedir. Simülasyon sonuçlarının saha testleri ile yüksek uyum gösterdiği ve bu simülasyonların güvenilir bir referans noktası olduğu düşünülmektedir.[1]

Bunun yanı sıra, uluslararası güvenilirliğe sahip bir firmanın diferansiyel rölelerinin saha test sonuçları ile, bu rölelerin seçicilik, hızlı müdahale kapasitesi, ekonomik verimlilik ve arıza lokalizasyonu açısından yüksek performans sergilediği hipotez edilmektedir. Bu sonuçların, teorik bulgularla uyumlu olduğu ve diferansiyel koruma sistemlerinin etkinliğini doğruladığı varsayılmaktadır.

Son olarak, akım trafosu doygunluğunun diferansiyel rölelerin performansı üzerindeki etkisi[2] ve IEC61850 iletişim protokolünün[3] diferansiyel koruma sistemlerinin güvenilirliğini artırdığı hipotez edilmektedir. Akım trafolarının doygunluk durumlarının diferansiyel rölelerin doğru çalışmasını etkileyebileceği ve IEC61850 protokolünün, sistem güvenliğini ve veri iletim hızını artırarak diferansiyel rölelerin performansını olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.

2.Raylı Sistemler ve Ulaşım Genel Bakış

Raylı sistemler, modern şehirlerde ulaşımı kolaylaştırmak için kullanılan önemli bir sistemdir. Bu sistemler, sadece şehir içi değil aynı zamanda şehirlerarası ulaşım için tercih edilmekte olup, yüksek kapasiteli çözümler sunmaktadır. Raylı sistemlerin çevre dostu, hızlı ve güvenilir olması, onu popüler bir ulaşım seçeneği yapmaktadır. Gelişmiş bir tarihe sahip olan raylı sistemler sürekli olarak yenilenmekte ve modernize edilmektedir. Günümüzde, çeşitli türdeki raylı sistemler arasında metro, hafif raylı sistem, tramvay, monoray, Yüksek Hızlı Trenler (YHT), banliyö trenleri, maglev trenler ve tam otomatik sürücüsüz sistemler gibi birçok seçenek bulunmaktadır. Bu sistemler, kalabalık nüfuslu bölgelerde en çok tercih edilen ulaşım alternatifleridir ve şehirlerin ulaşım sorunlarına etkili çözümler sunmaktadır. Raylı sistemlerin kullanımı, şehirlerin ulaşım ihtiyaçlarına cevap verebilmek için her geçen gün artmaktadır. Bu sistemlerin avantajları ve sunduğu kolaylık nedeniyle, birçok şehir raylı sistemleri ulaşım ağlarına dahil etme hedefiyle hareket etmektedir. Bu şekilde, şehirler hem daha sürdürülebilir bir ulaşım seçeneği sunmakta hem de trafik sorunlarını azaltmaktadır. Genel olarak, raylı sistemler toplu taşıma alanında önemli bir yer tutmakta ve şehir yaşamını daha kaliteli hale getirmektedir.

2.1 Raylı Sistemlerin Tarihçesi

Raylı sistemlerin tarihi, 19. yüzyıla kadar uzanmaktadır. İlk kez atlarla çekilen tramvayların ortaya çıkmasıyla başlayan raylı sistemler, zamanla teknolojinin ilerlemesiyle büyük bir dönüşüm ve evrim geçirmiştir. Demiryolu ve tramvaylar, hem şehir içinde hem de şehirlerarası ulaşımında önemli bir rol oynamış ve insanların hareketlilik ihtiyacını karşılamada büyük bir etkiye sahip olmuştur.



Şekil 1 - At çekiş gücü ile gerçekleştirilen raylı ulaşım

Raylı sistemlerin tarihçesi, endüstri devrimi ile daha da hız kazanmış ve büyük bir gelişme sürecine girmiştir. Bu süreçte, demiryolları ve tramvay hatları hızla yayılarak, dünya genelinde birçok şehirde kullanılmaya başlanmıştır. Raylı sistemler sayesinde, başka türlü ulaşımın mümkün olmadığı bölgelere bile kolayca erişim sağlanmış ve toplumların birbirleriyle bağlantısı artmıştır.

Günümüzde raylı sistemler, modern ve gelişmiş yapılarıyla birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Yüksek hızlı trenler, metrolar, tramvaylar ve hafif raylı sistemlerle hem kişilerin hem de yüklerin hızlı ve güvenli bir şekilde taşınması sağlanmaktadır. Ayrıca, raylı sistemler çevre dostu ulaşım seçenekleri olarak da ön plana çıkmaktadır. Az miktarda enerji kullanımı ve düşük karbon salınımıyla, sürdürülebilir ulaşımın öncüsü olarak kabul edilmektedir.

Raylı sistemlerin tarihçesi, teknolojinin sürekli gelişimiyle birlikte daha da ileriye taşınmaktadır. Yeni teknolojiler ve yenilikçi çözümlerle, raylı sistemlerin güvenlik, hız, konfor ve verimlilik açısından daha da geliştirilmesi hedeflenmektedir. Gelecekte, daha hızlı tren hatları, akıllı tren sistemleri ve enerji verimliliği sağlayan çözümlerle raylı sistemlerin kullanımı daha da yaygınlaşacak ve toplumların ulaşım ihtiyaçlarına daha iyi yanıt verecektir.

Sonuç olarak, raylı sistemlerin tarihçesi önemli bir evrim geçirmiş ve günümüzde modern ve sürdürülebilir ulaşımın bir parçası haline gelmiştir. Bu sistemler, geçmişten günümüze kadar sürekli olarak gelişmekte ve toplumların hareketlilik ihtiyaçlarını karşılarken, aynı zamanda çevre dostu ve verimli bir ulaşım seçeneği sunmaktadır. Gelecekte de raylı sistemlerin daha da ilerlemesi ve yenilikçi çözümlerle donatılması beklenmekte ve toplumların hızlı, güvenli ve sürdürülebilir ulaşım ihtiyaçlarına yanıt vereceği düşünülmektedir.

2.2 Raylı Sistem Türleri

Raylı sistemlerin farklı yapı ve türleri bulunmaktadır. Metro sistemleri, şehir içinde hızlı ve yoğun ulaşımı sağlarken hafif raylı sistemler daha kısa mesafeli ve düşük kapasiteli taşımacılık için kullanılır. Tramvay sistemleri genellikle şehir içinde tercih edilirken, monoray sistemleri ise tek ray üzerinde ilerleyerek genellikle turistik bölgelerde kullanılır. Yüksek Hızlı Trenler (YHT) uzun mesafelerde hızlı ulaşım imkanı sunarken, banliyö trenleri genellikle şehirler arası taşımacılığı kapsar. Maglev trenler ise manyetik alanlarla hareket eder ve yüksek hızlı trenlerden farklı bir teknoloji sunar. Otomatik sürücüsüz sistemler ise geleceğin ulaşımının hedefine doğru ilerlemektedir.

2.2.1 Metro Sistemleri

Metro sistemleri, yoğun şehir trafiğini rahatlatmak ve hızlı ulaşım imkanı sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Yeraltında veya yüksek platformlarda hizmet veren metro sistemleri, genellikle büyük şehirlerde tercih edilmektedir. Yolcu kapasitesi ve hızı yüksek olan bu sistemler, elektrikli motorlar yardımıyla hareket ederler. Metro hatlarında güvenlik ve sistem performansı oldukça önemlidir, bu yüzden diferansiyel röle uygulamaları bu sistemlerde çokça kullanılmaktadır. Diferansiyel röleler, hat koruması sağlayarak karşılaşılabilecek arızaları minimum seviyeye indirir ve güvenli bir seyahat imkanı sunar.



Şekil 2 - M4 Metro su

2.2.2 Hafif Raylı Sistemler

Hafif raylı sistemler, genellikle kent içi ulaşımı desteklemek amacıyla kullanılan toplu taşıma sistemleridir. Bu sistemler, metro sistemlerinden daha düşük kapasiteye sahip olup, genellikle şehir içi ulaşımında tercih edilmektedir. Hafif raylı sistemler, tramvay

sistemlerinden daha hızlı ve modern bir taşıma hizmeti sunarlar. Genellikle yolcu yoğunluğunun daha az olduğu bölgelerde kullanılan hafif raylı sistemler, çevre dostu ve ekonomik bir ulaşım seçeneği olarak değerlendirilmektedir. Sürekli gelişen teknolojiyle birlikte hafif raylı sistemlerin altyapısı da sürekli iyileştirilmektedir, bu da güvenlik ve sistem performansının artırılmasına katkı sağlamaktadır.

2.2.3 Tramvay Sistemleri

Tramvay sistemleri, şehir içi ulaşımında önemli bir role sahip olup, raylı sistemlerin bir türü olarak kabul edilir. Yolculukların genellikle kısa ve şehir içi güzergahlarda yapıldığı tramvaylar, yaygın olarak kullanılmaktadır. Tramvay sistemlerinde yolcu taşımacılığı hedeflenirken, aynı zamanda trafiği rahatlatma ve çevreye duyarlı bir ulaşım seçeneği sunma amacı da güdülmektedir. Tramvay hatları genellikle elektrikli olduğundan, elektrik tesislerinde güvenlik ve performans ön planda tutulmalıdır. Bu bağlamda, diferansiyel röle uygulamaları, tramvay sistemlerinde güvenliği artırmak ve sistem performansını optimize etmek için büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3 - T1 Tramvayı

2.2.4 Monoray Sistemleri

Monoray sistemleri, tek bir ray üzerinde hareket eden trenleri kullanan bir raylı sistem türüdür. Diğer raylı sistemlerden farklı olarak, monoray trenleri tek bir ray üzerinden ilerler ve bu sayede daha az alan kaplar. Bu sistem genellikle şehir içi ulaşımda tercih edilir çünkü yüksek yolcu kapasitesine sahiptir. Monoray trenleri, diğer trenlere göre daha yüksek hızlara ulaşabilir ve yüksek manevra kabiliyetine sahiptir. Elektrik tesisleri açısından, monoray sistemlerinde differansiyel röle uygulamaları önemli bir konudur çünkü güvenlik ve sistem performansını artırmaya yardımcı olabilir.



Şekil 4 - São Paulo Monorayı

2.2.5 Yüksek Hızlı Trenler (YHT)

Yüksek Hızlı Trenler (YHT), raylı sistemler içinde önemli bir yere sahiptir. Hem yolcu hem de yük taşımacılığında tercih edilen YHT'ler, uzun mesafelerde hızlı ve konforlu bir ulaşım imkanı sunar. Elektrik tesislerinde YHT'ler için özel güvenlik ve performans standartları bulunmaktadır. Yüksek voltaj ve yüksek hızlı trenlerin enerji ihtiyaçları dikkate alınarak elektrik tesislerinin dizaynı yapılmalıdır. Diferansiyel röleler, YHT'lerin elektrik tesislerinde güvenlik ve performansın artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. YHT'lerin elektrik sistemlerindeki koruma ihtiyaçları özel olarak ele alınmalı ve diferansiyel rölelerin doğru uygulanması sağlanmalıdır.



Şekil 5 – TCDD Yüksek Hızlı Tren

2.2.6 Banliyö Trenleri

Banliyö trenleri, şehir merkezlerini çevreleyen ve genellikle yoğun nüfuslu yerleşim bölgelerini birbirine bağlayan demiryolu sistemlerini ifade eder. Kısa mesafeli seyahatler için ideal olan banliyö trenleri, genellikle yüksek yolcu kapasitesine sahip ve sık seferlerle hizmet verirler. Bu trenler, şehir içi ulaşımının önemli bir parçası olarak günlük yaşamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Banliyö trenleri, genellikle elektrikli sistemlerle çalışır ve elektrik tesislerinde diferansiyel rölelerin uygulanması güvenlik ve sistemin performansının artırılmasında önemli bir rol oynar. Diferansiyel koruma sistemleri, banliyö trenlerinin elektrik tesislerinde kullanılarak, olası arızaların hızlı bir şekilde algılanması ve müdahale edilmesi sağlanır, böylece güvenli ve kesintisiz bir seyahat deneyimi sunulur.



Şekil 6 - İZBAN

2.2.7 Maglev Trenler

Maglev trenleri, manyetik levitasyon kullanarak hareket eden ve raylarda temas olmadan ilerleyen yüksek hızlı tren sistemleridir. Bu sistemlerde tren aracı raylar yerine manyetik alanlar aracılığıyla yükseltilir ve taşınır, bu da sürtünme direncini minimuma indirerek daha yüksek hızlara ulaşmayı sağlar. Maglev trenleri genellikle yüksek hızlı ulaşım sistemleri olarak tercih edilirler ve üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Ülkeler arasında rekabetin arttığı bugünlerde, maglev trenlerin kullanımı ve geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu yüksek teknoloji trenleri, gelecekte raylı sistemlerin taşımacılık sektöründeki yerini daha da güçlendirebilir.



Şekil 7 - Şanghay Maglev Treni

2.2.8 Tam Otomatik Sürücüsüz Sistemler

Tam otomatik sürücüsüz sistemler, raylı sistemlerde giderek daha fazla tercih edilen bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, insan müdahalesine gerek kalmadan trenlerin otomatik olarak seyahat etmesine olanak tanır ve güvenlik ve verimlilik açısından önemli avantajlar sunar. Yapay zeka ve sensör teknolojileri sayesinde trenler arasındaki mesafe ve hızın en iyi şekilde yönetilmesi sağlanır. Bu da kazaların önlenmesine yardımcı olurken, sistem performansının artırılmasına katkı sağlar. Tam otomatik sürücüsüz sistemler, raylı sistemlerde geleceğin standartları arasında yer almaktadır.



Şekil 8 - M5 Metro su

3. Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrik Sistemleri

Raylı sistemlerde orta gerilim elektrik sistemleri, enerjinin güvenli ve sürekli iletimini sağlayan önemli bir bileşendir. Bu sistemler, transformatörler, orta gerilim hücreleri, devre kesiciler, ayırıcılar, ölçü trafoları, diferansiyel röleler ve kablo sistemlerini içerir. Güçlü bir altyapıya sahip olan orta gerilim elektrik sistemleri, raylı sistemlerin performansını artırmak ve güvenliğini sağlamak için gerekli elemanları barındırır. [4]

3.1 Orta Gerilim Elektrik Sistemlerinin Genel Yapısı

Orta gerilim elektrik sistemleri genellikle transformatörler kullanılarak başlar ve enerjinin dağıtımını sağlamak üzere hücrelere, devre kesicilere ve ayırıcılara bağlanır. Bu sistemler, yüksek voltajdaki elektriği uygun düzeylere düşürmek ve raylı sistemlerin ihtiyacına göre dağıtımını yapmak amacıyla özenle

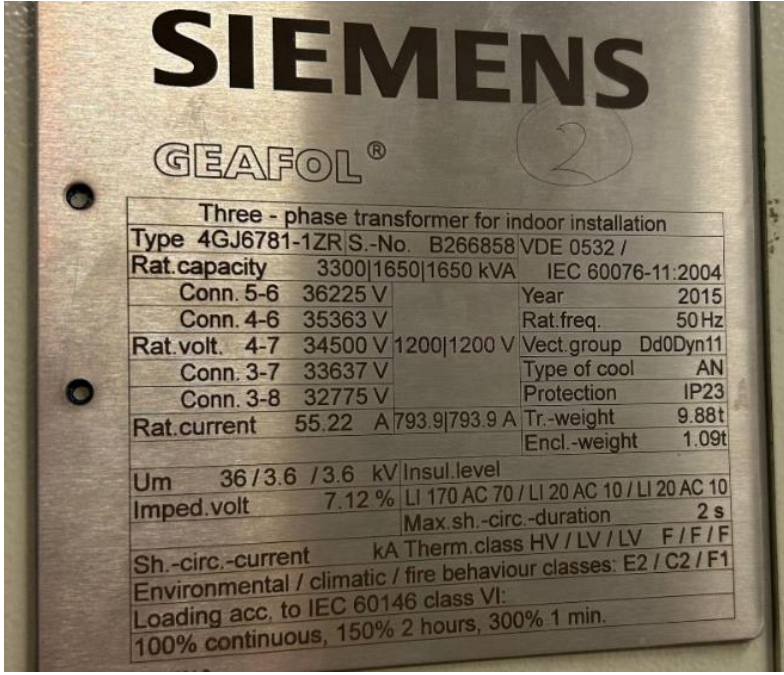
tasarlanmıştır. Elemanların uyumlu çalışmasıyla sistemin dengeli ve güvenilir bir şekilde işleme sağlanır. Bu sayede, elektrik kesintileri ve arızalar minimum seviyeye indirilir, kullanıcıların güvenliği ve konforu sağlanır. Sistemin genişleyen taleplerini karşılamak için sürekli olarak güncellenen bir yapıya sahiptir. Ayrıca, güvenlik standartlarına uygun olarak tasarlandığı için yangın riski de en aza indirilmektedir. Orta gerilim elektrik sistemleri, enerji dağıtım alanlarında önemli bir rol oynar ve günlük hayatın vazgeçilmez bir parçasıdır. Elektrik ihtiyacını karşılamak ve uygun bir şekilde dağıtmak için gerekli olan bu sistemler, uzmanlar tarafından tasarlanır ve sürekli olarak geliştirilir.

3.2 Raylı Sistemlerde Kullanılan Orta Gerilim Elektrik Sistemlerinin Elemanları

Raylı sistemlerde kullanılan orta gerilim elektrik sistemlerinin elemanları arasında transformatörler, orta gerilim hücreleri, devre kesiciler, ayırıcılar, ölçü trafoları, diferansiyel röleler ve kablo sistemleri yer almaktadır. Bu elemanlar, enerjinin güvenli ve etkili bir şekilde iletilmesini sağlar ve raylı sistemlerin elektrik altyapısını oluşturur. Her bir elemanın belirli bir görevi ve önemi bulunmaktadır.

3.2.1 Transformatörler

Transformatörler, orta gerilim elektrik sistemlerinde enerjinin voltajını değiştiren ve uygun seviyelere düşüren elemanlardır. Raylı sistemlerde kullanılan transformatörler, enerjinin iletimini sağlayarak sistemin verimli çalışmasını destekler. Bu elemanlar, elektrik akımının dönüşümünü gerçekleştirir ve güvenli bir şekilde enerjinin dağıtımını sağlar.



Şekil 9 - M5 Metrosuna ait çift sekonderli kuru tip trafo etiketi
(CER Trafosu)

3.2.2 Orta Gerilim Hücreleri

Orta gerilim hücreleri, raylı sistemlerde orta gerilim elektrik sistemlerinin temel yapı taşlarından biridir. Hücreler, enerjinin güvenli bir şekilde dağıtımını ve kontrolünü sağlar. Bu elemanlar, devreleri koruyarak sistemin performansını artırır ve güvenlik düzeyini yükseltir. Orta gerilim hücreleri, elektrik sistemlerinde verimli bir enerji iletimi için kritik bir rol oynar.



Şekil 10 - M4 Metrosuna ait OG hücreleri

3.2.3 Devre Kesiciler

Raylı sistemlerde kullanılan devre kesiciler, enerjinin akışını kontrol eden ve ani kesintilere karşı koruma sağlayan önemli bileşenlerdir. Bu elemanlar, elektrik hattındaki aşırı akım durumlarında devreyi açarak sistemi korurlar. Devre kesiciler, enerji kayıplarını minimize eder ve sistemin sürekliliğini sağlar.

3.2.4 Ayırıcılar

Ayırıcılar, orta gerilim elektrik sistemlerinde devreler arasında yalıtım sağlayan ve bakım çalışmaları için devreleri ayıran önemli elemanlardır. Raylı sistemlerde kullanılan ayırıcılar, enerji iletimini güvenli bir şekilde kontrol eder ve bakım süreçlerini kolaylaştırır. Bu elemanlar, sistemdeki güvenlik ve performansı artırmada önemli bir rol oynar.

3.2.5 Ölçü Trafoları

Ölçü trafoları, raylı sistemlerde enerjinin ölçümünü yapmak ve verileri analiz etmek için kullanılan elemanlardır. Bu trafolar, enerjinin kullanımını izlemek ve kontrol etmek amacıyla sisteme entegre edilir. Ölçü trafoları, enerji tüketimini denetlemek ve verimliliği artırmak için önemli bir role sahiptir. Bu elemanlar, enerji sistemlerinin performansını ve güvenliğini destekler.

3.2.6 Diferansiyel Röleler

Diferansiyel röleler, orta gerilim elektrik sistemlerinde hatlardaki akım farklılıklarını algılayan ve koruma sağlayan önemli bileşenlerdir. Raylı sistemlerde kullanılan diferansiyel röleler, hat korumasını güçlendirmek ve sistemde olası arızaları önlemek için tasarlanmıştır. Bu röleler, elektrik iletimini güvenli bir şekilde yönetir ve sistemin performansını artırır.



Şekil 11 - M4 Metrosuna Ait Diferansiyel Röle

3.2.7 Kablo Sistemleri

Kablo sistemleri, raylı sistemlerde güç iletimini sağlayan ve enerjinin iletimini kolaylaştıran önemli altyapı elemanlarıdır. Bu sistemler, orta gerilim elektrik sistemlerinin güvenli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlar. Kablo sistemleri, enerjinin iletiminde minimum enerji kaybıyla maksimum verimliliği hedefler ve raylı sistemlerin elektrik altyapısını destekler.

4. Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Orta Gerilimde Karşılaşılan Arızalar

4.1 Aşırı Akım Arızaları

Aşırı akım sorunları, raylı sistem elektrik tesislerinde sıkça karşılaşılan orta gerilim arızaları arasında yer alır. Bu tür sorunlar genellikle yüksek akım akışı nedeniyle ortaya çıkar ve hızlı müdahale gerektirir. Aşırı akım durumunda devre kesiciler veya diferansiyel koruma sistemleri devreye girerek sorunu çözmeye çalışır. Aşırı akım sorunlarının önlenmesi için düzenli bakım ve gerilim seviyelerinin kontrolü önemlidir.

4.2 Kısa Devre Arızaları

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde karşılaşılan kısa devre arızaları, genellikle hızlı müdahale gerektiren acil durumlar arasında yer alır. Kısa devre durumunda, devre kesiciler devreye girerek akımı kesmeye çalışır ve sistemin zarar görmesini engellemeye çalışır. Kısa devre arızalarının önlenmesi için düzenli bakım ve izolasyon kontrolü son derece önemlidir. Ayrıca, sistemde kullanılan ekipmanların kalitesi ve dayanıklılığı da kısa devre arızalarının minimize edilmesinde etkili olabilir.

4.3 Toprak Hatası

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde toprak hatası, izolasyon problemleri nedeniyle ortaya çıkabilen ciddi bir arızadır. Toprak hatası durumunda, yüksek akım akışı meydana gelir ve sistemde ciddi hasarlara yol açabilir. Toprak hatası arızalarının önlenmesi için düzenli izolasyon testleri yapılmalı ve ekipmanların kalitesine dikkat edilmelidir. Ayrıca, personel eğitimleri ve güvenlik prosedürlerinin düzenli olarak gözden geçirilmesi de toprak hatalarının minimize edilmesinde önemli bir rol oynar.

4.4 Gerilim Dalgalanmaları

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde karşılaşılan gerilim dalgalanmaları, sistemin doğru şekilde çalışmasını engelleyebilecek önemli arızalardan biridir. Gerilim dalgalanmaları genellikle enerji akışındaki değişimlerden kaynaklanır ve sistemde aksamalara neden olabilir. Bu tür arızaların önlenmesi için gerilim stabilizasyon ekipmanları kullanılabilir ve gerilim seviyelerinin sürekli izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, güç kaynaklarının düzenli bakımı ve kalibrasyonunun yapılması da gerilim dalgalanmalarının minimize edilmesinde önemli bir rol oynar.

4.5 Faz Kayması

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde faz kayması arızası, farklı fazların eşit olmayan akım taşımaya neden olan ciddi bir sorundur. Faz kayması durumunda, denge bozulur ve enerji aktarımı etkilenir, bu da sistemin doğru şekilde çalışmasını engeller. Faz kayması arızalarının önlenmesi için sistemdeki ekipmanların düzenli olarak kontrol edilmesi ve farklı fazların akım düzeylerinin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, personelin eğitimi ve sistemdeki güvenlik prosedürlerine uyulması faz kayması arızalarının minimize edilmesinde önemli bir rol oynar.

4.6 Akım Trafosu Doygunluğu

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde karşılaşılan akım trafosu doygunluğu, akım trafolarının doğru şekilde çalışmasını engelleyen bir arızadır. Trafolar doygun hale geldiğinde, akım akışı yetersiz hale gelir ve sistem verimliliği olumsuz etkilenir. Akım trafosu doygunluğunun önlenmesi için trafoların düzenli bakımı ve kontrolü yapılmalıdır. Ayrıca, trafoların uygun şekilde boyutlandırılması ve yüksek kaliteli

malzemelerden üretilmesi de doyunluk sorunlarının minimize edilmesinde etkili olabilir.

4.7 İzolatör Arızaları

Raylı sistem elektrik tesislerinde orta gerilimde izolatör arızaları, sistemde ciddi güvenlik riskleri oluşturan önemli arızalardan biridir. İzolatör arızaları genellikle izolasyonun yetersiz olmasından kaynaklanır ve yüksek gerilimle temas riski taşır. İzolatör arızalarının önlenmesi için izolasyon testlerinin düzenli olarak yapılması ve izolatörlerin kalitesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, personelin eğitilmesi ve güvenlik prosedürlerine sıkı bir şekilde uyulması izolatör arızalarının minimize edilmesinde önemli bir role sahiptir.

5. Orta Gerilimde Kullanılan Koruma Sistemleri

Orta gerilimli elektrik tesislerinde raylı sistemler için koruma sistemleri büyük önem taşır. Bu sistemlerin içinde, en sık rastlanılan diferansiyel koruma sistemidir. Elektrik tesislerinde aşırı yüklenmeyi savuşturmak için aşırı akım koruması kullanılırken, yalıtım hatalarına karşı sistemi güvenceye alan toprak hatası koruması da mevcuttur. Gerilim röleleri, gerilim seviyelerini denetler ve kontrol altında tutar. Öte yandan, frekans röleleri sistemde potansiyel frekans değişikliklerini algılar. Hat uzunlukları mesafe koruması ile yönetilirken, akım trafosu ve gerilim trafosu korumaları, trafoların emniyetli çalışmasını garanti eder. IEC 61850 iletişim protokolü ise, farklı cihazlar arasındaki iletişimi mümkün kılar ve böylece sistem performansını yükseltir.

5.1 Diferansiyel Koruma Sistemi:

Orta gerilim koruma sistemlerine dahil olan diferansiyel koruma sistemi, elektrik tesisindeki cihazları aşırı akım ve kısa devre durumlarından korumaktadır. Bu sistem, çeşitli akım

değerlerini karşılaştırır ve cihazın normal çalışma durumu ile arıza durumu arasındaki farkı belirler. Böylece, arızaların algılanması ve giderilmesi sağlanır. Hassas koruma sağlayan diferansiyel koruma sistemi, tesisin güvenliğini ve performansını geliştirir. Bu sistem sayesinde, elektrik tesislerinde olası büyük arızalar önlenebilir ve sistemdeki cihazların ömrü uzatılabilir.

5.2 Aşırı Akım Koruması

Orta gerilim koruma sistemlerinde rol alan aşırı akım koruması, tesislerin aşırı akım tehlikelerine karşı korumasını sağlar. Eğer bir cihazın nominal akım değerini geçen bir akım tespit edilirse, bu koruma sistemi devreye girer ve cihazları bu aşırı akım zararlarından muhafaza eder. Bunun sonucunda aşırı akım koruması, tesislerde sıkça karşılaşılan büyük hasarları ve arızaları engellerken sistemin güvenliğini de korur. Böylece tesislerdeki aletlerin uzun süreli kullanımını sağlar ve sistem performansını geliştirir.

5.3 Toprak Hatası Koruması

Orta gerilim koruma sistemleri arasında bulunan toprak hatası koruması, elektrik tesislerinin yaşadığı yalıtım hatalarına karşı korumayı sağlar. Bu koruma çözümü, bir cihazın yalıtımında bir hata tespit ettiğinde, sistemi devre dışı bırakır ve bu hataların önüne geçer. Bunun yanında, toprak hatası koruması, tesislerin güvenliğini geliştirirken, cihazların ve çalışanların emniyetini de garanti altına alır. Sonuç olarak, sistemdeki arızaları ve kazaları önleyerek, sistem performansını artırmış olur.

5.4 Gerilim Röleleri

Gerilim röleleri, orta gerilim koruma sistemlerinde önemli bir rol oynar ve tesislerde gerilim seviyelerini denetleyerek kontrol altında tutarlar. Bu röleler, gerilim değerlerindeki anormal

değişiklikleri saptayıp cihazları korur. Gerilim röleleri, potansiyel gerilim dalgalanmaları ve problemleri engeller ve tesisin güvenliğini sağlar. Sonuç olarak, cihazların uzun süreli kullanımını mümkün kılar ve performansını artırır.

5.5 Frekans Röleleri

Frekans röleleri, orta gerilim koruma sistemleri arasında bir yer bulmuştur. Sistemdeki frekans değişikliklerini denetleyerek kontrol altında tutarlar. Bu röleler anormal frekans dalgalanmalarını algılar ve cihazları korur. Frekans röleleri, elektrik tesislerinde mülüm frekans arızalarını önlerken, sistemin güvenliğini artırır. Böylece, enerji verimliliğiyle birlikte, sistemdeki cihazların performansı yüksek seviyede tutulur.

5.6 Mesafe Koruması

Raylı sistemlerin orta gerilim koruma sistemlerinde mesafe koruması önemli bir konuma sahiptir. Bu koruma çözümü, iletme hatları üzerinde kontrol sağlar ve hat üzerindeki arızaların tespitine yardımcı olur. Mesafe koruması, hat uzunluklarında meydana gelebilecek arızaları hızlıca algılar ve sistem güvenliğini artırır. Netice olarak, raylı sistemlerin elektrik tesislerinde performansı yüksek seviyede tutulur ve böylece güvenlik sağlanır.

5.7 Akım Trafosu ve Gerilim Trafosu Koruması

Orta gerilimli koruma sistemleri arasında bulunan akım trafosu ve gerilim trafosu korumaları, trafoların güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu koruma sistemleri, trafoların aşırı yüklenme ve hasara karşı korunmasını sağlar ve böylelikle trafoların ömrünü uzatır. Çalışma esnasında trafoların ısı değişimlerinden zarar görmesini engeller. Bu sayede, trafoların performansı artırılır ve tesisin güvenliği sağlanmış olur.

5.8 IEC 61850 İletişim Protokolü

Orta gerilim koruma sistemleri arasında, iletişimi sağlayan önemli bir protokol olan IEC 61850, farklı cihazlar arasında veri alışverişini mümkün kılar ve böylece sistem performansını yükseltir. Bu iletişim protokolü, elektrik tesislerinde kullanılan koruma sistemlerinin verimli çalışmasını sağlar. IEC 61850 sayesinde, cihazlar arasındaki veri alışverişi hızlanır ve koruma sistemlerinin verimliliği artar, bu da tesislerin güvenliğini artırır.

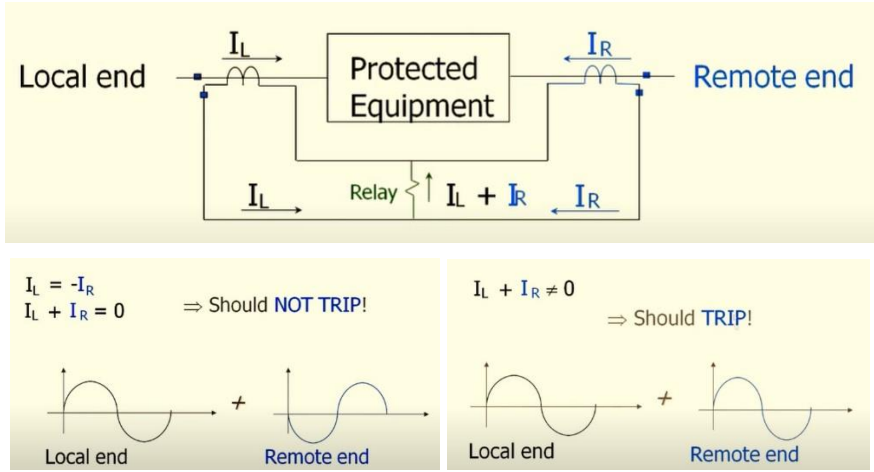
6. Raylı Sistem Elektrik Tesislerinde Diferansiyel Koruma Sistemleri

Raylı sistem elektrik tesislerinde diferansiyel koruma sistemleri, elektrik ağındaki hayati ekipmanları güvenli bir şekilde korumak amacıyla kullanılır. Bu sistemler, anormal akım ve gerilim dalgalanmalarını algılar ve hatların güvenliğini garanti eder. Akım trafoları (CT), diferansiyel röleler ve yardımcı donanımlardan oluşan diferansiyel koruma sistemleri, transformatör, jeneratör ve hat gibi çeşitli uygulama alanlarında koruma sunar, güvenli bir operasyon sağlar ve sistem performansını iyileştirir.

6.1 Çalışma Prensipleri

Raylı sistem elektrik tesislerinde kullanılan diferansiyel koruma sistemlerinin çalışma prensibi oldukça basittir. Korunan ekipmanın giriş ve çıkış noktalarındaki akım farkını sürekli olarak karşılaştırmak ve herhangi bir kaçak veya arıza durumunda hemen koruma işlemi gerçekleştirmektir. Bu sayede, olası zararları önleyerek sistemdeki güvenliği sağlamaktadır. Diferansiyel koruma sistemi, akım trafoları ve diferansiyel röleler gibi önemli bileşenleri içermektedir. Akım trafoları, korunan ekipmana seri olarak yerleştirilir ve giriş ile çıkıştan geçen akımları sürekli olarak karşılaştırır. Eğer bu karşılaştırma sonucunda bir fark tespit

edilirse, bunu diferansiyel röleye ileterek gerekli önlemlerin hemen alınmasını sağlar. Diferansiyel röle, belirlenen eşik değerin üzerinde bir akım farkı algıladığında koruma devreye girer ve kaçak durumuyla ilgili sinyal verir. Böylece, herhangi bir tehlikeli durum oluştuğunda sistem tarafından anında müdahale edilmesi sağlanır. Bu sayede, olası hasarların önüne geçilerek elektrik tesisinin güvenliği maksimum seviyede tutulur.



Şekil 12 – Çalışma Prensipleri

6.2 Bileşenler

Diferansiyel koruma sistemlerini oluşturan bileşenler arasında akım trafoları (CT), diferansiyel röleler ve yardımcı donanımlar bulunmaktadır. Akım trafoları, sistem içindeki akımı ölçerken diferansiyel röleler, fark akımlarını algılayıp koruma imkanı sağlar. Sistem performansını ve güvenilirliğini yükseltmek amacıyla, yardımcı donanımlar kullanılır.

6.2.1 Akım Trafoları (CT):

Akım trafoları (CT), raylı sistem elektrik tesislerinde diferansiyel koruma sistemlerinin ana bileşenlerinden biridir. Bu trafolar, hat üzerinde taşınan akımı ölçer ve differansiyel rölelerin doğru işleyişini garanti eder. CT'lerin doğru pozisyonlanması ve kalibre edilmesi, sistemin koruma kapasitesini direkt etkiler.

6.2.2 Diferansiyel Röle

Diferansiyel röleler, raylı sistem elektrik tesislerinde kullanılan koruma sistemlerinde, fark akımını algılayarak hatları korumak için kullanılan önemli bir bileşendir. Bu röleler, giriş ve çıkıştaki akım değerlerini sürekli olarak karşılaştırır ve hatların güvenliği etkin bir şekilde sağlar ve olası arızalar karşısında hızlı bir müdahale imkanı sunar.

6.2.3 Yardımcı Donanımlar

Raylı sistem elektrik tesislerinde diferansiyel koruma sistemlerinde kullanılan yardımcı donanımlar, sistem performansını geliştirmek ve güvenilirliği sağlamak için tasarlanmış ilave bileşenlerdir. Çoğunlukla rölelerin yanında bulunan bu donanımlar, sistemde oluşabilecek yüksek akım ve gerilim değerlerine karşı koruma sağlar ve arızaları minimum düzeye indirir.

6.3 Uygulama Alanları

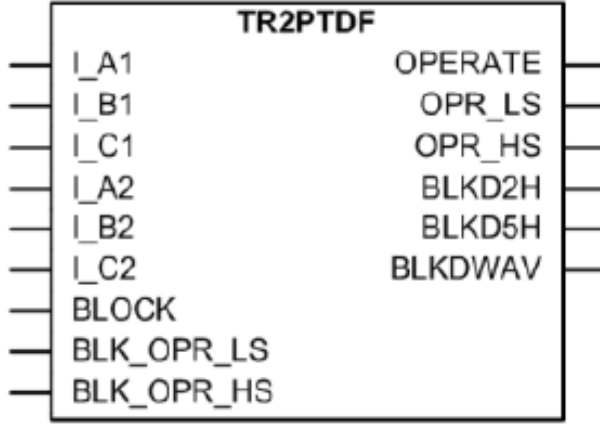
Diferansiyel koruma sistemlerinin raylı sistem elektrik tesislerinde bir dizi farklı uygulama alanları vardır. Bu alanlar arasında transformatör, jeneratör, bara ve hat koruması bulunur. Transformatör koruması, enerji dönüşümünde kilit bir rol oynarken jeneratör ve hatların korunması, sistemin güvenli ve verimli çalışmasını sağlar.

6.3.1 Transformator Koruması (87T)

Transformator koruması, ANSI 87T standardına uygun olarak geliştirilen diferansiyel koruma sistemlerinin önemli bir bileşenidir. Transformatorler, enerji dönüşümünde kritik bir rol oynar ve bu nedenle doğru bir şekilde korunmaları hayati önem taşır. Diferansiyel koruma sistemleri, transformatorlerin anormal akım ve gerilim durumlarına karşı etkili bir şekilde korunmasını sağlar. Transformatorlerin korunması, enerji şebekesindeki güvenilirliği ve sürekli hizmet sağlamayı sağlayan bir görevi yerine getirir. Transformatorler, elektrik gücünü bir voltaj seviyesinden bir diğerine aktarmanın temel bir yöntemidir. Bu nedenle, transformatorlerde meydana gelebilecek hasarlar genellikle büyük bir felakete yol açabilir. Diferansiyel koruma sistemleri ise transformatorlerin bu tür potansiyel risklere karşı korunmasını sağlar. Diferansiyel koruma sistemleri, yüksek hassasiyete sahip olarak tasarlanmıştır. Bu sayede, transformatorlerde meydana gelebilecek en küçük bir akım veya gerilim değişikliği tespit edilerek hızlı bir şekilde tepki verilir. Bu da transformatorün anında korunmasını sağlar ve olası bir arızanın önüne geçer. Diferansiyel röleler transformatorlerin giriş ve çıkış akımlarını karşılaştırarak transformator içinde bir iç arıza varsa tespit ederek anormal durumlarda alarm verir veya koruma işlemlerini başlatır. Bu röleler, transformatordeki akım dalgalanmalarının izlenmesini sağlar ve gerektiğinde acil müdahaleye olanak tanır. Sonuç olarak, transformator koruması, enerji sistemlerinin güvenilirliği ve sürekli hizmet sağlamak için vazgeçilmez bir bileşendir. Diferansiyel koruma sistemleri ve röleler, transformatorlerin anormal durumları algılayarak hızlı bir şekilde korunmasını sağlar. Bu sayede,

transformatörlerin performansı artar ve olası arıza riskleri önlenmiş olur.[5]

Fonksiyon tanımı	IEC 61850 tanımı	IEC 60617 tanımı	ANSI/IEEE C37.2 cihaz numarası
2 sargılı trafolar için tutuculu ve ani diferansiyel koruma	TR2PTDF	3dl>T	87T



Şekil 13 - Fonksiyon Bloğu

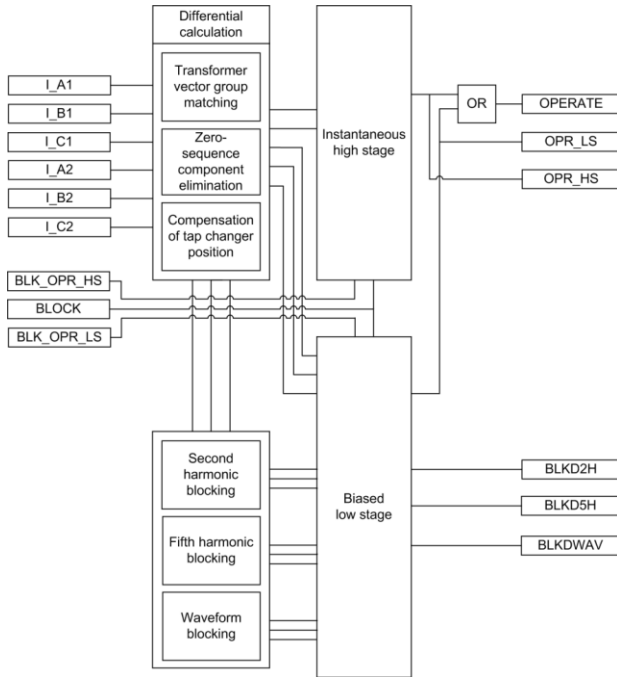
6.3.1.1 İşlevsellik

Trafo diferansiyel koruma, TR2PTDF, iki sargılı trafoları ve jeneratör-trafo birimlerini korumak için tasarlanmıştır. TR2PTDF, düşük, tutuculu ve yüksek, tutucusuz ani kademelere sahiptir. Tutuculu düşük ayar, korunan bölgeden geçip ölçüm hatalarını artıran yüksek akımlar sırasında kararlı kalır ve arızaların hızla temizlenmesini sağlar. İkinci harmonik tutuculuk, dalga biçimine dayalı algoritmalar ile, düşük ayar kademesinin trafo mıknatıslayıcı ani yığılma akımları yüzünden çalışmamasını sağlar. Beşinci harmonik tutuculuk, düşük ayar kademesinin, zararsız bir trafo aşırı uyarmanın yol açtığı görünür diferansiyel akım yüzünden

çalışmamasını sağlar. Ani yüksek ayar kademesi, harmoniklere bakmaksızın yüksek diferansiyel akımlı ciddi arızaların hızla temizlenmesini sağlar. Ayar karakteristiği, kademe değiştirici konum denkleştirme yardımıyla daha hassas ayarlanabilir. Kademe değiştirici durum bilgisine dayalı olarak, kademe (konum) değişmelerinden dolayı dönüştürme oranı düzeltmesi otomatik olarak yapılır.

6.3.1.2 Çalışma Prensibi

Fonksiyon, Operation ayarı ile etkin veya etkisiz kılınabilir. İlgili parametre değerleri, “On” (Etkin) ve “Off” (Etkisiz)’dir. Trafo diferansiyel korumanın çalışması, aşağıda fonksiyon şeması kullanılarak gösterilmiştir.



Şekil 14 – Çalışma Prensibi

6.3.2 Jeneratör Koruması (87G)

Raylı sistem elektrik tesislerinde ANSI 87G koruması, enerji üretiminde ve dağıtımında büyük öneme sahip olan differansiyel koruma sistemlerinin, özellikle jeneratörlerin güvenliğini sağlamak için kullanıldığı alanlardan sadece biridir. Jeneratörler, demiryolu sistemlerindeki elektrifikasyon sürecinde hayati rol oynayan ve yüksek akım ve gerilim değerlerine maruz kalan kritik ekipmanlardır. Bu nedenle, jeneratörlerin güvenli ve sürekli bir şekilde çalışmasını sağlamak için etkili bir koruma sistemi gerekmektedir. Raylı sistemlerde kullanılan differansiyel koruma sistemleri, jeneratörlerin anormal durumlarında hızlı ve doğru bir şekilde müdahale ederek, ciddi hasarları önler. Bu sistemler, jeneratörün üzerinde oluşabilecek herhangi bir diferansiyel akımını algılayarak, hızlı bir şekilde reaksiyon gösterir ve jeneratörü otomatik olarak durdurur. Bu sayede, potansiyel tehlikeler en aza indirilir ve jeneratörlerin güvenli bir şekilde çalışması sağlanır. Raylı sistem elektrik tesislerinde kullanılan ANSI 87G korumaları, genellikle yüksek hassasiyete sahiptir ve farklı koruma ayarlarına sahip olabilir. Bu sayede, jeneratörlerin güvenlik ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Ayrıca, bu koruma sistemleri genellikle jeneratörlerin yanı sıra şalt ekipmanları, transformatörler ve diğer kritik bileşenlerin korunması için de kullanılır. Raylı sistem elektrik tesislerinde ANSI 87G korumasının kullanılması, müşterilerin güvenlik endişelerini azaltır ve elektrik tesislerinin daha güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu koruma sistemi, enerji üretiminde ve dağıtımında oluşabilecek olası arızaları minimize ederken, işletme maliyetlerini de düşürür. Bu nedenle, raylı sistem elektrik tesislerinde ANSI 87G korumasının

kullanılması, sektördeki önemli bir uygulama alanını oluşturur ve güvenli ve sürdürülebilir işletmelerin temelini oluşturur.

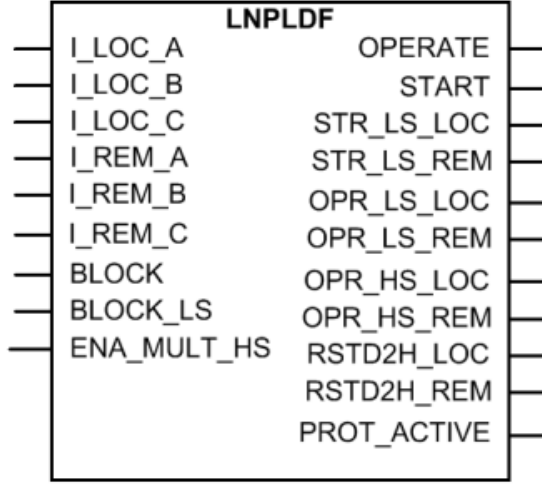
6.3.3 Hat Koruması (87L)

Hat koruma (87L), raylı sistemlerde elektrik hatlarının diferansiyel korumasının temelini oluşturan önemli bir sistemdir. Hat üzerinde sürekli akım değerlerini izleyerek herhangi bir farklılıkta hızla müdahale eden bu koruma sistemi, hat segmentini korur. 87L koruması ile röleler, hat arızalarını belirleyerek ilgili segmenti izole eder ve böylece sistemin güvenliğini sürdürür. Raylı sistemlerde enerji kesintileri ve kazaların önlenmesi ile sistem verimliliği artar. Raylı sistemlerde enerji kesintileri ve kazaların önlenmesi ayrıca işletim sürekliliğine ve yolcuların güvenliğine büyük önem taşır. Bu nedenle, hat koruma sistemi olan 87L, mevcut yapısı ve fonksiyonlarıyla raylı sistemlerin güvenliğini sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. 87L röleleri, elektrik hatlarında meydana gelen arızaları hızlı bir şekilde tespit eder ve bunlara anında müdahale eder. Bu sayede hat segmentinde oluşabilecek hasarlar en aza indirilir ve sistemin güvenliği sağlanır. Hat koruma sistemi aynı zamanda enerji tasarrufu ve verimlilik sağlayarak raylı sistemlerin sürdürülebilirliğini artırır. Hat koruma sistemi, farklı raylı sistemlerde kullanılabilir ve her bir sistemin ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Sistem, gerçek zamanlı akım izleme ve hızlı müdahale özellikleriyle hatlardaki güvenlik düzeyini yükseltirken aynı zamanda operasyonel maliyetleri düşürür.

Sonuç olarak, hat koruma sistemi olan 87L, raylı sistemlerin güvenliğini ve verimliliğini artırırken enerji kesintilerini önler ve kazaların oluşma riskini azaltır. Bu sistem sayesinde raylı sistemlerin operasyonel performansı yükselirken aynı zamanda kullanıcıların güvenliği sağlanır. Hat koruma sistemi, raylı

sistemlerin başarılı bir şekilde işletilmesi ve geliştirilmesi için vazgeçilmez bir bileşendir.

Fonksiyon tanımı	IEC 61850 tanımı	IEC 60617 tanımı	ANSI/IEEE C37.2 cihaz numarası
Hat diferansiyel koruma ve ilgili ölçümler, tutuculu ve ani kademeler	LNPLDF	3d >L	87L



Şekil 15 - Fonksiyon Bloğu

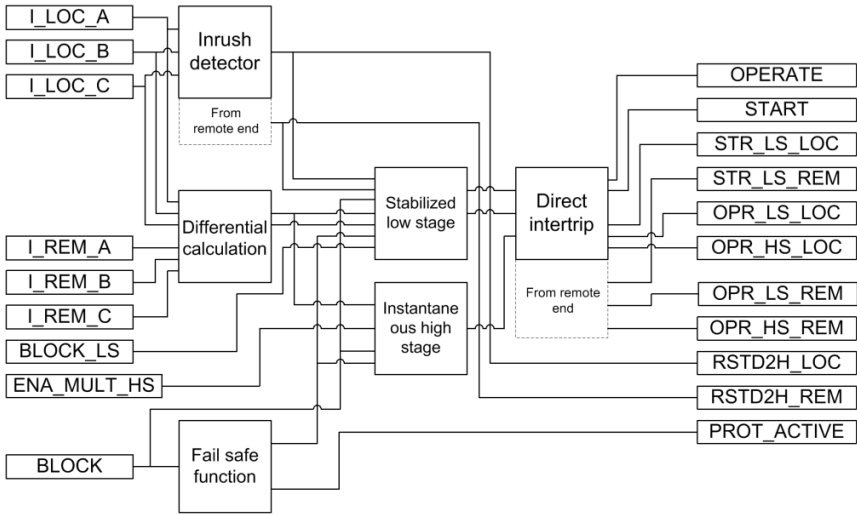
6.3.3.1 İşlevsellik

Faz ayrımlı hat diferansiyel koruma, LNPLDF, dağıtım şebekesi hatları ve kabloları için fider diferansiyel koruma olarak kullanılır. LNPLDF düşük, tutuculu ve yüksek, ani kademeleri içerir. Tutuculu düşük ayar, iç arızaların hızlı olarak temizlenmesini ve aynı zamanda korunan bölgeden geçen ve ölçüm hatalarını artıran yüksek dış arıza akımları sırasında kararlı çalışmayı sağlar. İkinci harmonik tutuculuk, düşük ayarın, güç trafosunun enerjilenmesi sırasında mıknatıslayıcı yığılma akımları yüzünden korumanın çalışmamasını sağlar. Tutucusuz yüksek ayar, harmoniklerine bakmaksızın yüksek diferansiyel akımlı ciddi

arızaların hızlı olarak temizlenmesini sağlar. Düşük kademe için çalışma zamanı karakteristiği, sabit zaman (DT) veya belli minimumlu ters zaman (IDMT) olarak seçilebilir. Doğrudan ara açma, yerel ölçüt olmasa bile her iki ucun açtırılmasını sağlar.

6.3.3.2 Çalışma Prensibi

İşlev, Çalışma ayarı ile etkinleştirilebilir ve devre-dışı bırakılabilir. Uygun parametre değerleri, "Devrede" ve "Devre dışı"dır. İşlev, Çalışma ayarını "testte/engellenmiş"e ayarlayarak ayrıca test moduna ayarlanabilir. Hat diferansiyel korumanın çalışması ve ilgili ölçümler, tutuculu ve ani kademeler, bir modül şeması kullanılarak gösterilmiştir. Şemadaki tüm modüller, sonraki bölümlerde açıklanmıştır.[6]

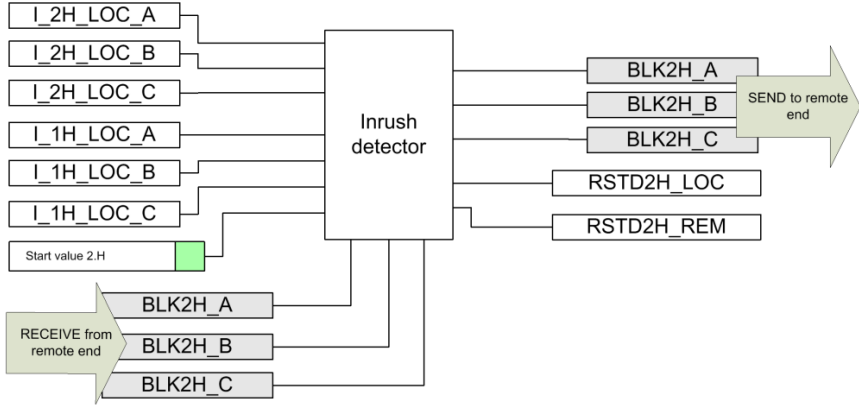


Şekil 16 – Çalışma Prensibi

6.3.3.2.1 Demaraj dedektörü

Transformatör demaraj akımları, ölçülen faz akımlarında yüksek derecede ikinci harmoniğe yol açar Demaraj dedektörü transformatörlerdeki demaraj durumlarını tespit eder. Restraint mode (Tutma modu) parametresi ile ikinci harmoniğe dayalı lokal kilit seçilip kullanılabilir. İkinci harmonik kilit seçildiğinde ve ani yığılma akımı tespit edildiğinde, lokal uçta düşük ayar kademesi için kilit verilir. Ani yığılma akım algılayıcısı, I_2H_LOC_A ikinci harmonik akımın I_1H_LOC_A temel frekans akımına oranını hesaplar. Hesaplanan değer, Start value 2.H (2.H başlatma değeri) parametresinin ayar değeri ile karşılaştırılır. Hesaplanan değer ayar değerini aşarsa ve I_1H_LOC_A temel frekans akım anma akımın yüzde yedisinden fazla ise, BLK2H_A çıkış sinyali etkinleştirilir. Ani yığılma akım algılayıcısı diğer fazları da aynı şekilde yönetir.

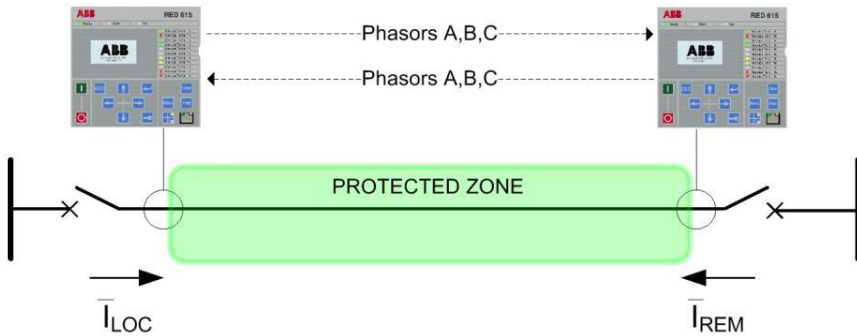
Lokal olarak tespit edilen trafo ani yığılma akımı, ayrıca lokal Restraint mode (Tutma modu) ayar parametresi değerinden bağımsız olarak bir ikili bildirim sinyali olarak uzak uca gönderilir. Tutuculu düşük ayar iç kilit etkinleştirildiğinde, RSTD2H_LOC ve RSTD2H_REM çıkışları, ani yığılma akımının lokal veya uzak uçta veya her ikisinde de tespit edilmesine bağlı olarak aynı anda etkinleştirilir.



Şekil 17 - Demaraj akımı algılama mantığı

6.3.3.2 Diferansiyel hesaplama

Çalışma prensibi, veri alışverişi için kullanılan iletişim kanalları üzerinden koruma bölgesine giren ve koruma bölgesinden çıkan akımların her iki uçta yapılan diferansiyel akım hesaplamasına dayalıdır. Normal çalışma sırasında diferansiyel akımlar hemen hemen sıfırdır. Diferansiyel koruma faz ayrımlı olup, diferansiyel akımlar her iki uçta ayrı ayrı hesaplanır.



Şekil 18 - Temel koruma prensibi

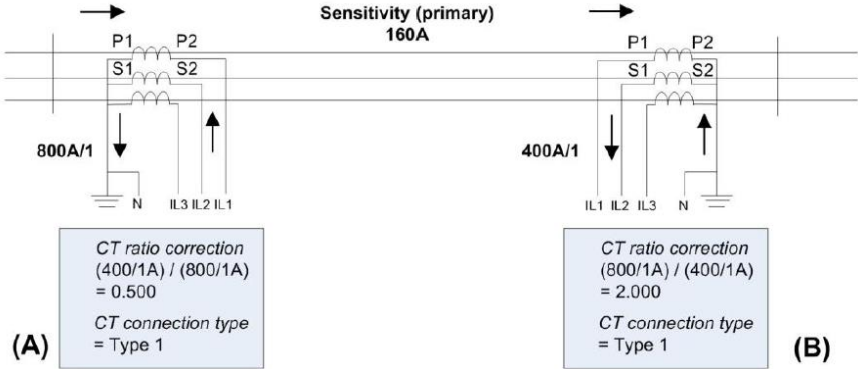
Diferansiyel akım I_d (Id), her iki uçta da şu formülle hesaplanır:

$$I_d = \left| \bar{I}_{LOC} + \bar{I}_{REM} \right|$$

Tutucu akım I_b (Ib), her iki uçta da şu formülle elde edilir:

$$I_b = \frac{\left| \bar{I}_{LOC} - \bar{I}_{REM} \right|}{2}$$

Akım trafolarının yıldız noktalarının konumuna bağlı olarak, lokal ve uzak akımların polaritesi farklı olabilir ve bu da hesaplama algoritmalarının yanlış çalışmasına yol açabilir. Her iki uçtaki AT (Akım Trafosu) dönüştürme oranları farklı olabilir; diferansiyel akım hesabının her iki uçta da doğru olmasını sağlamak için bunların denkleştirilmesi gerekir. Çalışma karakteristiği ile ilgili ayarlar, her iki hat ucu IED'sinde akım trafosu sekonder anma akım yüzde olarak girilir. Gerçek primer ayar için, her iki hat ucundaki ilgili AT oranları dikkate alınmalıdır. Nominal düzeylerdeki farkın denkleştirilmesi için CT ratio correction (AT oranı düzeltme) parametre değerlerinin her iki hat ucunda nasıl seçileceği, aşağıdaki örnekte açıklanmıştır. Örneğin, 160 A primer akım, IED (A) ayar değeri olarak $160A/800Ax\%100 = \%20$ 'ye ve IED (B) için $160A/400Ax\%100 = \%40$ 'a eşit olacaktır. CT ratio correction ayar parametresi, iki IED'de farklı oranlara sahip akım trafolarının kullanılması durumunda sağlanır. Bunun gerçek koruma kademesi ayarları üzerinde bir etkisi yoktur.



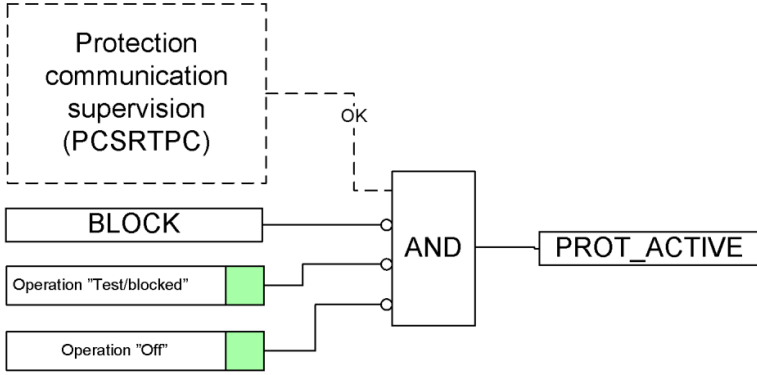
Şekil 19 - Dış arıza sırasında diferansiyel akım örneği

CT connection type (Akım Trafosu bağlantı tipi), iki ihtimale göre seçilir:

- Lokal ve uzak akım trafosu sekonder akım yönleri birbirine ters olduğunda her iki uçta "Type 1 (Tip 1)" seçilir (varsayılan). "Type 1", akım trafolarının yıldız noktalarının her iki hat ucunda da bara veya hat tarafında (aynı) olduğunda seçilmelidir.
- Lokal ve uzak akım trafosu sekonder akım yönleri aynı olduğunda her iki uçta "Type 2 (Tip 2)" seçilir. "Type 2", akım trafolarının yıldız noktalarının bir hat ucunda hat tarafında ve diğer hat ucunda ise bara tarafında olduğunda seçilmelidir.

6.3.3.2.3 Güvenli çalışma fonksiyonu

İletişim girişimi sırasında yanlış çalışmayı önlemek için, koruma iletişim denetimi iletişim kanalında şiddetli girişim tespit ettiğinde LNPLDF fonksiyonunun çalışmasını kilitler. Bir iletişim kesintisi sırasında diferansiyel düşük ayar kademesi başlatma aldığında, zamanlayıcı reset aşaması etkinleştirilir.



Şekil 20 - Güvenli çalışma fonksiyonunun çalışma mantığı

Fonksiyon, Operation ayarı ile "Test/blocked (Test/kilitli)" durumuna da ayarlanabilir. Bu seçenek, devreye alma çalışmaları sırasında kullanılabilir. BLOCK girişi, fonksiyonu mantık ile kilitlemek için sağlanmıştır. Fonksiyon kilitlendiğinde, izlenen veriler ve ölçülen değerler yine mevcuttur; ancak ikili çıkışlar kilitlenir. Fonksiyon kilitlendiğinde, doğrudan ara açma da kilitlenir. Koruma fonksiyonu bormal çalışabilecek durumda olduğunda, PROT_ACTIVE çıkışı her zaman aktif olur. PROT_ACTIVE artçı koruma fonksiyonları için bir kilit sinyali olarak kullanılabilir.

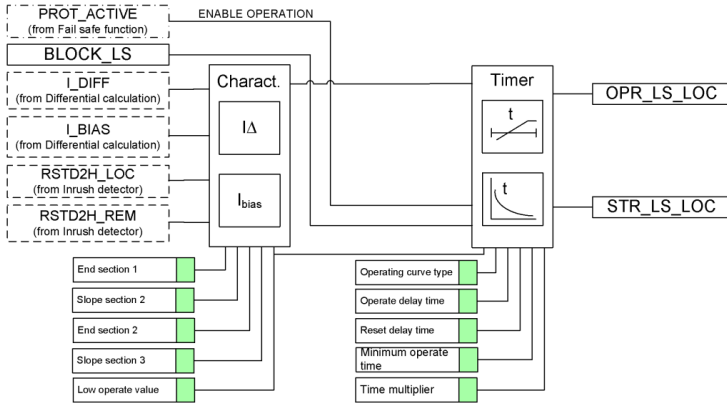
6.3.3.2.4 Dengeli düşük kademe

Dengeli düşük kademe, daha yüksek yük akımı, açma için gereken daha yüksek diferansiyel akımdır. Bu, normal çalışmada veya dış arızalar sırasında meydana gelir. Dahili bir arıza oluştuğunda, akımlar korunan nesnenin her iki tarafından arızaya doğru akar ve bu dengeleyici akımın önemli ölçüde daha düşük olmasına neden olur. Bu, dahili arızalar sırasında çalışmayı daha hassas yapar. Düşük kademe bir zamanlayıcı gecikme işlevselliği içerir.

Görünür diferansiyel akımı dikkate alan düşük kademenin karakteristiği çeşitli faktörlerden etkilenir:

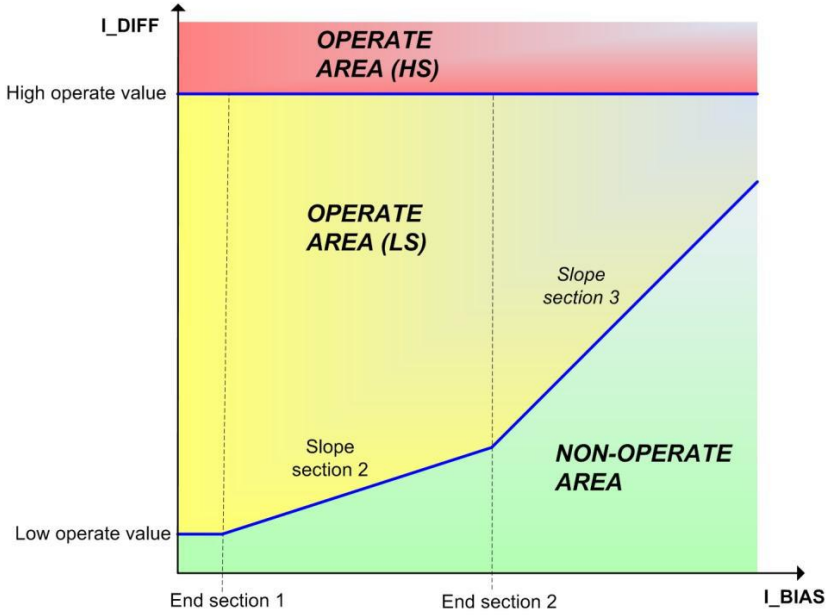
- Koruma bölgesi içinde küçük dağılmış yükler
- Akım transformatörü hataları
- Akım transformatörü doyma
- Haberleşme kanalı gitme ve geri dönme yollarının küçük asimetrisi
- Küçük kararlı hal hattın şarj akımı
- Bölge-içi transformatör boştaki akımı
- Kademe değiştirici pozisyonlarının etkisi

Zamanlayıcı, hesaplanan diferansiyel, dengeleyici akım ve ayarlanan diferansiyel karakteristiğe göre etkinleştirilir.



Şekil 21 - Dengeli düşük kademe çalışma mantığı

Sabitlik işlevin çalışmasını etkiler.



Şekil 22 - Diferansiyel koruma çalışma karakteristiği. (LS) düşük kademe ve (HS) yüksek kademe bölgesini gösterir.

Diferansiyel fonksiyonun çalışma karakteristiği eğrisinin eğimi, farklı bölüm aralıklarında değişir:

- Bölüm 1: $0.0 < I_b/I_n < \text{End section 1}$ (Bölüm 1 sonu) aralığı. Açma için gerekli diferansiyel akım sabittir. Diferansiyel akım değeri, fonksiyon için seçilen taban ayar (Low operate value / Düşük akım değeri) ile aynıdır. Taban ayarlar, hattın yüksüz çalışma görünümüne, dağılmış yük akımlarına ve akım trafosunun küçük hatalarına izin verir. Ayrıca çalışma karakteristiğinin genel düzeyini etkilemek için de kullanılabilir.
- Bölüm 2: $\text{End section 1 (Bölüm 1 sonu)} < I_b/I_n < \text{End Section 2}$ (Bölüm 2 sonu) aralığı. Bu bölüme başlatma oranının etki alanı denir. Bu bölümde, başlatma oranındaki değişimler karakteristiğin

eğimini, yani yük akımındaki değişime kıyasla açma için gerekli diferansiyel akımdaki değişimin ne kadar büyük olacağını etkiler. Başlatma oranı, AT hatalarını dikkate almalıdır.

- Bölüm 3: End section 2 (Bölüm 2 sonu) < Ib/In aralığı. Bu bölümün eğim ayarı yapılırken, bir dış arıza sırasında diferansiyel akımın esas olarak doymuş akım trafoları tarafından üretildiği durumlarda korumanın gereksiz yere çalışmasını önlemek için gerekli dikkat gösterilmelidir.

Diferansiyel korumanın çalışması, temel frekans bileşenlerine dayalıdır. Çalışma doğru ve kararlıdır ve akımın DC bileşeni ve harmonikleri istenmeyen çalışmalara yol açmaz.

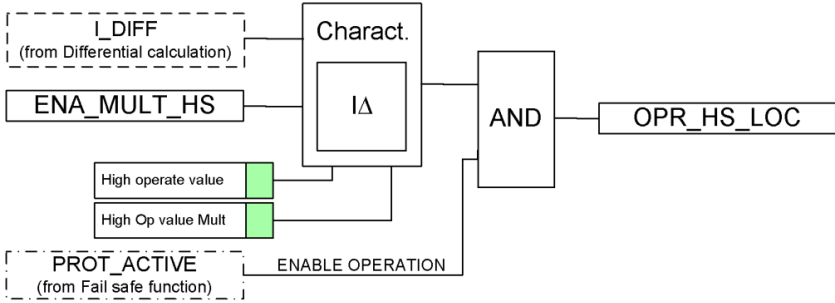
6.3.3.2.5 Zamanlayıcı

Zamanlayıcı, etkinleştildiğinde STR_LS_LOC çıkışını etkinleştirir. Operating curve type (Çalışma eğrisi tipi) ayarına bağlı olarak, zaman karakteristiği DT veya IDMT'ye göre olur. Çalışma zamanlayıcısı, DT modunda Operate delay time değerine veya ters zaman eğrisi ile tanımlanan maksimum değere ulaşırsa, OPR_LS_LOC çıkışı etkinleştirilir. IDMT çalışma modunda, Standart ters zaman karakteristikleri bölümünde sunulan IDMT denklemlerindeki referans değer (Başlatma değer) olarak Low operate value (Düşük çalışma değer) kullanılır. Bir bırakma durumu olduğunda, zamanlayıcı reset durumu etkinleşir. Reset, DT karakteristiklerine göredir.

6.3.3.2.6 Ani yüksek ayar kademesi

Tutuculu düşük ayar kademesine ek olarak, LNPLDF, ani yüksek ayar kademesine sahiptir. Ani yüksek ayar kademesi tutucusu çalışır. Diferansiyel akım büyüklüğü High Operate Value (Yüksek çalışma değer) ayar değerinden daha yüksekse, ani kademe hemen çalışır. Eğer ENA_MULT_HS girişı etkinse, High

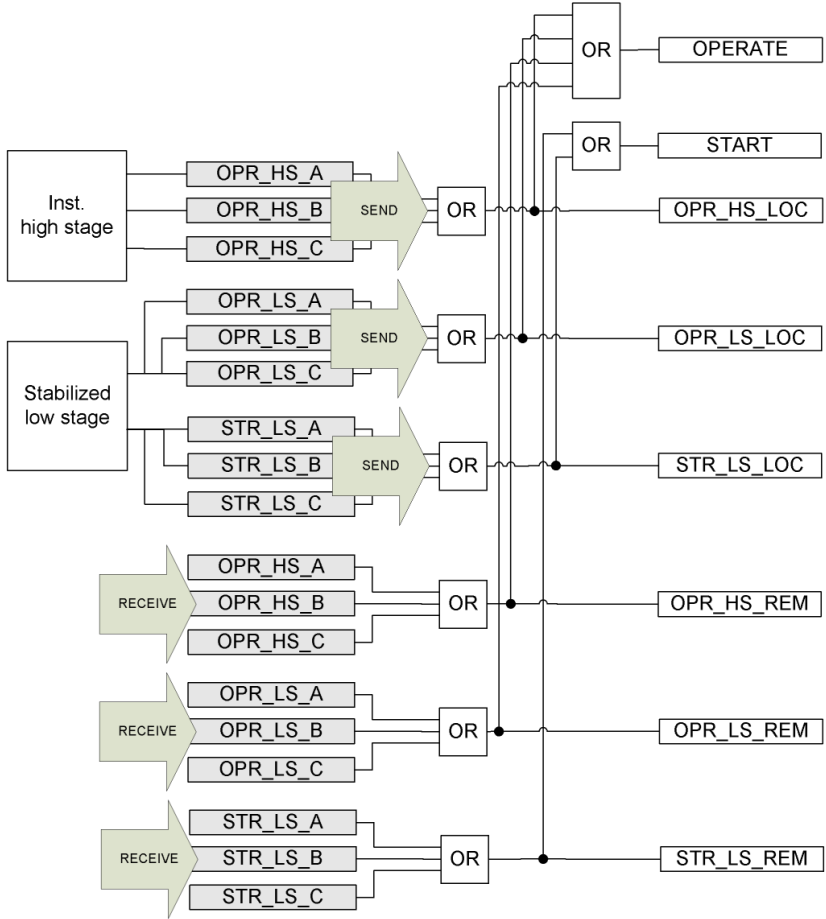
operate value ayarı için High Operating Value Multiplier (Yüksek çalışma değeri çarpanı) ayar değeri ile çarpılır.



Şekil 23 - Ani yüksek ayar kademesinin çalışma mantığı

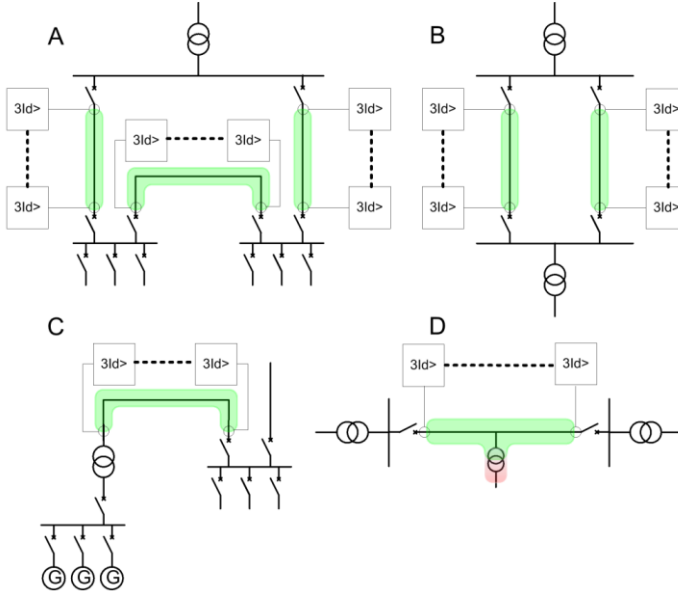
6.3.3.2.7 Doğrudan karşıyı açtırma

Doğrudan karşıyı-açtırma, bir arıza tespit edildiğinde korunan hattın her iki ucundaki kesicilerin aynı anda açmasını sağlamak için kullanılır. Her iki ucun başlatma ve çalışma sinyalleri iletişim yoluyla diğer uca gönderilir. Hat diferansiyel korumanın doğrudan ara açması LNPLDF'ye dâhil edilmiştir. Uzak ve yakın her iki kademedan çalışma sinyalleri lokal olarak doğrudan ara açma sinyali için kullanabilecek şekilde OPERATE çıkışında birleştirilir.



Şekil 24 - Doğrudan karşıtı-açtırma fonksiyonunun çalışma mantığı

Başlatma ve çalışma sinyalleri, düşük ve yüksek ayar kademeleri için ve lokal ve uzak uçta ayrı ayrı sağlanır.

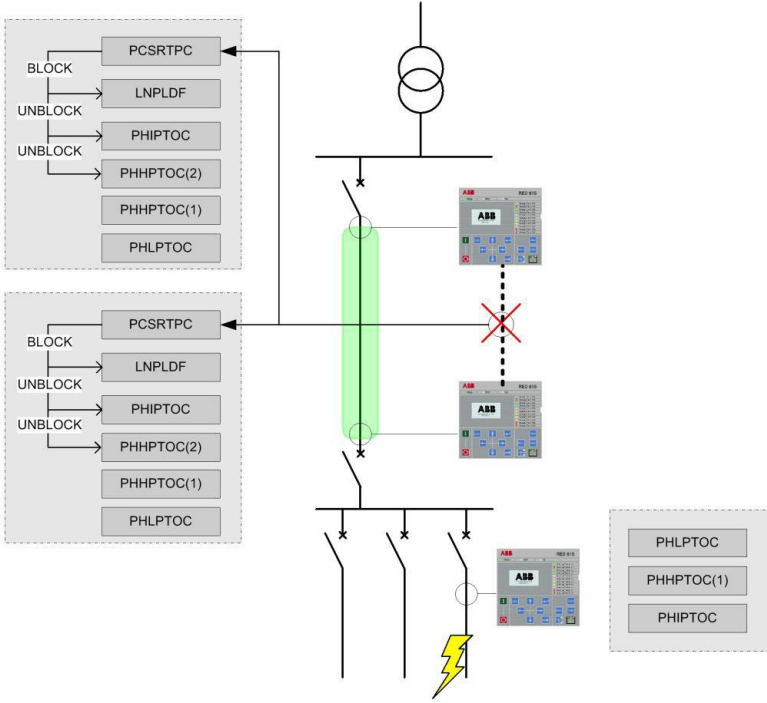


Şekil 25 - Hat diferansiyel uygulamaları

6.3.3.2.8 İletişim denetimi

Tipik bir hat diferansiyel koruma uygulamasında, ana koruma olarak LNPLDF kullanılır. Artçı aşırı akım fonksiyonlarına koruma iletişim arızası durumunda gerek duyulur. İletişim denetimi fonksiyonu, korunan birimler arasındaki iletişimde bir arıza tespit ettiğinde, hat diferansiyel koruma kilitlenip aşırı akım fonksiyonlarının müsaade edilerek hattın güvenli çalışması garanti edilmiş olur. Bir iletişim arızası tespit edildiğinde, LNPLDF koruma iletişim denetim fonksiyonu hat diferansiyel korumayı kilitler ve aşırı akım korumanın ani ve yüksek ayar kademelerinin (durum 2) kilidini çözer. Bunlar uzak uç fider koruma IED'si için artçı koruma sağlamak amacıyla kullanılır. Seçiciliğin genele

nazaran zayıf kalacağı durumlar olabilmesine karşın, koruma yine de sistem için sağlanmalıdır.



Şekil 26 - Koruma iletişimi denetimi iletişim arızaları

7. Diferansiyel Rölelerin Kullanımı ve Sağladığı Faydalar

Elektrik tesisatı hattı koruma yöntemlerinin ayrılmaz bir ögesi olan diferansiyel röleler, hattın boyunca akım değişikliklerini ölçerek olası arızaların hızlıca belirlenmesine yardımcı olur. Diferansiyel röleler, fark akımı tespiti, çeşitli çalışma özellikleri, hassas seçim yapma yeteneği, hızlı müdahale, güvenli işlevsellik, maliyet etkinliği ve arıza lokalizasyonu konularında çok sayıda fayda sunar. Raylı sistem elektrik tesislerinde, bu röleler güvenliği

yükseltirken sistem performansını da iyileştirmek için kritik bir görev üstlenir.

7.1. Temel Prensipler

Bir diferansiyel rölenin temel ilkesi, hattın üzerindeki giriş ve çıkış akımlarını düzenli olarak karşılaştırmaya dayanır. Eşit giriş ve çıkış akımları, hattın düzgün çalışmakta olduğu anlamına gelir. Ancak bu akımlar arasında bir fark olduğunda, röle bir arıza sinyali oluşturur ve koruma sistemini hemen etkinleştirir. Bu temel prensipler, enerji sistemlerinde oluşabilecek arızaların önlenmesini ve hat güvenliğinin artırılmasını sağlar.

7.2. Fark Akımı Algılama Metodları

Fark akımı algılama teknikleri, diferansiyel rölelerin işleyiş prensiplerini temel alır. Bu yöntemler genellikle total fark akımları, harmonik analizler ve fazla akım analizleri gibi teknikleri kullanarak hattın akımını sürekli takip ederler. Herhangi bir norm dışı durumda, alarm ve koruma sinyallerini tetikleyerek, arıza yerinin belirlenmesine yardımcı olurlar. Bu teknikler aynı zamanda güvenliği artırırken sistem performansının da daha verimli hale gelmesine yardımcı olurlar.

7.3. Çalışma Modları

Diferansiyel röleler, genellikle iki farklı çalışma modunda işlem yaparlar: sürekli ve yarı sürekli. Sürekli modda, akım farkı sürekli olarak izlenir ve belirlenen bir eşik değeri geçildiğinde koruma sistemi devreye girer. Yarı sürekli modda ise fark akımı belirli aralıklarla analiz edilir. Her iki işletme türü de hızlı ve güvenli koruma sağlar, ancak uygulanacakları durumlar gerekliliklerine bağlı olarak seçilir.

7.4 Seçicilik

Diferansiyel rölelerin seçicilik özelliği, oluşabilecek arızaların hat üzerindeki belirli bölgelere sınırlanmasını sağlar. Bu sayede, arızaların başka bölgelere yayılması engellenir ve sistem kesinti zamanı en aza indirilir. Seçicilik, hat koruma sisteminin etkinliğini yükselterek ve sistem performansını optimize ederek verimliliği artırır.[7]

7.5 Hızlı Müdahale

Diferansiyel röleler, hat alanındaki arızaları hızla tespit ederek ve koruma sistemini hızla devreye alarak hat güvenliğini sağlar. Bu durum, potansiyel sistem hasarlarını en aza indirirken aynı zamanda sistem performansını olumlu yönde etkiler. Hızlı müdahale özelliği, raylı sistem elektrik tesislerinde güvenliğini yükseltir ve sistem verimliliğini artırır.

7.6 Güvenilirlik

Diferansiyel röleler, yüksek güvenilirlik düzeyi sağlanabilen elektrik tesisatı koruma sisteminin bir parçasıdır. Hattın üzerindeki akımı sürekli izleyerek olası anormalliklere hızla müdahale eder. Bu özellikleri sayesinde, hat güvenliğini ve sistem performansı en üst düzeyde tutmayı mümkün kılar.

7.7 Ekonomik Verimlilik

Diferansiyel röleler sağladıkları güvenlik ve performans artışı ile elektrik tesislerinde ekonomik etkililiği beraberinde getirir. Hızlı müdahale yeteneği ile olası hasarları en aza indirgeyerek tamir maliyetlerini düşürür. Bununla birlikte, sağladığı güvenilirlik ile kesinti sürelerini minimuma indirir ve genel sistem verimliliğini yükseltir.

7.8 Arıza Lokalizasyonu

Diferansiyel rölelerin arıza lokalizasyonu özelliği, hat üzerindeki arızaların konumlarını hızlı ve doğru bir şekilde belirlemeyi sağlar. Bu durum, operatörlerin arızaların kaynağını tespit edebilmelerini ve hızla müdahale etmelerini sağlar, böylece kesinti süresi en aza indirilmiş olur. Arıza lokalizasyonu, sistem güvenliğini artırırken sistem performansını da olumlu yönde etkiler. [8]

8.Yöntem

Bu çalışma, raylı sistemlerde kullanılan orta gerilim koruma sistemlerinin etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla karma bir araştırma tasarımı benimsemiştir. Bu alanda özellikle diferansiyel röleler hakkında yapılan bu araştırma, hem saha testleri hem de simülasyon çalışmaları içermektedir. Bu sayede, diferansiyel rölelerin teorik performansı ile pratik uygulamalardaki performansı karşılaştırılabilmektedir.


8.1 Kullanılan Veri Toplama Yöntemleri

8.1.1 Saha Testleri

Saha Testlerinin Amacı: Uluslararası anlamda kabul görmüş bir markaya ait diferansiyel rölelerin performansını raylı sistem elektrik sistemlerinde test etmek.

Test Alanı ve Koşulları: M8 Bostancı – Parseller metro hattında kullanılan ABB REF615, RED615 rölelerine ait devreye alma anında yapılan test föyleri kullanılmıştır. Değerlendirmeler TS EN 62271-100 standardı ve TEİAŞ Orta Gerilim Kesicileri Tip Teknik Şartnamesi ve imalatçı firma etiket değerleri referans alınarak yapılmıştır.

Test Prosedürleri: Farklı arıza senaryoları oluşturularak diferansiyel rölelerin tepki süreleri ve arıza lokalizasyonu yetenekleri ölçülmüştür.

		KORUMA RÖLESİ TEST PROTOKOLÜ TEST PROTOCOL of PROTECTION RELAY					
		Proje No / Project No: _____ Proje İsmi / Project Name: DUDULLU BOSTANCI METRO PROJESİ Müşteri / Client: _____ Tesis / Plant: KOZYATAĞI METRO İSTASYONU Tesis Bölümü / Plant Section: _____					
Test cihazı (markası ve tipi) Test equipment (make&type):		OMICRON CMC 356					
Koruma Rölesi Protection Relay:	İmalatçı Manufacturer:	Tip Type:	Seri No Serial No:	In (A):	Un (V):	fn (Hz):	
RED615	ABB	DIFF	<input type="text"/>	600/1-1	36	50	
Test Ayarları / Test Settings							
	50/51-1	50/51-2	50N/51N-1	50N/51N-2	87-L		
Çalışma Eğrisi Running Curve:	IEC NI	DEF.TIME	IEC NI	DEF.TIME	DEF.TIME		
Akım Değeri Current Value:	0,19	1,6xIn	-	0,2xIn	0,2xIn		
Zaman (t) ya da Zaman st (Tp) Time or Time Constant:	0,44	0,3	-	0,3	0,05		
Koruma Testleri / Protection Tests							
Test No	Test	I/In	I (A)	Trip Time (s)	Calculated		Result
					Trip Time (s)		
1	I>		0,25	11,16 s			FORWARD
2	I>		0,5	3,169 s			FORWARD
3	I>>		1,7	0,335 s			FORWARD
4	Io>						
5	Io>						
6	Io>>		0,2	0,335 s			FORWARD
7	3dI>L		0,3	0,064 s			OK
8	U>						
İşletme Ayarları / Operational Settings							
	50/51-1	50/51-2	50N/51N-1	50N/51N-2	87-L		
Çalışma Eğrisi Running Curve:	IEC NI	DEF.TIME	IEC NI	DEF.TIME	DEF.TIME		
Akım Değeri Current Value:							
Zaman (t) ya da Zaman st (Tp) Time or Time Constant:							

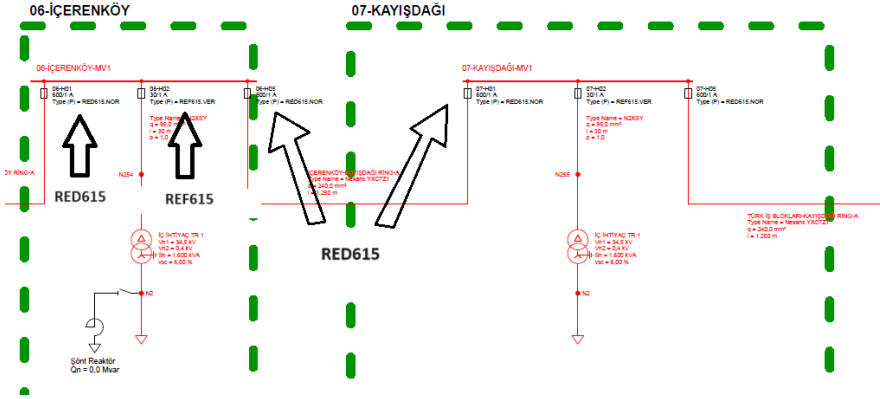
Şekil 27 – ABB RED615 Rölesine Ait Test Protokolü

ABB		KORUMA RÖLESİ TEST PROTOKOLÜ TEST PROTOCOL of PROTECTION RELAY				
Proje No / Project No						
Proje İsmi / Project Name		DUDULLU BOSTANCI METRO PROJESİ				
Müşteri / Client						
Tesis / Plant		KOZYATAĞI METRO İSTASYONU				
Tesis Bölümü / Plant Section						
Test cihazı (markası ve tipi) Test equipment: (make&type)		OMICRON CMC 356				
Koruma Rölesi Protection Relay	İmalatçı Manufacturer	Tip Type	Seri No Serial No	In (A)	Un (V)	fn (Hz)
REF615	ABB	FİDER		30/1-1	36	50
Test Ayarları / Test Settings						
	50/51-1	50/51-2	50N/51N-1	50N/51N-2	87-L	49- Ith>
Çalışma Eğrisi Running Curve	IEC VI	DEF.TIME	IEC NI	DEF.TIME	DEF.TIME	-
Akım Değeri Current Value	1,03xIn	18,56xIn	-	0,27xIn	-	0,98 xIn
Zaman (t) ya da Zaman st (Tp) Time or Time Constant	0,5	0,1	-	0,1	-	306
Koruma Testleri / Protection Tests						
Test No	Test	I/In	I (A)	Trip Time (s)	Calculated Trip Time (s)	Result
1	I>		1,5	14,85 s		OK
2	I>		2	7,192 s		OK
3	I>>		19	0,120 s		OK
4	Io>		0,35	0,116 s		OK
5	Io>>					
6	Io>>>					
7	3Id>L					
8	Ith>		2	65,08 s		OK
İşletme Ayarları / Operational Settings						
	50/51-1	50/51-2	50N/51N-1	50N/51N-2	87-L	
Çalışma Eğrisi Running Curve	IEC NI	DEF.TIME	IEC NI	DEF.TIME	DEF.TIME	
Akım Değeri Current Value						
Zaman (t) ya da Zaman st (Tp) Time or Time Constant						

Şekil 28 – ABB REF615 Rölesine Ait Test Protokolü

Fonksiyon	IEC 61850	IEC 60617	IEC-ANSI
Koruma			
Üç faz yönsüz aşırı akım koruma, düşük ayar kademesi	PHLPTOC1	3I>(1)	51P-1(1)
	PHLPTOC2	3I>(2)	51P-1(2)
Üç faz yönsüz aşırı akım koruma, yüksek ayar kademesi	PHHPTOC1	3I>	51P-2(1)
	PHHPTOC2	3I>>(2)	51P-2(2)
Yönsüz toprak arıza koruma, düşük ayar kademesi	EFLPTOC1	Io>(1)	51N-1(1)
	EFLPTOC2	Io>(2)	51N-1(2)
Yönsüz toprak arıza koruma, yüksek ayar kademesi	EFHPTOC1	Io>>(1)	51N-2(1)
	EFHPTOC2	Io>>>(2)	51N-2(2)
Hat diferansiyel koruma, koruma bölgesi içinde güç transformatörü ile	LNPLDF1	3Id/I>(1)	87L(1)

Sistemdeki tüm ring giriş ve çıkış fiderlerinde ANSI 67/67N yönlü korumaları aktif edilmiştir. Ring hatları üzerinde ANSI 87L diferansiyel koruma aktif edilmiştir. Transformatör fiderlerinde ANSI 50(N)/51 korumaları ve ANSI 49 korumaları aktif edilmiştir.



Şekil 29 - İçerenköy – Kayışdağı İstasyonlarındaki REF615 ve RED615 Röleleri (M8 Metro Hattı)

Yapılan saha çalışmalarında fider ve diferansiyel röleler üzerinde devreye alma testleri gerçekleştirilmiş ve röleler incelendiğinde hata oranları ve tepki sürelerinin beklenen aralıktadır olduğu anlaşılmıştır. Selektiviteye uygun bir şekilde ayar parametrelerinin rölelerde doğru bir şekilde yapıldığı ve olası bir arıza durumunda hızlı bir şekilde arıza lokalizasyonu yapılarak arızalı bölümün izole edilmesi hedeflenmektedir.

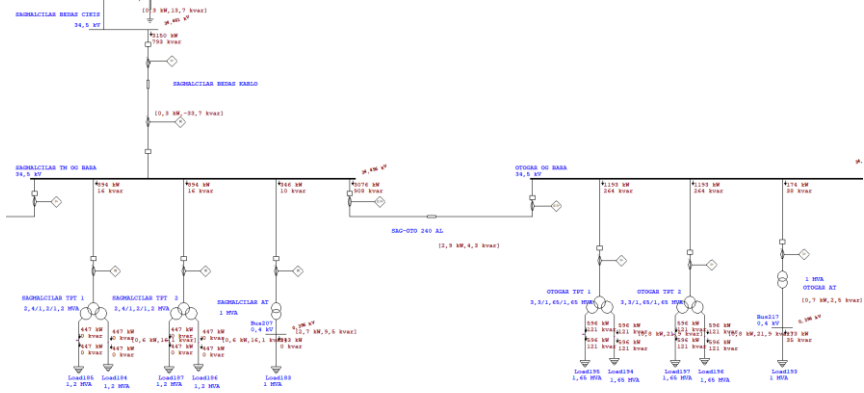
8.1.2 Simülasyon alışmaları

Simülasyonun Amacı: Rölelerin(fider ve diferansiyel) teorik performansını değerlendirmek ve saha testleri ile karşılaştırmak.

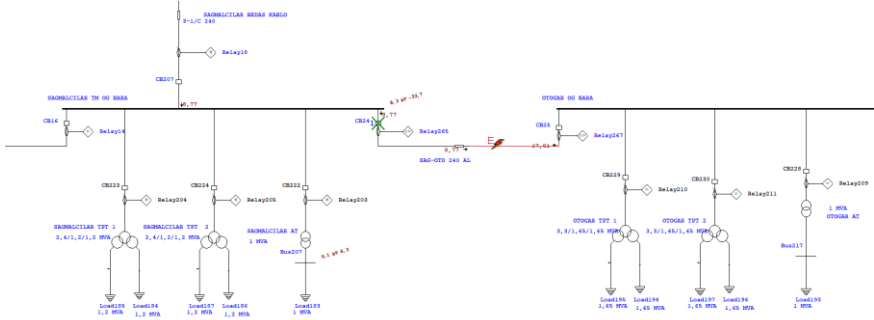
Kullanılan Yazılım: ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)

Simülasyon Senaryoları: M1 metro hattında yer alan CER ve iç ihtiyaç trafoları, kesicileri, akım trafoları, fider ve diferansiyel rölelerinin simülasyonları yapılmış ve rölelerin arızalara karşı tepkileri analiz edilmiştir.

Simülasyonda Koruma Cihazı Koordinasyon Analizi (Protective Device Coordination Analysis) kısmından arıza ekleme(Fault Insertion) yapılarak sistemdeki röle selektivitesi izlenmiştir. Bu oluşturulan arıza karşısında 50, 51, 87L fonksiyonlarının senaryoya uygun bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 30 - ETAP Programında Modellemesi Yapılan M1 Metro Hattından Alınan Belli Bir Kısımdaki Yük Akışı (Sağmalcılar-Otogar)[9]



Şekil 31 - Sağmalcılar-Otogar İstasyonları Arasında Meydana Gelen Arıza Senaryosu

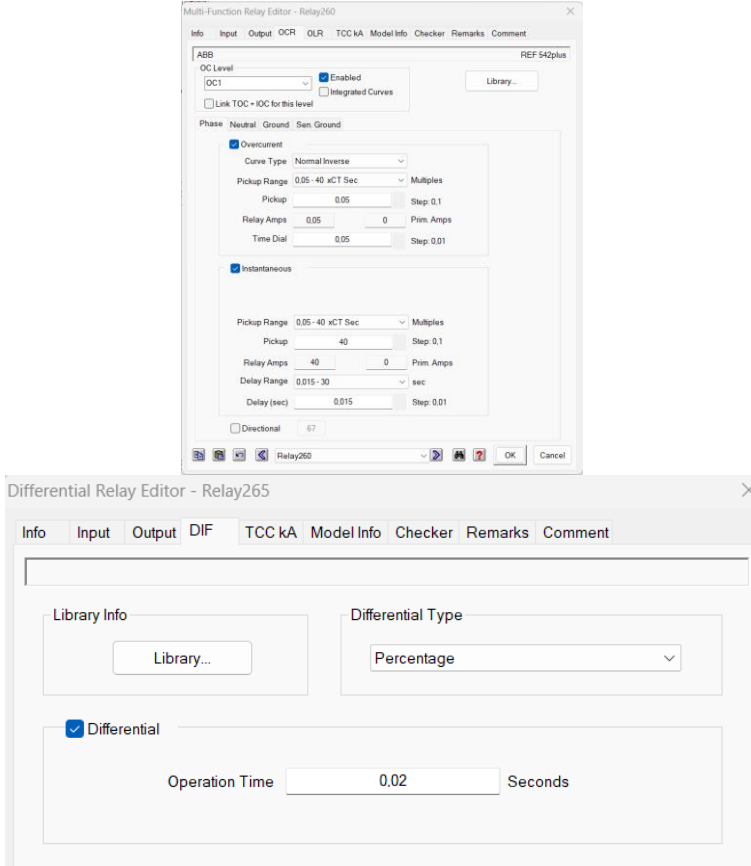
Sequence-of-Operation Events - Output Report: deneme

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between CT23 & SAG-OTO 240 AL. Adjacent bus: OTOGAR OG BARA

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 24-05-2024

Time (...)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10.0	Relay267		10.0		Phase - 87
20.0	Relay265		20.0		Phase - 87
30.0	CB24		10.0		Tripped by Relay265 Phase - 87
1031	Relay18	8.767	1031		Phase - OC1 - 51

Şekil 32 - Sağmalcılar-Otogar İstasyonları Arasında Meydana Gelen Arızadaki Olay Raporu



Şekil 33 – Röle Ayar Parametreleri

Veri Toplama: Simülasyonlardan elde edilen veriler kaydedilmiş ve saha testleri ile karşılaştırılmıştır.

9. Sonuç

Diferansiyel rölelerin raylı sistemlerdeki orta gerilim elektrik tesislerinde hızlı arıza tespiti ve yüksek doğruluk oranları ile etkili bir koruma sağladığı tespit edilmiştir. ETAP simülasyon programı kullanılarak yapılan analizler, saha testleri ile yüksek bir

uyum göstermiş ve simülasyonların güvenilir bir referans noktası olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, diferansiyel rölelerin raylı sistemlerdeki uygulamaları üzerine yapılan literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Diferansiyel rölelerin güvenilirliği, ekonomik verimliliği ve pratik uygulamalardaki etkinliği bu çalışma ile doğrulanmıştır.

Gelecek çalışmalarda, farklı metro hatları ve koşullar altında diferansiyel rölelerin performansı incelenmelidir. Bu, sonuçların genelleştirilebilirliğini artıracaktır. Ayrıca, farklı simülasyon programları kullanılarak yapılacak analizler, diferansiyel rölelerin performansı hakkında daha geniş kapsamlı bilgiler sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu araştırmayla raylı sistemlerdeki orta gerilim elektrik tesislerinde diferansiyel rölelerin güvenli ve etkili bir koruma sağladığı gösterilmiştir. Araştırma sonuçları, bu rölelerin pratik uygulamalarda nasıl kullanılacağı ve sistem güvenliğini nasıl artırabileceği konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, diferansiyel rölelerin ekonomik verimliliği, işletme maliyetlerini düşürmekte ve sistemdeki hasarı en aza indirmektedir. Bu nedenle, diferansiyel rölelerin raylı sistemlerde daha geniş bir kabul görmesi ve uygulanması önerilmektedir.

10. Kaynakça

[1] Liu, G. (2019) “Application of ETAP in distributed power supply and micro-grid interconnection” , 6-9 Sept., China

[2] Hossain, M., Leevongwat, I, Rastgoufard, P. (2018) “A Current Transformer (CT) Saturation Detection Method for Bus Differential Protection” , 04-07 September 2018, Charleston, SC, USA

[3] Cheng, T., Chen, Q., Gao, Z., Shi, L., (2010) “The fault diagnosis system based on IEC61850 and TEC61970” , 29 March 2010 - 01 April 2010, Manchester.

[4] TURAL, B., TURAN, M., DEMİRCİ, İE., (2021) "Tren Raylarından Enerjinin Geri Kazanımı İçin Genetik Algoritma İle Zaman-Planı Optimizasyonu” , Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi

[5] Gajić, Z., Aganović, S., Pajunen R., (2020) “Use Of Standard 87T Differential Protection On Phase Shifting Transformers” , 15th International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2020), Sweden.

[6] ABB Relion® Koruma ve Kontrol 615 Serisi Teknik Kılavuz

[7] Anudeep, B., Nayak, PK., (2022) “Differential power based selective phase tripping for fault-resilient microgrid” Journal of Modern Power Systems and Clean Energy.

[8] Mukherjee, A., Kundu, PK., A, Das, A., (2020) “Transmission line faults in power system and the different

algorithms for identification, classification and localization: a brief review of methods” , India.

[9] Karakuş, Furkan. Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrifikasyon Sisteminin Modellenmesi ve Besleme Senaryolarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2017.

BÖLÜM IV

DC ve AC Şarj İstasyonları Hakkında Tanıtıcı Bilgiler

İshak PARLAR¹
Özge KAYA²

Giriş

Elektrikli araçlar, günümüzde yaygın olarak bilinse de aslında oldukça köklü bir geçmişe sahiptir. İnsanlar, elektrik gücünü kullanarak taşıma araçları geliştirmeye yönelik çabalarına 1830'larda başlamışlardır. Bu dönemde, Amerikalı mucit Thomas Davenport tarafından icat edilen elektrikli lokomotif, elektrikli araçların ilk örneği olarak kabul edilmektedir. Ancak, elektrikli araçların geçmişi sadece icatlarla sınırlı değildir. 1880'lerden itibaren, özellikle büyük şehirlerde, elektrikli taksilerin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Örneğin, ABD'de 1897'de başlayan

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van/Türkiye, Orcid: 0000-0002-3383-8091, ishakparlar@yyu.edu.tr

² Yüksek Lisans Öğrencisi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van/Türkiye, Orcid: 0009-0002-8644-3832, ozgekaya2321@gmail.com

elektrikli ticari taksi hizmeti, elektrikli araçların şehir içi ulaşımda önemli bir role sahip olduğunu göstermiştir.

2000'li yılların sonlarına doğru, küreselleşme ve ekonomik dalgalanmalar, otomotiv endüstrisinde dönüşüm çağrılarını neden oldu. Bu dönemde, aşırı yakıt tüketen lüks spor araçlarının yerine daha küçük ve çevre dostu araçların tercih edilmesi çağrıları yükseldi. Bu değişim çağrılarının temel amacı, atmosfere zarar veren emisyonları azaltarak küresel çevre sorunlarına çözüm bulmaktı.

2004 yılında, Tesla Motors gibi öncü bir otomobil üreticisi, Tesla Roadster adlı elektrikli spor aracıyla piyasaya adım attı. Bu araç, teknolojik yeniliklerle donatılmış ve yüksek performansı ile dikkat çekmiştir. Tesla Roadster, 2008 yılında piyasaya sürüldüğünde, elektrikli araç endüstrisinde çığır açarak 2012 yılına kadar 2.000'den fazla satış rakamına ulaştı.

Elektrikli araç teknolojisi, özellikle batarya ve motor verimliliği alanında büyük ilerlemeler kaydetti. İlk elektrikli araçlar sınırlı menzile ve düşük performansa sahipti, ancak günümüzde birçok elektrikli araç yüzlerce kilometre menzil sunabilmekte ve hızlı şarj teknolojisi sayesinde bataryalar daha hızlı şarj edilebilmektedir. Ayrıca, elektrikli araçların performansı da önemli ölçüde artmıştır; güçlü elektrik motorları daha yüksek hızlar ve daha iyi ivme sağlamaktadır (Karapınar & Daldaban., 2022; Düünden Bugüne Elektrikli Araçların Tarihi, 2023).

Son 10 yılda ise elektrikli araç piyasasındaki gelişmeler inanılmaz bir hız kazandı. Hatta artık konu elektrikli araçlardan daha çok bu araçların daha hızlı bir şekilde şarj olması odak konusu

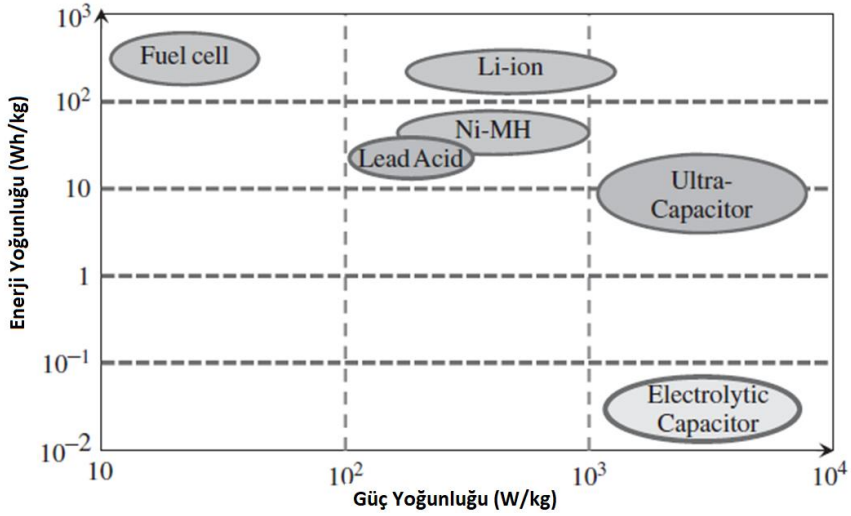
oldu. Elektrikli araçların AC ve DC şarj olmak üzere 2 farklı tipi mevcuttur. Bu yazıda bu şarj tipleri hakkında performans, maliyet, piyasa şartları, küresel ve yerel kullanımları gibi başlıklar altında kısa bir karşılaştırma ele alınacaktır (Zoroğlu &ark., 2020; Sen, Boynuegri, & Uzunoglu., 2011; Karapınar & Daldaban., 2022; Dünden Bugüne Elektrikli Araçların Tarihi, 2023).

Materyal ve Metod

Elektrikli Araçlarda Güç Kaynağı ve Şarj Yönetimi Teknolojileri

Elektrikli araçların ana enerji kaynağı olan bataryalar, elektrik enerjisini kimyasal olarak depolamaya yarar. Elektrikli araç uygulamalarında kullanılan bataryaların yüksek güç yoğunluğuna, enerji yoğunluğuna, uzun ömre ve çevre dostu olmalarına önem verilmektedir. Yüksek güç yoğunluğuna sahip bataryalar ani hızlanmalarda yüksek akım çekme kapasitesine sahipken, yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryalar daha uzun menzil sunar ve daha az şarj gerektirir.

Elektrikli araçlar için en iyi bataryanın seçilebilmesi her zaman tartışma konusu olmuştur. Ancak elektrikli araçlar ilk kalkış anlarında motorlara ani bir yük binmesinden dolayı güç yoğunluğu yüksek olan bataryalar tercih edilmesi sistem için daha iyi olmaktadır. Şekil 1'dedki tabloda hem enerji ehm de güç yoğunluğunun maksimum olduğu noktalara en yakın değerlere Li-ion ve Ultra-Capacitor olarak görünmektedir. Ancak Ultra-Capacitor örneklerinin güvenlik konusundaki birkaç ekslikiği ve kullanıcı tecrübesi kısmen diğer batarya modellerine göre az olması Li-ion bataryaları kullanımda ön plana çıkarmıştır.



Şekil 1: Elektrikli araçlar için güç ve enerji yoğunluğunun karşılaştırılması (Mib& Masrur, 2017)

Günümüzde birçok farklı batarya çeşidi bulunmaktadır ve bunlar fiyat, güç yoğunluğu, enerji yoğunluğu, ve çalışma sıcaklığı gibi özellikler açısından farklılık gösterir. Tablo 1'de elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların teknik ve genel özellikleri verilmiştir.

*Tablo 1: Elektrikli Araçlarda kullanılan bataryaların özellikleri
(Sen, Boynuegri & Uzunoglu, 2011)*

	NiCd	NiMH	NiZn	Kuruyun - Asit	Zebra NaNiCl	Lityum-iyon Kobalt	Lityum-iyon Manganez	Lityum-iyon Fosfat	Lityum-iyon Polimer	Lityum Demir Fosfat
Üretim Geçiş Tarihi	1950	1990	-	1970	1982	1991	1996	2006	1996	-
EA'larda Kullanım	Zayıf	HEA	HEA	Zayıf	TEA, HEA, PHEA	Zayıf	TEA, HEA, PHEA	TEA, HEA, PHEA	TEA, HEA, PHEA	TEA, HEA, PHEA
Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	45 ~ 80	60 ~ 120	60	30 ~ 50	90 ~ 120	150 ~ 190	100 ~ 135	90 ~ 120	130 ~ 225	90 ~ 120
Cevrim Ömrü	1500	300 ~ 500	200 ~ 500	200 ~ 300	1000	300 ~ 500	300 ~ 600	> 1000	> 1000	2000
Hızlı Şarj Süresi (saat)	1	2 ~ 4	1	8 ~ 16	1	1.5 ~ 3	< 1	< 1	< 1	< 1
Asırı Şarj Davranım	Orta	Düşük	-	Yüksek	-	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Özboşalım (%/ay)	20%	30%	20%	5%	0%	<10%	<10%	<10%	5%	0.3%
Hücre Gerilimi (V)	1.25	1.25	1.7	2	2.58	3.7	3.8	3.3	3.7	3.3
En iyi yük akımı (tepe değeri)	1C (20C)	0.5C (5C)	-	0.2C (5C)	-	<1C (<3C)	10C (<30C)	10C (<30C)	1C (10C)	-
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-40 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60	270 ~ 350	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60	-20 ~ 60
Bakım Gereksinimi	30 ~ 60 gün	60 ~ 90 gün	-	3 ~ 6 ay	Yok	-	-	-	-	-
Fiyat \$/kWh	~ 410	~ 600	~ 300	~ 50	-	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000
Güçlü Yönleri	Emniyetli, Uzun Ömürlü	Emniyetli, Yüksek Güçlü, Kompakt	Emniyetli - Nispeten Ucuz	Pahalı Değil, Geri Dönüştürülebilir, Oturmuş Teknolojiye Sahip	Yüksek Güçlü, Uzun Ömürlü	Kompakt, Çevre Dostu, Hafif, Hafıza Etkisi Yok	Kompakt, Çevre Dostu, Hafif, Hafıza Etkisi Yok	Kompakt, Çevre Dostu, Hafif, Hafıza Etkisi Yok	Hafif, Hafıza Etkisi Yok, Uzun Ömürlü	Kompakt, Emniyetli, Çevre Dostu, Düşük Fiyatlı, Hafıza Etkisi Yok
Zayıf Yönleri	Toksik maddeler içerir, Bakım, Maliyet, Kısmen Kompakt, Enerji Yoğunluğu Düşük	Maliyet, Ömrü, Yüksek Isı Oluşturmaması	Az Ömürlü, Kısmen Kompakt	Kompakt Değil, Bakım Gerektirir, Anlık Yüksek Akım Veremez, Enerji Yoğunluğu Düşük, Ömrü, Gücü Yetersiz, Hızlı Şarja Uygun Değil	Yüksek Sıcaklık	Güvenlik Sorunları, Maliyet	Güvenlik Sorunları, Maliyet	Güvenlik Sorunları, Maliyet	Standart Ölçülere Sahip Değil, Maliyet, Güvenlik Sorunları	İletkenliği Zayıf, Hacim ve Ağırlık, Maliyet,

Güç İşleme Birimi

Bataryadan şarj alabilmesi için gerekli olan doğru akımı elde etmek ve ayarlamak amacıyla kullanılan birimdir. Bataryalar genellikle şarj olabilmek için 200-500VDC gibi bir gerilime ihtiyaç duyarlar. GİB, mevcut elektrik kaynaklarının genellikle AC olması nedeniyle genellikle bir AC-DC dönüştürücüden oluşur. Güç elektroniği ve yarı iletken teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte, farklı gereksinimlere yönelik farklı güç birimleri görmek mümkündür. Bu birim, yüksek kalite ve verimli bir elektrik enerjisi

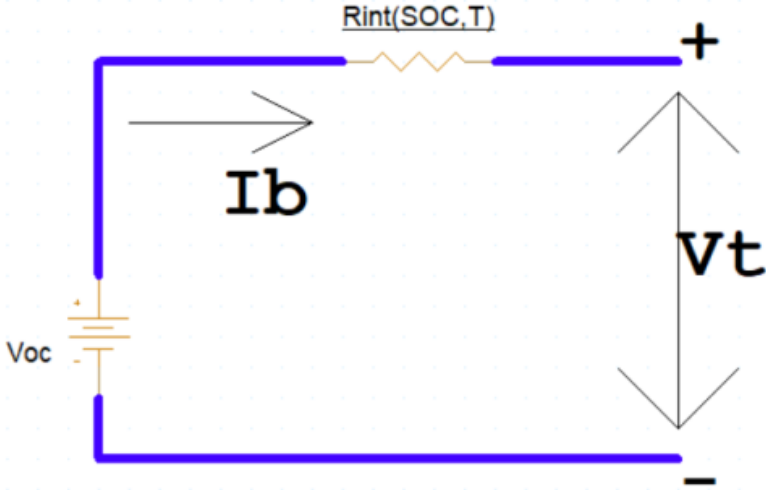
sağlamanın yanı sıra bataryanın şarj ihtiyaçlarına en uygun şekilde cevap verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Batarya Enerji Yönetim Sistemi (BEYS)

Batarya Enerji Yönetim Sistemi (BEYS), bir bataryayı en uygun şekilde şarj etmek için gerekli olan bilgileri sağlayan bir sistemdir. BEYS, bataryanın şarj durumu, sıcaklığı, gerilimi, akımı gibi çeşitli parametreleri izler. Mikroişlemci ve sensörlerden oluşan BEYS, araç içinde veya bataryaya yakın bir konumda bulunur. Ayrıca, BEYS, bataryadaki veya dışındaki hatalara karşı koruma sağlar. Bir hata tespit edildiğinde, hatanın türünü belirler ve gerektiğinde şarjı durdurur. Tablo 2’de AC vev DC şarj istasyonları için en çok kullanılan Kuzey Amerika ve Japonya standart özellikleri verilmiştir. Eşitlik 1’de basit bir batarya eşdeğer modelinin Kirchoff gerilim yasasına göre olan analizi gösterilmiştir. Buraadki V_t gerilimi termal gerilimi, V_{oc} açık gerilim değerini, I_b koldan geçen akımı ve R_{int} değeri ise şarj sırasında devrenin başlangıç direnç ifadesini göstermektedir.

$$V_t = V_{oc} - I_b R_{int} \quad (1)$$

Şekil 2’deki devrede PSPICE programında çizilen batarya eşdeğer devresinin açık hali gösterilmiştir. Bu devrenin gelişmiş eşdeğer devre modellerinde sisteme koruma sağlanması için bataryayı aşırı gerilim ve akım dalgalanmalarından engellemek için sigorta görevi gören diyotlarda kullanılabilir.



Şekil 2: Basit batarya eşdeğer devresi (Mib& Masrur, 2017)

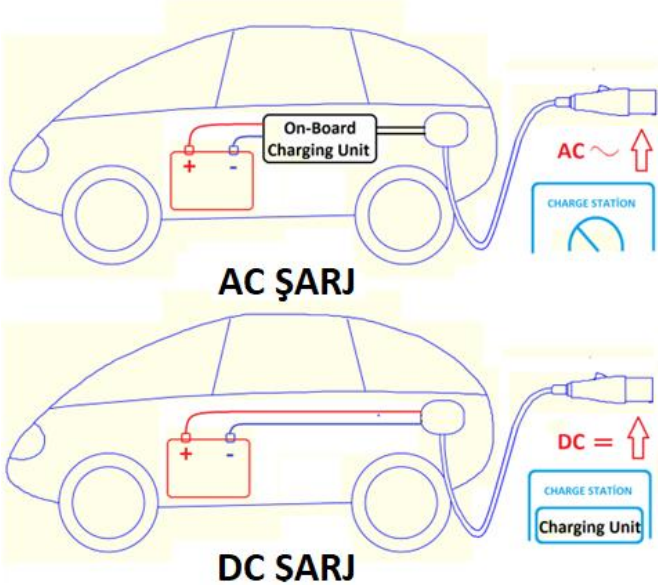
	Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (V)	Maks. Akım (A)	Maks. Güç (kW)
AC	Seviye 1	120	12	1,44
		120	16	1,92
	Seviye 2	208-240	>20	19,2
			≤ 80	
DC	Seviye 1	200-500	80	40
	Seviye 2	200-500	200	100

Tablo 2: Kuzey Amerika ve Japonya standartı şarj istasyonu özellikleri (Polat & ark., 2015)

Yukarıda verilen tabloda AC ve DC şarj yöntemlerinde belli seviyeler için maksimum anma akımı ve gücü gösterilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı üzere DC şarjlarda hem akım hem de güç değerlerinin yüksek olduğunu görmekteyiz. Bu da bize elektrikli araçların ihtiyaç duyacağı enerjiyi daha kısa sürede verebilme şansını göstermektedir.

Alternatif Akım (AC) Şarj İstasyonları

Alternatif akım (AC) enerjisi ile çalışan şarj istasyonları, mevcut şebeke altyapısından gelen enerjiyi kullanarak farklı hızlarda şarj imkanı sunarlar. Araç içinde bulunan dönüştürücüler, üreticinin belirlediği enerji sınırlarını aşmayacak şekilde AC enerjisini bataryalara iletmek için bu enerjiyi doğru akıma dönüştürür. Günümüzde, genellikle 380V AC gücü ile beslenen 22 kW hızında şarj istasyonları yaygın olarak tercih edilmektedir (Zoroğlu & ark., 2020; Sen, Boynuegri, & Uzunoglu., 2011; Karapınar & Daldaban., 2022; Dünden Bugüne Elektrikli Araçların Tarihi, 2023). Şekil 3'te AC ve DC şarj istasyonları için temel farklar gösterilmiştir. Bu farkların en önemlisi şarj istasyonundan bataryaya direkt bağlantı olup olmamasına göre 2'ye ayrılmaktadır. AC şarjlarda genel olarak şarj ünitesi bulunmaktadır. Çünkü bataryalar DC olarak şarj olmaktadır. Bu da ekstra maliyet anlamına gelmektedir.

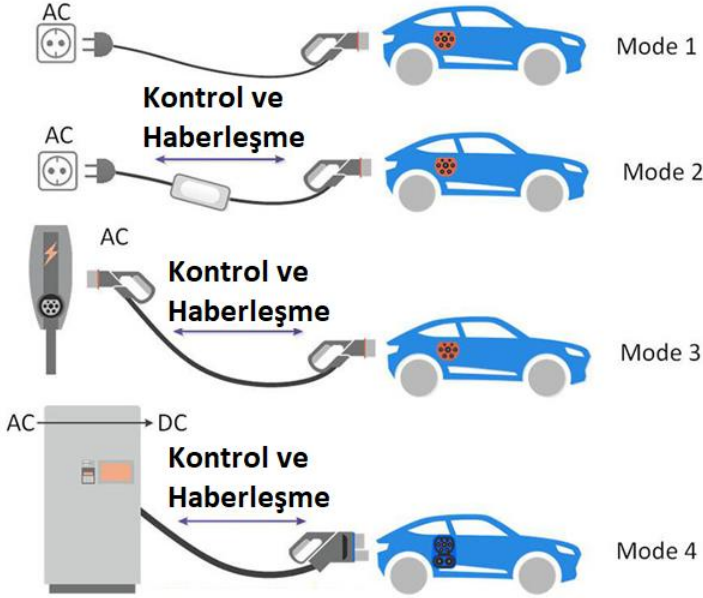


Şekil 3: Geleneksel elektrikli araç soket tipi (Birleştirici, & Ark., Tic, Gersan, 2015)

Doğru Akım (DC) Şarj İstasyonları

Bataryalar, doğrudan akım (DC) ile şarj edilirler. Araç içindeki AC-DC çevirici tarafından dönüştürülen güç, aşırı ısınma riskini azaltmak için üreticiler tarafından sınırlandırılmıştır.

DC güçle şarj etme, AC güce kıyasla çok daha yüksek hızları destekler, böylece elektrikli araçlar çok kısa sürelerde çok yüksek hızlarda şarj olabilirler. Araç tiplerine göre, şarj istasyonu ve diğer tüm farklılıklara göre tek tip şarj modları mevcut değildir. Tek bir kablo vasıtası ile şarj olmakla birlikte araç şarj olurken tüm verilere ulaşabilme özgürlüğü farklı mod tiplerde (Şekil 4) elverişli hale gelmiştir. Yaygın olarak kullanılan Mod-4 tip şarj şebekeden alınan enerjinin kontrol ve haberleşme sayesinde araçlardaki AC ve DC soket tiplerine göre de uyum sağlayabilmesi kullanımını ve pratikliğini oldukça arttırmıştır.



Şekil 4: Elektrikli araçların AC-DC Şarj modları (Durmuş & Kaymaz, 2020)

Elektrikli araç satışlarının artmasıyla birlikte, DC şarj istasyonlarının sayısının da artması beklenmektedir. Hatta günümüzde DC şarj istasyonları AC şarj istasyonlarını bazı lokal bölgelerde geçmiş durumdadır. DC şarj istasyonları, kullanıcılara daha hızlı şarj imkanı sunarken, yüksek güç talebi nedeniyle şebekeye ani yük getirebilir ve trafo ömürlerinin kısalmasına ve trafo kapasitelerinin artırılmasına neden olabilir. Bu nedenle, şarj istasyonlarının kullanıcıların ortak yaşam alanlarında ve uygun noktalarda yerleştirilmesi, yıllık ek maliyetleri azaltmaya yardımcı olabilir. Bu yüzden, elektrikli araçların yaygınlaşmasında önemli bir faktör, şarj altyapısının gelişmesi ve yaygınlaşmasıdır (Zoroğlu & ark., 2020; Sen, Boynuegri, & Uzunoglu., 2011; Karapınar & Daldaban., 2022; Dünden Bugüne Elektrikli Araçların Tarihi, 2023).

Şarj Türü	Şarj Olma Hızları	60 Dakikada Alabileceği Yol	Zaman
Şarj Cihazı (8A)	1.8 kW	10 km	35 saat
1-faz AC Şarj	7.4 kW	40 km	9 saat
3-faz AC Şarj	22 kW	120 km	3 saat
DC Şarj	25 kW	150 km	1.5 saat (%80'e kadar)
Hızlı DC Şarj	50 kW	300 km	1 saat (%80'e kadar)
Ultra Hızlı DC Şarj	175 kW	1000 km	15 dakika (%80'e kadar)

Tablo 3: Şarj Hızları ve Süreleri (Speirs, 2020)

Şekil 5'te geleneksel elektrikli araçlar için soket tipi gösterilmiştir. Burada genel olarak 8 yuvadan oluşan ve veri iletimi de sağlayan giriş çıkış üniteleri bulunmaktadır. 3 fazlı gösterimlerin yanı sıra özel olan diğer modelleri hem DC hem de AC şarjlar için kullanılabilir.



Şekil 5: Geleneksel elektrikli araç soket tipi (esarj.com/sarj-modlari)

SONUÇ

Elektrikli araçlar için hem doğru akım (DC) hem de alternatif akım (AC) şarj istasyonları, araçların şarj edilmesi için önemli altyapıyı oluşturuyor. DC şarj istasyonları, hızlı ve yüksek güçlü şarj imkanı sunarak, araçların kısa sürede daha fazla yol kat etmesine olanak tanıyor. Ancak, yüksek güç talebi nedeniyle elektrik şebekesine ek yük getirebilirler ve altyapı gereksinimlerini artırabilirler. AC şarj istasyonları ise daha geniş bir yaygınlıkla bulunabilirken, şarj süreleri genellikle daha uzun olabilir. Her iki şarj türü de elektrikli araçların kullanımını desteklemek için önemlidir ve ilerleyen dönemlerde daha fazla şarj istasyonunun

kurulması ve altyapının geliştirilmesi beklenmektedir. Bu, elektrikli araçların yaygınlaşması ve sürdürülebilir ulaşımın teşvik edilmesi için kritik bir adımdır.

Sonuç olarak, elektrikli araçlar, teknolojik yenilikler, çevresel endişeler ve tüketici talepleriyle birlikte hızla gelişmektedir. Günümüzde birçok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan elektrikli araçlar, gelecekte de önemli bir rol oynamaya devam edecek gibi görünmektedir.

REFERANSLAR

Dünden Bugüne Elektrikli Araçların Tarihi (2023). (08.05.2024 tarihinde <https://kolaysarj.com/dunden-bugune-elektrikli-araclarin-tarihi/> adresinden ulaşılmıştır).

Elektrikli Araç (EV) Şarj Akımı: AC ve DC Arasındaki Fark Nedir? (2024). (08.05.2024 tarihinde <https://www.wallboxtr.com/tr/blog/elektrikli-arac-ev-sarj-akimi-ac-ve-dc-arasindaki-fark-nedir.html> adresinden ulaşılmıştır).

Elektrikli Araç Şarj İstasyonları. (2023). IEA, Global energy-related CO2 emissions by sector, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector>, IEA (1). (Elektrikport).

Elektrikli Araç Şarj Modları. (2024). (12.05.2024 tarihinde <https://esarj.com/sarj-modlari> adresinden ulaşılmıştır).

Karapınar, F., & Daldaban, F. (2022). Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(3), 549-556.

Polat, Ö., Yumak, K., Sezgin, M. S., Yumurtacı, G., & Gül, Ö. (2015). Elektrikli araç ve şarj istasyonlarının Türkiye'deki güncel durumu. *İTÜ, AF Consult Turkey*.

Sen, G., Boynuegri, A. R., & Uzunoglu, M. (2011). Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Araçların Şebekeyle Bağlantısında Karşılaşılan Problemlere Yönelik Çözüm Önerileri. *DOI*, 10(2.1), 1956-8648.

Speirs, R. (2020). *How Long Will It Take To Charge My EV?* (12.05.2024 tarihinde www.evnex.com/articles/ev-charging-times adresinden ulaşılmıştır).

Zoroğlu, B., Yapıcı, A. T., & Kurt, Ü. G. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Standartları ve Türkiye'deki Elektrikli Araç Durumu. (2020). *In International Marmara Sciences Congress (AUTUMN 2020) (p. 301)*.

Yılmaz, M., & Krein, P. T. (2012). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE transactions on Power Electronics*, 28(5), 2151-2169

Birleştirici, A., Şalci, M. S., Dikkulak, A., Güler, F., Turhan, E., Tic, G. E., & AŞ, S. (2015). Elektrikli Araç şarj İstasyonları. *Tuzla, Istanbul*.

Durmuş, F.S., Kaymaz, H. 2020. Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi*, 3(2), 123-139.

Mi, C., & Masrur, M. A. (2017). *Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspectives*. John Wiley & Sons.

BÖLÜM V

Biyosensörlerde Kullanılan Nanomalzemelerin Sentez, Karakterizasyon, Uygulama Yöntemleri ve Gelecek Perspektifi

Özgün UZ¹
Özge TÜZÜN ÖZMEN²

Giriş

Biyosensör teknolojisi, 20. yüzyılın ortalarına kadar uzanan bir tarihe sahiptir ve ilk biyosensörler genellikle enzim elektrotları olarak adlandırılan sistemler olarak ortaya çıkmıştır, bu da 1960'lı yıllarda gerçekleşmiştir. Biyosensörler, sağlık, çevre izleme, gıda güvenliği ve biyolojik araştırmalar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Das vd. 2022). Tıp alanında, biyosensörler hastalıkların erken teşhisi, tedavi takibi ve biyomedikal araştırmalar

¹ Doktora Öğrencisi., İzmir Bakırçay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye, Orcid: 0000-0002-6752-2861, 6049005@bakircay.edu.tr

² Prof. Dr., İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, İzmir/Türkiye, Orcid: 0000-0002-5204-3737, ozge.ozmen@bakircay.edu.tr

için önemlidir. Çevresel izleme ve gıda güvenliği alanlarında biyosensörler, çeşitli kirleticileri ve patojenleri tespit ederek çevresel sağlığı ve gıda güvenliğini artırmaya yardımcı olmaktadır (Kim vd. 2023). Ayrıca, biyosensörler biyoteknoloji, biyolojik mühendislik ve farmakoloji gibi araştırma alanlarında da kullanılmaktadır. Bu geniş uygulama alanları, biyosensör teknolojisinin sürekli olarak evrim geçirmesine ve yeni keşiflere olanak tanınmasına katkıda bulunmaktadır.

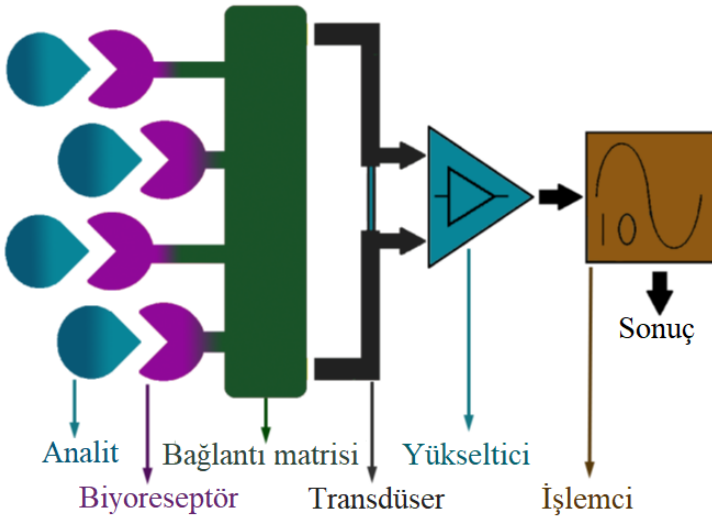
Biyosensör teknolojisinin ortaya çıkmasında, farklı bilim alanlarının birleşimi, özellikle biyoloji, kimya ve fizik, kritik bir rol oynamıştır. Biyosensörler, biyolojik tanı, biyolojik izleme, moleküler tespit ve analiz gibi konularda çeşitli disiplinlerin etkileşimini gerektirmektedir. Biyomoleküler etkileşimlerin anlaşılması, elektrokimya, optik sensörler, nano malzemeler ve mikroelektroniklerin kullanımını içeren çeşitli disiplinlerin entegrasyonunu gerektirmektedir. Bu çeşitli alanların birleşimi, biyosensör teknolojisinin başarılı gelişimini ve geniş bir uygulama yelpazesi elde etmesini sağlamıştır. Bu dönemde, biyosensörlerin tasarımı ve kullanım alanları hakkında temel bilgilerin oluşmasıyla birlikte, teknoloji hızla evrim geçirmiştir. Zamanla, nanoteknolojinin ve biyomühendisliğin ilerlemesi, biyosensör teknolojisini daha da geliştirmiş ve farklı uygulama alanları için adaptasyonunu sağlamıştır.

Günümüzde, nanomalzeme mühendisliğinin gelişmesi sayesinde elde edilen avantajlar, biyosensörlerin farklı nanomalzemeler kullanılarak üretilmesi ve katkılandırılmasıyla çeşitli avantajlar kazanmasına olanak tanımaktadır. Bu derleme çalışmasında, biyosensörlerde kullanılan nanomalzemelerin güncel

durumu incelenmiş ve gelecekteki uygulama potansiyelleri irdelenmiştir.

Biyosensörler

Biyosensörler, biyolojik sistemlerden elde edilen bilgileri algılayabilen ve ölçebilen cihazlardır. Genel olarak, biyosensörler, Şekil 1’de gösterildiği gibi bir biyoreseptör, bir dönüştürücü ve bir sinyal işleme biriminden oluşan üç ana bileşeni içerir.



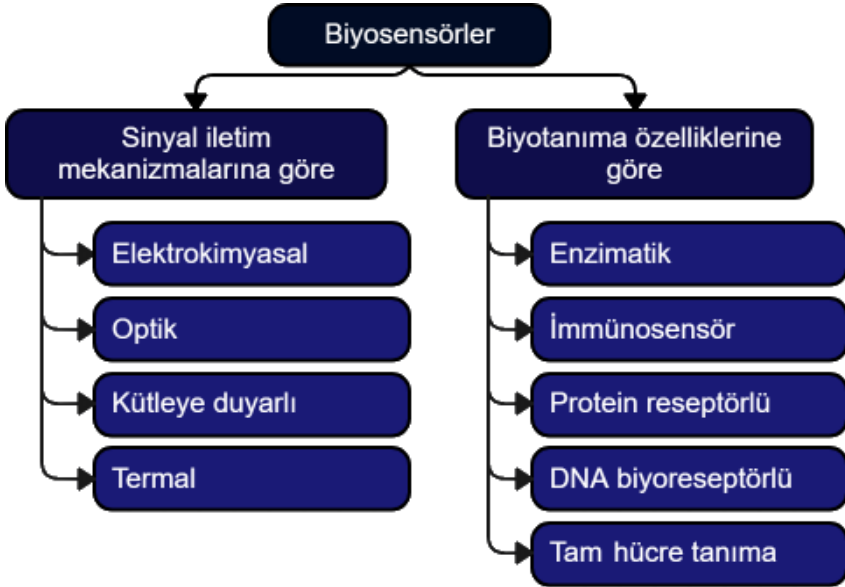
Şekil 1. Biyosensörün yapısı

Biyoreseptör, genellikle enzimler, antikorlar, nükleik asitler veya hücreler gibi biyolojik bileşenlerdir ve spesifik bir hedef molekülle etkileşime girerek bir sinyal oluşturur. Dönüştürücü, biyoreseptörden gelen biyolojik sinyali ölçülebilir bir fiziksel veya kimyasal sinyale dönüştürür (Mohanty ve Kougiános, 2006). Örneğin, elektrokimyasal biyosensörlerde, bu dönüştürücü genellikle bir elektrot yüzeyidir ve biyoreseptörden gelen sinyal,

elektriksel bir değişikliğe çevrilir. Optik biyosensörlerde ise ışığın emilimi veya yansımaları gibi optik özellikler kullanılabilir.

Sinyal işleme birimi, dönüştürücüden elde edilen sinyali ölçülebilir bir formda sunarak kullanıcıya bilgi sağlar. Bu aşamada, elde edilen veri genellikle bir okuma cihazı veya bilgisayar aracılığıyla analiz edilir. Biyosensörler, tıp, çevre izleme, gıda güvenliği ve biyoteknoloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle tıpta, biyosensörler hastalıkların erken teşhisinden ilaç takibine kadar çeşitli uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır.

Biyosensörler sinyal iletim mekanizmalarına ve biyotanımaya özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Biyosensörlerin sınıflandırılması kısaca Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Biyosensörlerin sınıflandırılması

Biyosensörler yapılarına göre değişim göstermekle birlikte çeşitli malzemelerin kullanılmasıyla üretilebilmektedirler. Biyosensörlerin yapısında kullanılan başlıca malzemeler bir sonraki başlık altında incelenmiştir.

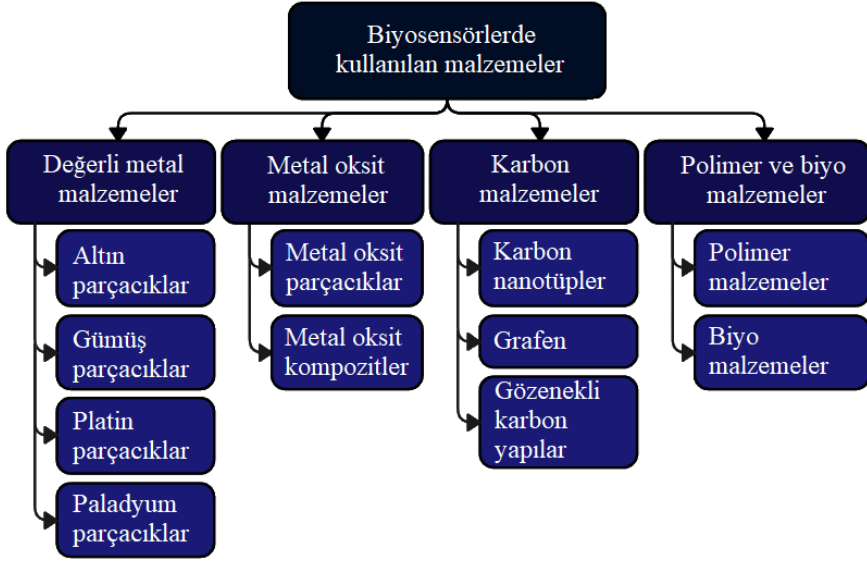
Biyosensörlerde kullanılan nanolif ve katkı malzemeleri

Biyosensörlerin yapı taşları arasında öne çıkan malzemeler arasında metal oksitler, karbon tabanlı malzemeler, değerli metaller, polimerler ve benzeri birçok malzeme bulunmaktadır. Biyosensör teknolojisinin temel bileşenleri arasında öne çıkan malzemeler Şekil 3'te sınıflandırıldığı gibi metal oksitler, karbon temelli materyaller, değerli metaller, polimerler ve benzeri bir dizi malzemedir oluşmaktadır. Metal oksitler, geniş yüzey alanları ve elektriksel özelliklere sahip olmaları sebebiyle özellikle elektrokimyasal biyosensörlerde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Değerli metaller arasında ise özellikle altın ve gümüş nanopartiküller, yüksek iletkenlikleri ve biyolojik materyallerle uyumlulukları nedeniyle optik ve elektrokimyasal sensör uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Karbon temelli malzemeler, özellikle grafen, karbon nanotüpler ve karbon nanofiberler, biyosensör platformları için örnek malzemeler olarak gösterilebilir; zira bu malzemeler, yüksek yüzey alanları ve benzersiz elektriksel özellikler sunarak biyoözgül reseptörlerin immobilizasyonu için uygun yüzeyler sağlamaktadır.

Ayrıca, polimerler de biyosensörlerin temel yapı taşlarından biridir. Özellikle biyopolimerler, çevre dostu ve biyolojik olarak uyumlu özelliklere sahiptir. Nişasta, selüloz ve protein gibi biyopolimerler, sensör platformlarında kullanılarak biyolojik

algılamayı artırmak ve sensör performansını optimize etmek amacıyla özelleştirilebilirler. Bu malzemelerin akademik araştırmalarda ve biyosensör teknolojisinin geliştirilmesindeki rolü, biyolojik algılamada ve çeşitli analitik uygulamalarda daha hassas ve etkili sensörlerin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 3. Biyosensörlerde kullanılan malzemelerin sınıflandırılması

Bu malzemelerin etkili bir şekilde bir araya getirilmesi, biyosensörlerin yüksek duyarlılık, seçicilik ve hızlı tepki verme yetenekleriyle biyolojik analiteleri tespit etmesini sağlar. Malzemelerin katkılandırılması veya katmanlar halinde üretilmesi, yeni zincirlerin oluşturulması veya kompozit yapılar kullanılması, biyosensörlere farklı özellikler kazandırabilir.

Bu bağlamda, genellikle çeşitli iletken veya yarıiletken tabakaların üzerine katmanlar halinde biriktirilerek veya bir matris

yapı içerisine katkılanılarak farklı malzemeler bir araya getirilmektedir. Bu entegrasyon yöntemleri, biyosensörlerin performansını artırarak çeşitli analitik uygulamalarda daha etkili sonuçlar elde edilmesine olanak tanır.

Özellikle biyopolimerler, daha kolay üretim teknikleri, uygun maliyet, biyoyumluluk ve biyobozunurluk avantajları ile son yıllarda biyosensörlerin yapısında kullanılan dikkat çekici malzemelerdir. Bu malzemeler, biyosensör teknolojisinin daha geniş bir uygulama alanına yayılmasına katkı sağlamaktadır, çünkü biyopolimerlerin özellikleri, biyolojik algılamada ve analitik performansta artış sağlamak için önemli bir rol oynamaktadır.

Değerli metal nanomalzemeler

Paladyum nanoparçacıkları, geniş katalitik ve sensör uygulamalarına yönelik etkileri nedeniyle gazlar, biyomoleküller ve tehlikeli toksik moleküller üzerinde giderek artan bir ilgi çekmektedir. Pd nanoparçacıklarına dayalı elektrot malzemeleri, çeşitli analitlere karşı yüksek elektrokatalitik aktiviteler sergileyerek önemli bir potansiyele sahiptir.

Pd'nin diğer değerli metaller, örneğin altın ve platin gibi metallerle kıyaslandığında daha ekonomik bir alternatif olması, çeşitli elektrokimyasal algılama platformlarının tasarımında daha maliyet etkin bir seçenek sunmaktadır. Pd'ye dayalı nanomalzemeler, metal oksitleri ve karbon nanomalzemelerini içeren çeşitli nano yapılar, uyarlanabilir yapılar ve değişken kompozisyonlarıyla çeşitli kirlilik maddelerinin tespiti için etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

Metal oksit nanomalzemeler

Nano yapıdaki metal oksitlerin sentezi için kimyasal yöntemler, metal iyonlarının indirgenmesini ve oluşan metal atomlarının büyük çözeltiden kontrol edilmiş bir şekilde ayrılmasını içermektedir. Bu yöntemler, nanoteller, nanofiberler, nanokemer, nanotarak ve nanotüpler gibi düzenli nanopartiküller elde etmek için oldukça uygun olup, bu tek boyutlu (1D) nano yapılar, çevresel kirleticilerin elektrokimyasal algılaması için harika bir model sistem sağlamaktadır.

SnO_2 , In_2O_3 , ZnO , TiO_2 , WO_3 ve NiO gibi nanometre ölçeğindeki metal oksit yarı iletkenlerine dayalı dirençli (konduktometrik) gaz sensörleri, patlayıcı/toksik gazlar ve uçucu organik bileşenlerin (VOC'ler) çevresel izlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Dirençli gaz sensörünün çalışma prensibi, elektrot yüzeyindeki test gazı moleküllerinin değişimi tarafından sebep olan direnç (elektrik iletkenliği) değişikliğine dayanmaktadır.

Duyarlılığı ve algılama limitini artırmak için, özellikle daha küçük boyutları ve karakteristik taşıyıcıları nedeniyle hiyerarşik metal oksit nano yapılarının tasarımı ve kontrol edilebilir sentezi üzerine önemli çabalar harcanmıştır. Bu çabaların bir sonucu olarak, SnO_2 nanopartikülü, gaz sensörleri için en çok kullanılan algılama malzemelerinden biri haline gelmiştir. Bu nano yapılar, çevresel izleme uygulamalarında daha yüksek performans ve özelleştirilebilirlik sağlayarak, çeşitli gazların hassas ve seçici bir şekilde algılanmasına olanak tanımaktadır.

Karbon nano tüpler

Karbon nanotüpler (CNT'ler), nanomalzemelerin 1991 yılından beri keşfedildiği tarihten itibaren en yaygın kullanılan yapı taşlarından biri olmuş ve önemli ilgi çekmiştir. CNT'ler, sp² hibridleşmiş grafen tabakalarının 'sarılı' silindirik tüpler olarak görselleştirilebileceği nano ölçekte yapılar olup, çelikle kıyaslandığında 100 katı çekme dayanıklılığına, bakır benzeri elektrik iletkenliğine ve mükemmel elektrokatalitik yeteneklere sahiptirler.

CNT'ler, tek katmanlı karbon nanotüpleri (SWNT'ler) ve çok katmanlı karbon nanotüpleri (MWNT'ler) olmak üzere iki türlü olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma, yuvarlanan bal peteği yapılarında tek ve çok katmanlı grafenin varlığına bağlıdır. CNT'lerin hazırlanması için birkaç yöntem geliştirilmiştir, bunlar arasında kimyasal buhar biriktirme (CVD), elektrik ark deşarjı ve lazer buharlaştırma yer almaktadır. CVD, hidrokarbon buharının (örneğin, metan) metal bir katalizörün varlığında termal bozunma sonucu oluşan ticari hazırlık yöntemlerinden biridir ve en yaygın kullanılanıdır. Ancak, CVD ile üretilen CNT'lerin kalıntı metalleri gidermek için dikkatli bir ürün arıtma gerektirdiği unutulmamalıdır.

Büyük yüzey alanı, hızlı yük transferi özellikleri ve diğer elektrot malzemeleri ile uyumluluk ve sinerjistik etki nedeniyle, birçok CNT tabanlı çevresel sensör geliştirilmiştir. Bu sensörler arasında kompozitler, pastalar, filmler ve fonksiyonelleştirilmiş CNT elektrotları bulunmaktadır.

Grafen

Grafen, bir bal peteği düzeninde düzenlenmiş sp² hibridleşmiş karbon tabakasından oluşan, ortaya çıkmış iki boyutlu (2-D) bir nanomalzemedir ve teorik olarak 2630 m²/g (teorik olarak SWCNT'lerin neredeyse iki katı) aşırı yüksek bir yüzey alanına sahiptir. Sıfır band aralığına sahip bir yarı iletken olup, yük taşıyıcı mobilitesi yüksek (15,000-20,000 cm²/Vs) olan ambipolar bir elektrik alan etkisi gösterir. Ayrıca, grafen aynı zamanda üstün mekanik ve termal özelliklere de sahiptir. Bu mükemmel fizikokimyasal ve elektriksel özellikler, grafeni elektrokimyasal sensör elektrodu üretimi için heyecan verici bir aday haline getirir.

Grafen ilk olarak 2004 yılında yüksek oryantasyonlu pirolitik grafitin (HOPG) basit bant rulolarının soyulmasıyla izole edilmiştir. Son zamanlarda, rGO (Hummers yöntemi), elektrokimyasal indirgeme ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) gibi ölçeklenebilir, maliyet etkin ve yüksek verimli üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Mekanik soyma yönteminin bazal düzlem yapıları, yüksek iletkenliklere sahip olmasına rağmen azalan elektrokimyasal aktiviteler üretebileceği, kimyasal oksidasyon ve indirgeme yöntemlerinin ise artan hatalar ve fonksiyonel gruplar nedeniyle yüksek elektrokimyasal aktivite üretebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, CVD yöntemindeki kaçınılmaz metal kirliliği, nihai ürünün elektrokimyasal davranışına katkıda bulunabilir, bu da imalat sürecinde metal türlerinin doğru bir şekilde kontrol edilmesinin gerekliliğini ortaya koyar.

Polimer nanomalzemeler

Gıda ve çevre kirleticilerinin hassas bir şekilde tespiti için, polimerik nanomalzemelerin geliştirilmesine yönelik çeşitli çabalar sarf edilmiştir. Bu çabalar, homo- ve kopolimerler, formülasyonlu malzemeler, mühendislik morfolojiye sahip polimerik yapılar ve moleküler şekil tanıma malzemelerini içermektedir. Polimerik nanomalzemeler, gaz ve sıvılardaki kimyasal ve biyolojik toksik analitelerin tespiti ve belirlenmesi için elektrokimyasal analitik stratejilerde çeşitlilik sunan benzersiz özelliklere sahiptir.

Polimerik nanomalzemelere dayalı sensör platformları, duyarlılık, doğrusallık, seçicilik ve üretilebilirlik gibi bir dizi özelliği sergilemiştir. Bu sensör platformları, kendiliğinden düzenlenmiş biyomembranların oluşturulması, elektro-polimerleşmiş polimerler (iletken polimerler, CP'ler) ve dendrimerlere dayalı polimerik nanomalzemeler ile geniş bir bağluluk uyandırmıştır. Elektrokimyasal algılama özelliklerini daha da geliştirmek için, metal nanoparçacıklar, metal oksit nanoparçacıkları, (karbon nanotüp) CNT ve grafen içeren nanokompozitler katkılandırılarak üretilmiştir.

Biyo nanomalzemeler

Nano ölçekli nesnelere biyomoleküllerin entegrasyonu, nanomalzemelerin özellikleriyle biyomoleküler katalitik işlevini birleştiren çeşitli platformları mümkün kılar. Bu tür biyo-nanomalzemeler, biyomedikal ve çevresel uygulamalarda analitik araştırmacılara ilham kaynağı olmuştur. Gelişmiş elektrokimyasal sensör platformlarının geliştirilmesinde, malzeme bilimi, biyobilim

ve nanoteknoloji arasındaki sınırdaki ortaya çıkan yeni nesil nano yapı malzemelere büyük çabalar harcanmaktadır.

Biyo-nanomalzemesler, enzimler, antikorlar veya DNA gibi biyolojik polimerlerle en az bir boyutta inorganik bir bileşeni birleştiren nanokompozitlere dönüşebilirler. Bu biyo-nanomalzemesler, proteinler, enzimler, nükleik asitler ve biyopolimerler gibi biomoleküllerin yüksek seçici katalitik ve tanıma özelliklerini kullanarak benzersiz özelliklere sahiptirler.

Uygulama yöntemleri

Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapor Deposition «CVD»)

İlk zamanlarda cam üretiminde kullanılan CVD (Chemical Vapor Deposition) tekniğinin ortaya çıkış tarihi tam olarak bilinmemekle birlikte, eski yıllara dayanıyor olsa da 20. yüzyılın başlarında farklı malzemelerin üretiminde de kullanılmaya başlanmış ve ilgi çeken bir yöntem olmuştur. CVD yöntemi farklı malzemelerin ve yeni metotların da eklenmesiyle birlikte yarıiletken, polimer ve metal ince filmlerinin üretiminde sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. CVD yöntemi, metal üzerine farklı metal katmanların ince filmler halinde kaplanması, cam üzerine farklı polimer katmanlarının kaplanması gibi uygulamalara izin vermekle birlikte optik cam ve film üretiminin yanı sıra elektrokimyasal sensörlerin, mikroeletromekanik sistemlerin üretiminde de sıklıkla tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.

CVD yöntemi, nanokaplamayı oluşturacak olan malzemelerin ve kimyasalların reaktöre enjekte edilerek, genellikle

inert olan taşıyıcı gazların yardımıyla malzemelerin üzerinde biriktirmesine dayanan işlemleri içermektedir.

Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapor Deposition «PVD»)

PVD yöntemi de tek ya da çok katmanlı ince kaplamalar oluşturmaya yarayan yöntemlerden biridir. CVD yöntemi 19. yüzyılın sonlarına doğru optik ve elektronik endüstrilerinde sıklıkla kullanılmaktaydı. Ancak yöntemin sağladığı avantajlar sayesinde zamanla metalürji, yarıiletkenler, elektronik sensörler ve dekorasyon gibi ticari potansiyeli yüksek alanlarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

PVD yönteminde ince film ya da kaplama oluşturmak için kullanılan malzemelerin buharlaşmasını sağlamak için ısıtıcı rezistans, indüksiyon ısıtıcıları, katot arkı ya da elektron bombardımanı gibi teknikler kullanılmaktadır. Buharlaştırılacak malzeme, kullanılan tekniğe göre değişiklik gösterebilen haznelere yerleştirildikten sonra, kaplanacak olan malzeme yüzeyi de buharın birikmesine elverişli olan bir yere yerleştirilir. Ardından buharlaşma başlar ve buharlanan malzemenin kaplanacak yüzeyde yoğunlaşması beklenir.

Kuvars Tüp Fırın

Kuvars tüp ve cam tüp arasındaki temel farklar moleküler yapı, dayanıklılık ve elektriksel özellikler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Cam, rastgele bir moleküler yapıya sahip amorf bir malzeme iken, kuvars kristalin bir yapıya sahiptir ve simetrik bir moleküler düzen içerir. Kuvars, camdan daha yüksek sıcaklık ve basınca dayanabilir. Elektriksel özellikler açısından, cam yalıtkan bir malzeme iken, kuvars iletken özellik gösterir. Her iki

malzeme de elektriksel amaçlar için kullanılabilir, ancak bu özellikleriyle farklı uygulama alanlarına yönlendirilebilirler.

Tüp fırınların çalışma aşamaları, kaplanacak yüzeyin temizlenmesi ve hazırlık işlemlerinin tamamlanmasıyla başlar. Ardından, kaplama malzemesi kuvars tüp fırında yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak buharlaştırılır. Buharlaşan malzeme, taşıyıcı gazla kaplanacak yüzeye doğru taşınır ve yüzey üzerinde yoğunlaşarak kaplanır. Tüp fırınlar, eşsiz termal homojenlik sağlayarak çeşitli endüstriyel uygulamalarda avantajlı bir seçenek haline gelir.

Elektroeğirme

Elektrospin, ince liflerin üretiminde kullanılan etkili bir tekniktir. Bu yöntem, polimer çözeltisinin yüksek gerilim altında ince bir nozülde çekilerek ince liflere dönüştürülmesini içerir. İşlem, polimer çözeltisinin veya eriyiğinin rezervuardan alınması ve bir iğne ucu veya nozül içine yerleştirilmesiyle başlar. Ardından, uygulanan yüksek gerilim, çözeltiden bir sıvı jetin oluşmasını tetikler. Elektrik alanın etkisiyle, sıvı jet incelik ve uzun liflere dönüşür. Oluşan lifler, genellikle bir toplayıcı yüzeye yerleştirilir ve istenen düzen ve şekil alması için düzenlenir. Elektrospin tekniği, nanoteknoloji, malzeme bilimi ve biyoteknoloji alanlarında geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu ince lifler, biyomedikal uygulamalardan tekstil endüstrisine kadar çeşitli sektörlerde kullanılarak malzemelerin özel özellikler kazanmasına olanak tanır. Elektrospin, nanomaterial üretimi ve fonksiyonel lif oluşturma konusundaki başarılarıyla dikkat çeker, bu da çeşitli bilimsel ve endüstriyel alanlarda kullanım potansiyeli sunar.

Sol-Gel yöntemi

Sol-Gel yöntemi, inorganik ve organik malzemelerin jel formuna getirilerek daha sonra bu jelin uygun koşullarda katı bir malzemeye dönüştürülmesini sağlayan bir kimyasal süreçtir. Bu yöntem, çeşitli endüstriyel ve bilimsel uygulamalarda kullanılan nano boyutlu malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılır.

Sol-Gel işlemi genellikle şu adımları içerir:

Precursor Hazırlık: İnorganik veya organik bileşenler, "precursor" adı verilen öncü maddeler halinde hazırlanır. Bu maddeler, genellikle metal alkoksitler, metal tuzları veya organik bileşenler olabilir.

Jel Oluşturma: Precursorler, uygun bir çözücü içinde çözülerek bir solüsyon oluşturur. Bu çözelti, homojen bir şekilde karıştırılır ve bir jel oluşması sağlanır. Jel, sıvı bir faz içinde süspansiyon halinde bulunan bir katı aşaması içerir.

Jel Modifikasyonu: Oluşan jel, istenen özellikleri elde etmek için modifiye edilebilir. Bu adım, jel yapısını ve özelliklerini kontrol etmek için çeşitli kimyasal ve fiziksel yöntemleri içerir.

Jel Kurutma: Jel, sıvı fazın çıkarılmasıyla katı bir cam benzeri malzemeye dönüştürülür. Bu adım genellikle dondurma-kurutma veya süblimasyon gibi yöntemlerle gerçekleştirilir.

Isıl İşlem (Sinterleme): Elde edilen cam benzeri malzeme, belirli bir sıcaklıkta belirli bir süre boyunca ısıtılarak kristalleşebilir veya yoğunlaştırılabilir. Bu adım, malzemenin nihai özelliklerini belirler.

Sol-Gel yöntemi, üretilen malzemenin özelliklerini kontrol etme esnekliği sağlayarak çeşitli uygulamalara uygun malzemeler elde etmeyi mümkün kılar. Bu yöntem, optik kaplamalar, seramik malzemeler, biyoaktif camlar, sensörler ve katalizörler gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Hidrojel sentez

Hidrojeller, benzersiz su tutma kapasiteleri ve jel benzeri yapılardan oluşan malzemelerdir. Kimyasal yapısı, genellikle su ile doymuş polimer ağlarından oluşan bu malzemeler, suyun etkisiyle şişer ve jel formunu alır. Bu özellikleri, hidrojellerin birçok endüstriyel, biyomedikal ve tıbbi uygulamada kullanılmasını sağlar.

Hidrojellerin kimyasal yapıları, polimer zincirleri arasındaki bağlar sayesinde suyun hapsolmesini mümkün kılar. Bu polimer ağları genellikle elastik ve yumuşak bir yapıya sahip olduklarından dolayı, çeşitli uygulamalarda esneklik sağlanmasına olanak tanırırlar.

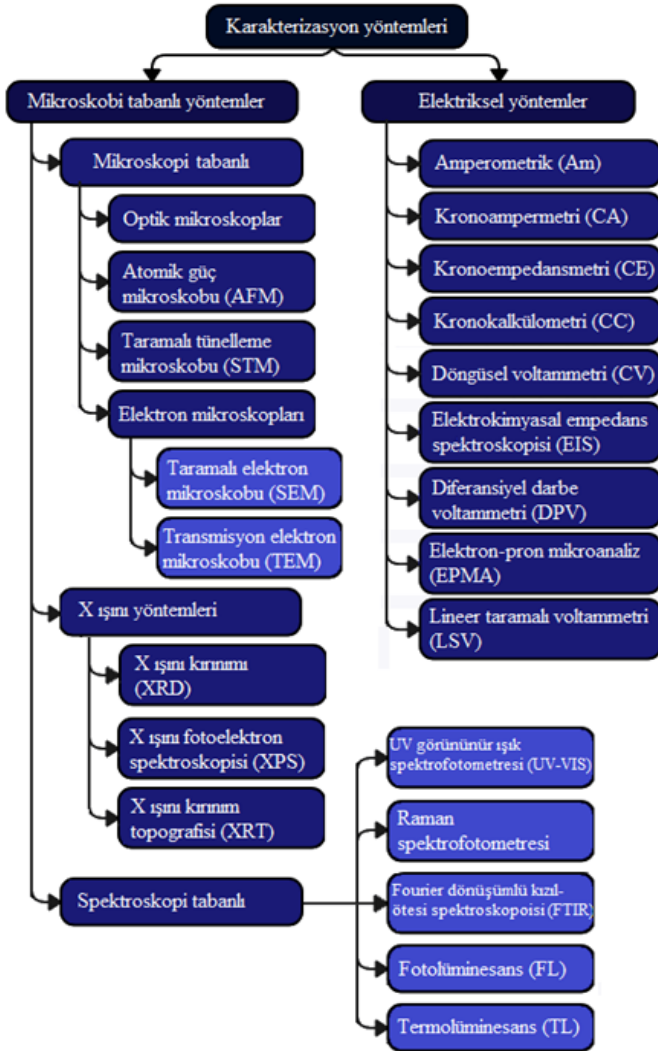
Hidrojellerin geniş kullanım alanları vardır. Tıbbi uygulamalarda, yara bandajları ve kontakt lensler gibi ürünlerde suyun tutulması ve serbest bırakılması yetenekleri nedeniyle yaygın olarak tercih edilirler. Tarım sektöründe, su emme kapasiteleri sayesinde toprağı nemli tutma amacıyla kullanılırlar. Gıda endüstrisinde de jel benzeri yapıları oluşturmak için tercih edilen malzemeler arasındadırlar. Ayrıca, hidrojellerin kontrollü ilaç salımı yetenekleri, uzun süreli tedavilerde ve ilaç salım sistemlerinde kullanılmalarını sağlar.

Sentetik ve doğal hidrojeller arasında ayırım yapılabilir. Sentetik hidrojeller genellikle özel uygulamalar için

laboratuvarlarda üretilirken, doğal hidrojeller genellikle bitki ve hayvan dokularında bulunan doğal polimerlerden üretilir. Hidrojeller, su ile etkileşimli özellikleri ve geniş uygulama alanları nedeniyle bilim, endüstri ve tıp alanlarında önemli bir malzeme haline gelmiştir.

Analiz ve karakterizasyon yöntemleri

Biyosensörlerde kullanılan malzemelerin karakteristik özelliklerinin belirlenebilmesi önemlidir. Malzeme yüzey topografyası malzemelerin kristal yapısı hakkında fikir vermektedir. Aynı zamanda malzemelerin elektriksel analizleri de biyosensörlerin analitlere karşı verdiği tepkilerin ölçülebilmesi için kullanılmaktadır. Nanomalzemelerin karakteristik özelliklerini belirlemede kullanılan başlıca yöntemler Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Biyosensörlerin karakterizasyonunda kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması

Elektriksel yöntemler

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) Yöntemi

EIS, elektriksel yöntemler kategorisinde yer alan bir karakterizasyon yöntemidir ve özellikle elektrokimyasal sistemlerin davranışlarını incelemek amacıyla kullanılır. EIS yöntemi, alternatif akımın farklı sabit frekanslar aralığında uygulanarak sistemin empedansının uygulanan frekanslar altında ölçülmesi prensibine dayanır.

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi, genellikle yüksek hassasiyetle elektrokimyasal sistemlerin yüzey özelliklerini ve elektriksel dirençlerini tespit etmek için kullanılır. Yüksek frekanslarda yapılan ölçümler genellikle elektrot-sıvı ara yüzeyinin yük transfer özelliklerini değerlendirmek için kullanılırken, düşük frekanslardaki ölçümler genellikle elektrot yüzeyindeki difüzyon süreçlerini incelemek için tercih edilir.

Bu karakterizasyon yöntemi, geniş bir frekans aralığında yapılan ölçümler sayesinde detaylı bilgiler sağlar. Elektrokimyasal sistemlerin karakterizasyonu ve biyosensörlerin geliştirilmesi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan EIS, özellikle biyolojik sistemlerdeki elektrokimyasal reaksiyonları anlamak için güçlü bir araçtır.

EIS'nin avantajları arasında düşük ölçüm hatası bulunur; ancak, tek bir değeri hesaplamak için genellikle çoklu empedans ölçümü gerektirir. Bu yöntem, biyosensör teknolojisi ve biyoelektrokimya alanlarında çeşitli uygulamalara sahiptir.

Kronoempedans (CI) Yöntemi

CI uygulanan gerilim sonrasında elektrot yüzeyinde meydana gelen empedans değişikliklerini ölçmeye dayalı bir yöntemdir. Bu yöntem biyosensörlerin karakterizasyonunda da

sıklıkla kullanılmaktadır. CI yöntemi, özellikle biyosensör teknolojisinde ve biyoelektrokimya çalışmalarında kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, elektrokimyasal süreçlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesine ve anlaşılmasına olanak tanır. Elektrot yüzeyindeki empedans değişiklikleri, çözelti veya biyolojik materyallerle etkileşime giren biyosensörün performansını değerlendirmek için önemli bilgiler sağlar.

CI yönteminin avantajları arasında hızlı ölçüm süreçleri, gerçek zamanlı takip imkanı ve hassas karakterizasyon yer alır. Bu özellikleri sayesinde, biyosensörlerin geliştirilmesi ve biyolojik materyallerin elektrokimyasal davranışlarının anlaşılması konusunda değerli bir araçtır.

Kronokulometrik Yöntemler

Kronokulometri (CC) tekniği, elektrot yüzeyindeki yük miktarı ile zaman arasındaki ilişkiyi inceleyen bir karakterizasyon yöntemidir. Bu teknik, kulometre adı verilen bir grup analitik yöntemi kullanır ve elektrodun yüzeyindeki analitin bir oksidasyon durumundan diğerine geçişi sırasında gereken elektriği (kulon cinsinden) ölçer.

Kronokulometri yönteminde, akımın zaman karşısındaki değişimi grafiğe çizilir. Bu grafik elektronik olarak veya matematiksel yöntemlerle integral alındığında, toplam yük miktarı belirlenir. Bu sayede, analitin elektrod üzerindeki yük taşıma kapasitesi ve oksidasyon durumları arasındaki ilişki gözlemlenir.

Kronokulometri, özellikle elektrokimyasal reaksiyonların derinlemesine incelenmesi, elektrot performansının değerlendirilmesi ve çeşitli analitik uygulamalarda kullanılır.

Elektrot yüzeyinde meydana gelen yük değişimleri ve bu değişimlerin zamanla olan ilişkisi, analitik kimya ve elektrokimya alanındaki birçok uygulama için önemli bilgiler sağlar.

Kronoamperometri Yöntemi

Kronoamperometri yöntemi, çalışma elektrodunun potansiyelini aniden değiştirerek gerçekleştirilen bir karakterizasyon yöntemidir. Bu yöntemde, anotta bir yükseltgenme ve katotta bir indirgenme reaksiyonu meydana geldiğinde faradaik reaksiyon gerçekleşir. Temel olarak, yüzeyde elektroaktif türlerin konsantrasyonunun neredeyse sıfır olduğu bir potansiyelden, elektron transfer hızının çok yüksek olduğu bir potansiyele aniden değiştirilmesiyle durgun bir ortamda potansiyel-zaman ilişkisi incelenir.

Kronoamperometri, elektrot yüzeyindeki redoks türlerinin konsantrasyonlarını ve elektrokimyasal reaksiyon hızlarını belirlemede kullanılır. Potansiyelin ani bir değişikliği ile başlayan bu yöntem, elektrot yüzeyindeki reaksiyonların kinetik özelliklerini ortaya çıkarır. Bu, özellikle elektrokimyasal analizlerde ve sensör teknolojilerinde kullanılan bir tekniktir.

Modifiyeli voltametrik ve amperometrik yöntemler

Modifiye voltametri yöntemleri, geleneksel voltametri tekniklerini geliştiren veya belirli uygulamalara uyacak şekilde özelleştiren yaklaşımları içerir. Bu modifiye yöntemler, analitik performansı artırmak, hassasiyeti iyileştirmek veya spesifik bir uygulama için optimize etmek amacıyla kullanılır. İşte darbeli voltametri ve döngüsel voltametri gibi modifiye voltametri yöntemlerinin ana başlıkları:

Darbeli Voltametri (Pulse Voltammetry):

Darbeli voltametri, voltametri sinyallerini belirli bir frekansta ve genlikte uygulanan darbelerle inceleyen bir tekniktir. Bu yöntem, özellikle elektrokimyasal sistemlerin dinamik davranışlarını incelemek ve çözeltideki düşük konsantrasyonlardaki analiteleri tespit etmek için etkili bir araçtır. Darbeli voltametri, genellikle diferansiyel darbeli voltametri (DPV) ve kare dalga voltametri (SWV) gibi alt kategorilere ayrılır.

Döngüsel Voltametri (Cyclic Voltammetry):

Döngüsel voltametri, elektrot potansiyelini düzenli bir şekilde değiştirip akımı ölçerek elektrokimyasal sistemlerin davranışlarını inceleyen bir tekniktir. Potansiyel taraması genellikle döngüsel olarak tekrarlanır. Bu yöntem, redoks reaksiyonların hızları, difüzyon katsayıları ve elektrot yüzey özellikleri gibi birçok elektrokimyasal parametreyi belirlemede kullanılır.

Darbeli Amperometri (Pulse Amperometry):

Puls amperometri, genellikle çok kısa süreli darbelerle elektrot potansiyelini değiştirip bu değişikliğin neden olduğu akım tepkisini ölçen bir tekniktir. Bu yöntem, hızlı redoks reaksiyonlarını incelemek ve düşük konsantrasyondaki analiteleri tespit etmek için uygundur.

Döngüsel Amperometri (Cyclic Amperometry):

Döngüsel amperometri, potansiyeli belirli bir frekansta değiştirilerek elektrokimyasal sistemlerin akım tepkilerini inceleyen bir tekniktir. Bu yöntem, redoks reaksiyonların kinetiklerini ve difüzyon katsayılarını belirlemede kullanılır.

Bu modifiye voltametri yöntemleri, elektrokimyasal analizlerin belirli koşullarda daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar ve çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilecek esnek araçlar sunar.

Mikroskopi tabanlı yöntemler

Mikroskopi tabanlı analiz yöntemleri, malzeme ve yapıların mikroskop altında incelenmesini sağlayan çeşitli teknikleri içerir. Bu yöntemler, özellikle nanobilim, nanoteknoloji, biyoteknoloji ve malzeme bilimi alanlarında kullanılmaktadır. Mikroskopi tabanlı yöntemler aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir:

Optik mikroskopi

Işık Mikroskopisi veya optik mikroskopi, temel olarak görünür ışığın kullanıldığı bir inceleme yöntemidir. Bu mikroskop türü, geniş bir uygulama alanına sahiptir ve biyolojik örneklerin, malzemelerin ve birçok diğer nesnenin detaylı analizini sağlar.

Işık mikroskoplarının temel prensipleri, bir ışık kaynağından gelen ışığın bir örnek üzerine düşürülmesi ve bu ışığın lensten geçirilerek büyütülüp gözle görülebilir bir görüntü oluşturması üzerine kuruludur. Bu yöntem, genellikle biyolojik araştırmalarda kullanılır. Hücre, doku ve organizma seviyesindeki yapıları incelemek için idealdir.

Tıp ve sağlık bilimlerinde de yaygın olarak kullanılan ışık mikroskopları, mikroorganizmaların teşhisi, biyopsi analizleri ve kan örneklerinin incelenmesi gibi bir dizi tıbbi uygulamada önemli bir rol oynar. Bu, hastalıkların teşhisi ve tedavisi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Malzeme bilimi alanında, ışık mikroskopları malzemelerin yüzey özelliklerini, tanecik boyutlarını ve yapısal özelliklerini incelemek için kullanılır. Malzeme kalitesinin kontrol edilmesi ve üretim süreçlerinin izlenmesi gibi endüstriyel uygulamalarda da sıkça tercih edilir. Ancak optik mikroskopisi, nanomalzemelerin detaylı incelemesi için bazı sınırlamalara sahiptir. Geleneksel optik mikroskoplar, görünür ışığı kullanarak çalıştıkları için dalga boyu sınırlamalarıyla karşılaşılırlar. Nanomalzemelerin boyutları, ışığın dalga boyundan çok daha küçük olduğu için doğrudan gözlemlenmeleri zordur. Ayrıca, optik mikroskoplarının çözünürlüğü, nanomalzemelerin küçük ölçekli detaylarını ortaya çıkarmak için yetersiz kalabilir.

Nanomalzemelerin optik özellikleri, ışıkla etkileşimleri açısından da özel zorluklar sunar. Dağılma ve kırılma problemleri, nanomalzemelerin optik mikroskopisiyle görüntülenmesini karmaşık hale getirebilir. Nanomalzemelerin yüzey özellikleri de belirgin bir kontrasta sahip olmayabilir, bu da görüntüleme ve analiz süreçlerini güçleştirir.

Bu sınırlamalara rağmen, nanomalzemelerin karakterizasyonu için daha gelişmiş yöntemler kullanılmaktadır. Taramalı tünelleme mikroskopları (STM) veya atomik kuvvet mikroskopları (AFM) gibi nanoskopi teknikleri, nanomalzemelerin atomik veya moleküler düzeyde ayrıntılı bir analizini mümkün kılar. Bu yöntemler, nanomalzemelerin özelliklerini daha hassas bir şekilde inceleme imkanı sunar.

Elektron mikroskopları

Nanomalzeme yapısını incelemek için kullanılan elektron mikroskopları genellikle Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) olarak ikiye ayrılır. SEM, yüzey morfolojisini yüksek çözünürlükte incelemek ve görselleştirmek amacıyla kullanılan güçlü bir mikroskop tekniğidir. Bu teknik, özellikle nanoteknoloji, malzeme bilimi, biyoloji ve diğer birçok alanın araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. SEM'in temel çalışma prensibi, numunenin yüzeyini tarayan bir elektron demeti kullanmaktır. Elektron demeti, numunenin yüzeyine odaklanarak numuneden yansıyan, saçılan ve sekonder elektronlar gibi sinyalleri toplar. Bu sinyaller, detaylı yüzey topografisi hakkında bilgi sağlar. SEM, numunelerin ince bir metal tabaka ile kaplanmasını gerektirebilir, bu da daha iyi iletkenlik ve daha iyi görüntüleme sağlar.

SEM'in avantajları arasında geniş bir odak alanı, derin alan derinliği ve yüksek çözünürlük bulunmaktadır. Ayrıca, renk ekleyerek veya numuneyi belirli açılardan inceleyerek özel bilgiler elde etmek mümkündür. Bu nedenle, nanoteknolojiden malzeme bilimine, biyolojiden jeolojiye kadar birçok alanda yüzey morfolojisini anlamak ve görselleştirmek için güçlü bir araç olan SEM, araştırmacılar tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir.

Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM), nesnelerin atomik veya moleküler düzeyde ayrıntılı analizini yapabilen güçlü bir mikroskop tekniğidir. TEM, incelediği örnekten geçen elektron demetini kullanarak yüksek çözünürlüklü görüntüler elde eder. Bu sayede nanometre düzeyindeki özellikleri gözlemleyebilir ve malzeme bilimi, biyoloji ve nanoteknoloji gibi birçok alanda önemli keşiflere olanak tanır. TEM'in avantajları arasında yüksek

çözünürlük, büyük büyütme oranları ve örneklerin iç yapısını detaylı bir şekilde inceleme yeteneği bulunmaktadır.

Atomik güç mikroskobu

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), nanometre çözünürlükte yüzeyleri inceleyen güçlü bir mikroskop tekniğidir. Temelde bir kantilever adı verilen ince bir uç, örnek yüzeyine yaklaştırılır ve aralarındaki kuvvetler ölçülerek yüzeyin topografyası elde edilir.

AFM'nin çalışma prensibi şu adımları içerir:

Kantilever Yaklaşımı: AFM probu, örnek yüzeyine çok yaklaştırılır. Kantileverin ucunda genellikle mikron veya submikron boyutlarında bir koni veya silindir bulunur.

Kuvvet Etkileşimi: Kantilever, örnek yüzeyine yaklaştığında atomik kuvvetler arasındaki etkileşimler nedeniyle değişikliklere uğrar. Bu kuvvetler, van der Waals kuvvetleri, elektrostatik kuvvetler, kimyasal etkileşimler ve yaydanın elastik deformasyonu gibi çeşitli etkileşimlere dayanır.

Yansıma ve Algılama: Kantileverdeki değişiklikler, bir lazer ışını kullanılarak algılanır. Lazer ışını, kantileverin ucundaki küçük bir ayna tarafından yüzeye yansıtılır. Yansıyan ışının yerdeğiştirilmesi, kantileverin eğilmesine ve bu eğilmenin ölçülmesine yol açar.

Topografik Haritalama: Kantileverin konumu ve eğilimi, bilgisayar tabanlı bir sistem tarafından kaydedilir ve bu veriler kullanılarak örnek yüzeyinin topografik bir haritası oluşturulur. Bu,

nanometre çözünürlükte detaylı bir morfolojik analizi mümkün kılar.

AFM, biyoloji, malzeme bilimi, fizik, kimya ve nanoteknoloji alanlarında geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu teknik, yüzey özelliklerini, hücre morfolojisini ve nanomateryallerin yapılarını incelemek için yaygın olarak kullanılır.

Taramalı tünelleme mikroskobu

Taramalı Tünel Mikroskopu (STM), kuantum tünelleme olgusunu temel alarak çalışan bir mikroskop tekniğidir. Kuantum tünelleme, mikroskobik ölçekte parçacıkların bir enerji bariyeri boyunca geçebilme yeteneğini ifade eder. STM'nin temelinde, iğne ucu ve örnek arasında atomik bir boşluk bulunur ve bu boşluktan elektronlar kuantum tünelleme yoluyla geçer.

Kuantum tünelleme, iğne ucu ve örnek yüzeyi arasındaki mesafenin atomik düzeyde kontrolü ile ilgilidir. İğne ucu, örnek yüzeyine çok yaklaştırıldığında, elektronlar enerji bariyerini tünelleme eğiliminde oldukları için bu akım aniden artar. Bu durum, tünelleme akımındaki değişikliklere bağlı olarak iğne ucu ve örnek arasındaki atomik düzeydeki topografik değişimleri ölçme esasına dayanır.

STM, bu kuantum olayı sayesinde atom düzeyinde çözünürlük elde edebilir. Tünelleme akımındaki değişiklikler, örnek yüzeyindeki atomları ve yapıları belirlemek için kullanılır. Bu sayede, STM kuantum tünelleme prensibiyle, nanoteknoloji ve nanomaterial biliminde, atomik seviyede manipülasyon ve görselleştirmenin gerçekleştirilmesine olanak tanır. Kuantum

tünelleme, STM'nin nanodünyada çalışabilmesi ve atom düzeyinde detayları inceleyebilmesinin temelini oluşturur.

STM'in çalışma sistemini oluşturan unsurlar aşağıdaki gibi incelenebilir:

İğne ve Yüzey Arasındaki Tünelleme Akımı: STM'nin ucu, bir sivri uç ve bu ucu destekleyen bir iğne içerir. İğne ve örnek arasındaki mikroskobik bir boşluğa tünelleme akımı uygulanır. Kuantum tünelleme olayı, bu akımın iğne ucu ve örnek arasındaki boşluktan geçmesini sağlar.

Uç ve Yüzey Arasındaki Mesafe Kontrolü: İğne ucu, örnek yüzeyine yaklaştırılır veya uzaklaştırılır. Tünelleme akımı, uç ve yüzey arasındaki mesafeye duyarlıdır; bu nedenle, bu mesafe kontrolü, tünelleme akımının sabit tutulmasını sağlar.

Sürüklenme Hareketi ve Tarama: İğne ucu, örnek yüzeyi üzerinde belirli bir yönde hareket ettirilir. Tünelleme akımı sürekli olarak ölçülerek, uçtan geçen akımın yoğunluğundaki değişiklikler kaydedilir. Bu veriler, yüzeyin topografik özelliklerini belirlemek için kullanılır.

Topografik Görüntüleme: STM, elde edilen tünelleme akımı verilerini analiz ederek örnek yüzeyinin topografik bir haritasını oluşturur. Bu harita, atom düzeyinde yüzey detaylarına ve yapılarına dair bilgiler sağlar.

X-ışını yöntemleri

X-ışınları malzeme içinde yayıldığında saçılır. Bu saçılma desenleri, malzemenin iç yapısı hakkında bilgi sağlar. Kristal yapıdaki malzemeler, X-ışınları tarafından saçıldığında belirli

desenler oluşturur, bu desenler X-ışını yöntemleri ile analiz edilmektedir. Bu yöntemler aşağıdaki başlıklar altında tanımlanmıştır.

X-ışını Kristalografisi (XRD):

X-ışını kristalografisi, kristal yapıdaki malzemelerin atomik düzeyde çözülmesini sağlayan bir yöntemdir. X-ışınları kristal örnekler üzerinden geçirilerek, kristal kafes yapısındaki atomların düzeni ve uzaklıkları belirlenir. Bu yöntem, malzemenin kristal yapısını, kristal boyutunu ve faz bileşimini anlamak için yaygın olarak kullanılır.

X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS):

X-ışını fotoelektron spektroskopisi, bir malzemenin yüzey bileşimini ve kimyasal durumunu incelemek için kullanılır. X-ışınları malzeme yüzeyine gönderilir ve bu yüzeyden çıkan fotoelektronların enerjileri ölçülerek malzemenin kimyasal bileşimi belirlenir. XPS, yüzey analizi, kimyasal durum değerlendirmesi ve katman kalınlığı ölçümleri için kullanılır.

X-ışını Tomografisi (XRT):

X-ışını tomografisi, bir nesnenin iç yapısını görüntülemek için kullanılan bir tekniktir. X-ışınları nesne üzerinden geçirilir ve farklı açılardan alınan görüntüler bilgisayar tarafından birleştirilerek üç boyutlu bir görüntü elde edilir. XRT, biyomedikal alanından malzeme bilimine kadar çeşitli uygulama alanlarına sahiptir ve iç yapısal analizlerde kullanılır.

Spektroskopi yöntemleri

Spektroskopi yöntemleri, malzemelerin elektromanyetik radyasyonla etkileşimini değerlendirerek çalışır. Bu yöntemler, malzemenin atomik, moleküler veya kristal yapılarından kaynaklanan özel enerji seviyelerindeki değişiklikleri ölçer. Temel olarak, malzeme bir enerji kaynağı ile uyarılır ve bu uyarılma sonucunda malzemenin emisyon, saçılma, absorpsiyon veya yansıma özellikleri belirlenir. Bu özellikler, malzemenin bileşimini, yapısını, elektronik durumunu veya diğer fiziksel özelliklerini anlamak için kullanılır.

Ultraviyole-Görünür (UV-Vis) Spektroskopi:

UV-Vis spektroskopisi, malzemenin UV ve görünür bölgedeki ışığı absorbe etme özelliğini değerlendirir. Bu yöntemle malzemenin elektronik yapıları ve renk özellikleri belirlenebilir. UV-Vis, çeşitli alanlarda, özellikle biyokimya ve organik kimya çalışmalarında yaygın olarak kullanılır.

Raman Spektroskopisi:

Raman spektroskopisi, malzemenin inelastik saçılma özelliğini kullanarak moleküler titreşim ve rotasyonları analiz eder. Malzemenin kimyasal bağlarını, kristal yapılarını ve moleküler yapılarını belirlemek için kullanılır. Farklı dalga boylarındaki saçılma paternleri, özellikle karbon bazlı malzemelerin karakterizasyonunda önemlidir.

Fourier Dönüşü Infrared (FTIR) Spektroskopisi:

FTIR spektroskopisi, malzemenin kızılötesi bölgedeki ışığı absorbe etme özelliğini inceler. Moleküler titreşimler, malzemenin kimyasal grupları, bağlanma türleri ve kompozisyonu hakkında

bilgi sağlar. Polimerler, organik moleküller ve biyolojik örneklerin karakterizasyonunda sıkça kullanılır.

Fotolüminesans (FL):

Fotolüminesans, bir maddeye uygulanan ışık enerjisinin emilimi sonucu madde tarafından yayılan ışık olarak tanımlanır. Bir maddenin uyarılmasının ardından, bu uyarılma enerjisinin bir kısmı geri salınarak gözlemlenebilir bir ışık yayma sürecidir. Floresans, özellikle görünür ışık bölgesinde gerçekleşen bu tür bir fotolüminesans örneğidir. Floresan maddeler, uygulanan ışığı emer ve daha yüksek enerjili bir ışık yayarak, genellikle gözle görülebilen renkli bir parlaklık oluşturur. Fotolüminesans, floresan malzemelerin bu özelliğini ifade eden genel bir terimdir.

Termolüminesans (TL):

Termolüminesans, bir malzemenin önceden absorbe ettiği radyasyon enerjisinin, ısı uygulandığında serbest bırakılması esasına dayanan bir luminesans türüdür. Bu, bir malzeme önce bir enerji kaynağından (genellikle ışık) enerji absorbe eder, ardından ısı uygulandığında bu enerjiyi serbest bırakarak ışık yayarlar.

Nanomalzeme katkılı biyosensörler

Biyosensörlerde kullanılan malzemeleri; değerli metaller, metal oksit tabanlı malzemeler, karbon tabanlı malzemeler ve polimer malzemeler olarak 4 grupta incelenebileceğinden bahsetmiştik. Literatürdeki güncel çalışmalar incelenerek, nanolifler

ve nanomalzemelerin doğrudan ya da katkılandırılarak kullanılmasıyla yapılan bazı çalışmalar göz önüne alındığında, bu

çalışmalar nanomalzemelerin biyosensörlerdeki rolü hakkında fikir vermektedir.

Değerli metal malzemelerin kullanılmasıyla yapılan bazı çalışmalar Tablo 1’de gösterilmiştir. Luo ve ekibi tarafından yapılan bir çalışmada Altın nanoparçacıklar (Au NP) ve lipoprotein tespiti için kullanılmıştır (Luo vd., 2024). Ezzat ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise Grafen ve Au NP lerin kullanılmasıyla geliştirilen bir biyosensör glukoz tespiti için kullanılmıştır (Ezzat vd., 2023).

Tan ve ekibi tarafından yapılan bir çalışmada ise altının fiberler haline getirilerek 5,5'-dithio-bis-(2-nitrobenzoic acid) (DTNB), 6-carboxyl-Xrhodamine (ROX) ve DNA H1 ile katkılanmasıyla elde edilen bir biyosensör microRNA tespiti için kullanılmıştır (Tan vd., 2024).

Yin ve ekibi ise platin (Pt) matrisli MIL-53(Fe) katkılı bir biyosensörü cotinin analitini tespit etmek için kullanmış ve 0.0092 ng/mL gibi düşük konsantrasyonlarda da başarılı sonuçlar vermiştir.

Tablo 1. Değerli metallerin kullanıldığı bazı biyosensör çalışmaları

Malzeme	Katkı	Ölçüm	Analit	Alt sınır	Referans
Au Np	Poli(oATP)	LSV	Lipoprotein	3.25 ng/mL	(Luo vd., 2024)
Au NP	Grafen	SEM, Raman, XRD, FTIR	Glukoz	0.09 mM	(Ezzat vd., 2023)
Spindle-shaped Au	5,5'-dithio-bis-(2-nitrobenzoic acid) (DTNB), 6-carboxyl-Xrhodamine (ROX), DNA H1	Surface-enhanced Raman Scattering (SERS)	microRNA 21 (miR-21)	0.046 pM	(Tan vd., 2024)
Pt	MIL-53(Fe)	CV, DPC, EIS	Cotinin	0.0092 ng/mL	(Yin vd. 2023)

Tablo 2’de verilen, metal oksitlerin kullanıldığı biyosensör çalışmaları göz önüne alınacak olursa, Maltora ve Kaushik tarafından yapılan bir çalışmada kitosan (CHIT) ve İndiyum kalay oksit (ITO) matrisli bir biyosensöre kolestrol oksidaz ve seryum dioksit (CeO₂) katkılandırılarak 5mg/dL algılama alt limitiyle kolestrolün tespiti sağlanmıştır (Maltora ve Kaushik, 2009). Tyagi ve ekibi tarafından yapılan bir çalışmada ise yine ITO’un NiO ile katkılandırılmasıyla ürenin 0,83 mM alt algılama sınırında tespiti sağlanmıştır (Tyagi vd. 2013). Mogha ve ekibinin yaptığı bir diğer çalışmada ise grafen oksit ve zirkonyum dioksit (ZrO₂) matrisli yapının Asetilkolinesteraz (AChE) ile katkılandırılmasıyla Klorpyrifosun 0,1 pM alt algılama sınırıyla tespit edilmesi sağlanmıştır (Mogha vd., 2016)

Tablo 2. Metal oksit tabanlı malzemelerin kullanıldığı bazı biyosensör çalışmaları

Malzeme	Katkı	Ölçüm	Analit	Alt sınır	Referans
CHIT, İndiyum-kalay oksit (ITO),	Kolestrol oksidaz (ChOx), CeO ₂	FTIR, SEM, XRD, I-V	Kolesterol	5 mg/dL	(Maltora ve Kaushik, 2009)
ITO	NiO	CV, UV-Vis	Üre	0,83 mM	(Tyagi vd. 2013)
Grafen oksit, ZrO ₂	Asetilkolinesteraz (AChE)	XRD, Raman, Fesem, CV	Klorpyrifos	10 ⁻¹³ M	(Mogha vd., 2016)

Karbon tabanlı malzemeler de biyosensörlerde oldukça kullanım alanına sahiptir. Karbon nanotüplerin yüksek poröz yapısı, grafenin dayanıklı ve ultra ince yapısı gibi avantajlar da biyosensörlerde tercih edilmelerini sağlamaktadır. Karbon malzemelerin kullanıldığı bazı çalışmalar Tablo 3’te yer almaktadır. Lei ve ekibi tarafından yapılan bir çalışmada NO₂-

tespiti için çok katmanlı katbon nanotüpler (MWCNT) kullanılmış ve 0,4 μM alt sınırında tespiti sağlanmıştır (Lei vd. 2020). Yue ve ekibinin yaptığı bir çalışmada ise grafen köpük yapının Au Np ve ZnO ile katkılandırılmasıyla dopaminin 0,04 μM alt sınırında tespiti gözlemlenmiştir (Yue vd. 2019). Mandal ve ekibinin yaptığı bir çalışmada ise karbon mikromekanik sistemlerin (C-MEMS) gümüş nanoparçacık (AgNP) ile katkılandırılması, Prostat spesifik antijeninin (PSA) 1pg/mL alt sınırıyla tespitini mümkün kılmıştır (Mandal vd. 2023). Karimi ve Erk tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise tek katmanlı karbon nanotüplerin (SWCNT) Pt, Pd ve ZnO ile katkılandırılması sağlanarak vinoelbin antikanser ilacının 0.05 μM çözünürlükte izlenmesi sağlanmıştır (Karimi ve Erk 2023).

Tablo 3. Karbon tabanlı malzemelerin kullanıldığı bazı biyosensör çalışmaları

Malzeme	Katkı	Ölçüm	Analit	Alt sınır	Referans
MWCNT	Co-MOF & Au NP	EIS	NO ₂ -	0,4 μM	(Lei vd. 2020)
Grafen köpük	Au Np, ZnO	Raman, XRD, CV	Dopamin	0,04 μM	(Yue vd. 2019)
(C-MEMS)	Ag Np	EIS, CV	Prostate-specific Antigen (PSA)	1 pg/mL	(Mandal vd. 2023)
SWCNT	Pt-Pd-ZnO	DPV	Vinorelbin antikanser ilacı.	0.05 μM	(Karimi ve Erk 2023)

Çok fazla çeşitliliğe sahip olması ve çeşitli malzemelerin katkılandırılmasıyla esnek özellikler kazandırılabilen polimer malzemeler de biyosensör çalışmalarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Polimer malzemelerin nanometrik uygulamalarıyla biyosensörlerde yer aldığı bazı çalışmalara Tablo 4'te yer verilmektedir.

Gokçe ve ekibinin yaptığı bir çalışmada poliüretan matris yapıya P3ANA katkılandırılmasıyla Salmonella spp. DNA hedeflerinin tespiti sağlanmıştır (Gokce vd. 2018). Li ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise PEI ve CHIT matris yapısına CaCO₃ ve Fe katkılandırılarak tetrasiklin analitinin 0.03 ng/mL alt sınırında algılandığı gözlemlenmiştir. Zhu ve ekibi, PVA ve PEI matrislerin Ag NP ile katkılandırılarak 5 µM alt sınırına kadar hidrojen peroksit (H₂O₂) ve glutatyon (GSH) yanı sıra glikoz tespit etmeyi başarmıştır (Zhu vd. 2013). Koçoğlu ve ekibinin yüksek bağlayıcı ve film oluşturma özelliği bulunan poliglutamik asidi karbon nanofiberlerle katkılandırarak 9.1×10^{-8} M alt algılama sınırında tyramin tespiti gerçekleştirmiştir (Koçoğlu vd. 2024). Filiz ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise CHIT ve PVA nanofiberleri GOx ve Hardal peroksidaz ile katkılandırılarak 2,7 mM alt algılama limitiyle glikozun tespitini gerçekleştirmişlerdir.

Tablo 4. Polimer tabanlı malzemelerin kullanıldığı bazı biyosensör çalışmaları

Malzeme	Katkı	Ölçüm	Analit	Alt sınır	Referans
poliüretan	P3ANA	EIS, SEM	Salmonella spp. DNA hedefleri	-	(Gokce vd. 2018)
PEI, CHIT	CaCO ₃ , Fe	SERS, XRD, SEM FTIR, XPS, TEM	Tetrasiklin	0.03ng/mL	(Li vd. 2023)
PVA, PEI	Ag Np	TEM, FESEM, CV	H ₂ O ₂ , Glutatyon (GSH), Glikoz	5 µM	(Zhu vd. 2013)
Poliglutamik asit	Karbon nanofiber	SEM, CV	Tyramin	9.1×10^{-8} M.	(Koçoğlu vd. 2024)
CHIT, PVA nanofiberler	GOx, Hardal peroksidaz	UV-Vis	Glikoz	2.7 mM	(Filiz vd. 2021)

Sonuç

Biyosensörler çeşitli analitlerin tespitinde eski geleneksel yöntemlere göre çok daha hızlı ve düşük maliyetli sonuçlar vermektedir. Sağladığı avantajlar sayesinde günümüzde çoğu sektörde yer bulan biyosensörler pazardaki payını günden güne arttırmakla birlikte birçok bilimsel araştırmaya da konu olmaktadır. Özellikle kimya ve fizik alanındaki yeni gelişmelerle nanomalzeme çeşitliliğinin artması ve yeni nano ölçekli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi de biyosensörlerin yeni özellikler ve avantajlar elde etmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, biyosensörlerin yapısında kullanılan nano ölçekli malzemeler ve nanofiberlerin sentez metotları, uygulama teknikleri, karakteristik analiz yöntemleri ve biyosensörlerde kullanıldığı çalışmalar incelenmiş ve biyosensörlere sağladıkları özellikler irdelenmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde nano ölçekli malzemelerin katkılılandırılmasının ve nanofiber yapıların kullanılmasının biyosensörlere esneklik, geniş yüzey alanı ve daha iyi algılama limiti gibi avantajlar kazandırıldığı görülmektedir.

Nanomalzemelerin ve nanofiberlerin sağlamış olduğu avantajlar göz önüne alındığında, nanoteknolojinin biyosensörlere yeni özellikler kazandırmaya devam edeceği ve biyosensörlerdeki kullanım payının artacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

(Das vd. 2022) Das, T. R., Patra, S., Govender, P. P., & Shukla, S. K. (2022). Biosensors: principle, fundamentals history, recent trends and applications. *Biosensors for Emerging and Re-Emerging Infectious Diseases*, 1–18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88464-8.00010-5>

(Ezzat vd., 2023) Ezzat, M., Rashed, A. E., Sabra, S. A., Haroun, M., & El-Moneim, A. A. (2023). Fully inkjet-printed graphene/gold nonenzymatic biosensor for glucose detection. *Materials Today Communications*, 37, 107549. <https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2023.107549>

(Filiz vd. 2021) Coşkuner Filiz, B., Basaran Elalmis, Y., Bektaş, İ. S., & Kantürk Figen, A. (2021). Fabrication of stable electrospun blended chitosan-poly(vinyl alcohol) nanofibers for designing naked-eye colorimetric glucose biosensor based on GOx/HRP. *International Journal of Biological Macromolecules*, 192, 999–1012. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.10.048>

(Gokce vd. 2018) Guler Gokce, Z., Akalın, P., Kok, F. N., & Sarac, A. S. (2018). Impedimetric DNA biosensor based on polyurethane/poly(m-anthranilic acid) nanofibers. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 254, 719–726. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2017.07.136>

(Karimi ve Erk 2023) Karimi-Maleh, H., & Erk, N. (2023). A DNA biosensor strategy in monitoring of Vinorelbine breast cancer drug using catalytic effect of Pt–Pd–ZnO/SWCNTs. *Environmental Research*, 239, 117338. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.117338>

(Kim vd. 2023) Kim, E. R., Joe, C., Mitchell, R. J., & Gu, M. B. (2023). Biosensors for healthcare: current and future perspectives. *Trends in Biotechnology*, 41(3), 374–395. <https://doi.org/10.1016/J.TIBTECH.2022.12.005>

(Lei vd. 2020) Lei, H., Zhu, H., Sun, S., Zhu, Z., Hao, J., Lu, S., Cai, Y., Zhang, M., Du, M. (2020). Synergistic integration of Au nanoparticles, Co-MOF and MWCNT as biosensors for sensitive detection of low-concentration nitrite. *Electrochimica Acta*, 137375. doi:10.1016/j.electacta.2020.137375,

(Li vd. 2023) Li, H., Geng, W., Qi, Z., Ahmad, W., Haruna, S. A., & Chen, Q. (2023). Stimuli-responsive SERS biosensor for ultrasensitive tetracycline sensing using EDTA-driven PEI@CaCO₃ microcapsule and CS@FeMMs. *Biosensors and Bioelectronics*, 226, 115122. <https://doi.org/10.1016/J.BIOS.2023.115122>

(Maltora ve Kaushik, 2009) Malhotra, B. D., & Kaushik, A. (2009). Metal oxide–chitosan based nanocomposite for cholesterol biosensor. *Thin Solid Films*, 518(2), 614–620. <https://doi.org/10.1016/J.TSF.2009.07.036>

(Mandal vd. 2023) Mandal, N., Mitra, R., & Pramanick, B. (2023). Bio-synthesized silver nanoparticle modified glassy carbon electrode as electrochemical biosensor for prostate specific antigen detection. *Carbon Trends*, 13, 100315. <https://doi.org/10.1016/J.CARTRE.2023.100315>

(Mogha vd., 2016) Mogha, N. K., Sahu, V., Sharma, M., Sharma, R. K., & Masram, D. T. (2016). Biocompatible ZrO₂-reduced graphene oxide immobilized AChE biosensor for

chlorpyrifos detection. *Materials & Design*, *111*, 312–320.
<https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2016.09.019>

(Mohanty ve Koungianos 2006) Mohanty, S. P., & Koungianos, E. (2006). *Biosensors: a tutorial review*. *IEEE Potentials*, *25*(2), 35–40. <https://doi.org/10.1109/mp.2006.1649009>

(Luo vd., 2024) Luo, R., Li, J., Huang, G., Li, G., Guo., S., Yuan, Y., (2024). Electrochemical Biosensor for the detection of low density lipoprotein based on gold nanoparticles mediated bi-enzymes catalytic silver deposition reaction. (2024). *Microchemical Journal*, 109927.
<https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2024.109927>.

(Tan vd., 2024) Tan, H.-S., Wang, T., Han, J.-M., Liu, M., & Li, S.-S. (2024). Dual-signal SERS biosensor based on spindle-shaped gold array for sensitive and accurate detection of miRNA 21. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *403*, 135157.
<https://doi.org/10.1016/J.SNB.2023.135157>

(Tyagi vd. 2013) Tyagi, M., Tomar, M., & Gupta, V. (2013). NiO nanoparticle-based urea biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, *41*(1), 110–115.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOS.2012.07.062>

(Yin vd. 2023) Yin, M., Lin, H., Zhang, L., Wei, X., Sun, Y., Luo, Y., Yang, H., Deng, C., & Xu, D. (2023). Antibody-assisted MIL-53(Fe)/Pt-based electrochemical biosensor for the detection of the nicotine metabolite cotinine. *Bioelectrochemistry*, *153*, 108470.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOELECTHEM.2023.108470>

(Yue vd. 2019) Yue, H. Y., Zhang, H. J., Huang, S., Lu, X. X., Gao, X., Song, S. S., Wang, Z., Wang, W.Q., Guan, E. H. (2019). Highly sensitive and selective dopamine biosensor using Au nanoparticles-ZnO nanocone arrays/graphene foam electrode. *Materials Science and Engineering: C*, 110490. doi:10.1016/j.msec.2019.110490

(Zhu vd. 2013) Zhu, H., Du, M. L., Zhang, M., Wang, P., Bao, S. Y., Wang, L. N., Fu, Y. Q., & Yao, J. M. (2013). Facile fabrication of AgNPs/(PVA/PEI) nanofibers: High electrochemical efficiency and durability for biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 49, 210–215. <https://doi.org/10.1016/J.BIOS.2013.04.016>

BÖLÜM VI

Buzlu İzolatörlerde Atlama Olayının Yapay Zekâ Teknikleri ile İncelenmesi

Muhammed Buğracan ÖZKÜÇÜK¹
Muhsin Tunay GENÇOĞLU²
Ömer Faruk ALÇİN³

1. Giriş

İzolatörler elektrik iletim ve dağıtım hatlarında, hem iletkenleri taşımaya hem de toprak ile diğer iletkenlere karşı izole etmeye yarayan elemanlardır. İzolatörlerin elektriksel özellikleri, güç sistemlerinin güvenliğinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Elektrik güç sistemleri buz yükü, rüzgâr yükü vb. mekanik kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Fakat farklı iklimlerde

¹ Arş. Gör., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya/Türkiye, Orcid: 0000-0002-1466-2502, bugracan.ozkucuk@ozal.edu.tr

² Prof. Dr., Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ/Türkiye, Orcid: 0000-0002-1774-1986, mtgencoglu@firat.edu.tr

³ Doç. Dr., İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Malatya/Türkiye, Orcid: 0000-0002-2917-3736, omer.alcin@inonu.edu.tr

ve kış koşullarında elektrik yalıtımı için standartlara dayalı bir tasarım süreci yoktur. Dünya'nın birçok yerinde havai elektrik hatları buzlanmadan etkilenmekte, bazen ciddi arızalara ve büyük sosyoekonomik sonuçları olan hasarlara yol açmaktadır.

İletim hatlarının buzlanması sorunu, izolatör yüzeyine düşen aşırı soğumuş su damlacıklarının neden olduğu yalıtkan yüzeyinin köprülenmesi nedeniyle izolatör eteğinin elektrik alan dağılımının bozulmasından kaynaklanan bir sorundur. Buz ve karla kaplı izolatörlerde meydana gelen atlamalar, bir dizi faktörün kombinasyonundan kaynaklanmaktadır. İzolatörlerde buzlanmadan kaynaklanan atlama, hava sıcaklığındaki değişiklikler, buz türü ve buzun yapısı dâhil olmak üzere bazı çevresel ve meteorolojik koşullardan da etkilenmektedir. Donma ve erime işlemi sırasında yüzey kirliliğinin varlığı ve iyonların katıdan sıvı tabakalara geçtiği andaki durumları, en olumsuz koşullar altında normal çalışma geriliminde meydana gelebilecek izolatörlerin buzlanmasında da merkezi bir rol oynamaktadır.

Atmosferik buzlanma yaşayan Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Rusya, Norveç ve Çin gibi birçok ülkede iletim hatlarında şiddetli kar ve buzlanmadan dolayı yoğun enerji kesintileri yaşanmıştır. Bu nedenle araştırmacılar, atmosferik buzlanma ve bu olayın elektrik hatlarına olan zararları üzerine birçok çalışma yapmış, tartışmış ve izolatörlerin atlaması ile ilgili arızaları içeren olayları bildirmiştir. Bu raporlara göre, yağışların buzlanması sırasında ve buz veya kar birikmesinin ardından hava sıcaklığının 0 °C'nin üzerine çıkmasıyla, erime durumu ile birlikte atlama olaylarının sayısı artmaktadır. Uluslararası Yapıların Atmosferik Buzlanması Çalıştayı (IWAIS) gibi özel

konferanslarda, 1982'den beri bu konuya ayrılmış oturumlar düzenlenmektedir. Panel oturumları ve sunumlar, ayrıca ISH (Uluslararası Yüksek Gerilim Mühendisliği Sempozyumu), ICHVE (Uluslararası Yüksek Gerilim ve Uygulama Konferansı) ve IEEE Elektrik Yalıtımı Konferansı vb. yüksek gerilim ve yalıtım konulu konferanslar da düzenli olarak gerçekleştirilmektedir. Soğuk iklim ortamlarında ekstra yüksek gerilimli (EYG) havai hatlarının yaygın kullanımı ve ultra yüksek gerilim (UYG) mühendisliğinin zorlukları göz önüne alındığında, IEEE tarafından son zamanlarda buzlanmaya maruz kalan izolatörlerin test edilmesi, tasarlanması ve seçilmesine yönelik kılavuzlar önerilmiştir (Özküçük & Gençoğlu, 2023).

İzolatörlerde buzlanma ile ilgili yapılan çalışmalarda, izolatörlerin özellikleri (izolatör tipi, eleman sayısı ve malzemesi), buzun özelliği (saçak uzunluğu, kalınlığı, buzlanma tipi, buzlanma açısı ve sıvının iletkenliği), uygulanan gerilimin türü ve şiddeti, izolatörün kirlilik derecesi, elektrik alanın buzlanma üzerine etkisi, izolatörün bulunduğu ortamın çevresel özellikleri (rüzgâr yönü, rüzgâr şiddeti ve hava basıncı) vb. büyüklükler parametre olarak kullanılmıştır.

Son yıllarda gelişmekte olan teknoloji ile birlikte izolatörlerde buzlanma ile gelişen olumsuz durumların çözümü için yapay zekânın kullanımı artarak güç sistemlerinde kullanılan birçok geleneksel yöntemin yerini almıştır. Yapay zekâ, buzlu izolatörlerin performansını optimize etme ve güvenilirliğini artırma konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Yapay zekâ teknikleri, buzlu izolatörlerin işlevselliğini etkileyen çeşitli parametreleri analiz ederek, özellikle buzlanma riski gibi faktörlere odaklanarak

daha etkili çözümler geliştirmeye olanak tanır. Bu bağlamda, yapay zekâ destekli sensör sistemleri ve tahmin modelleri, izolatörlerin donma olasılığını öngörmek ve bu duruma uygun önleyici tedbirleri almak için kullanılabilir. Böylece, yapay zekâ ile entegre edilen buzlu izolatörler, enerji iletim hatlarının güvenilirliğini artırarak daha sürdürülebilir enerji altyapılarına katkıda bulunabilir.

2. Buzlu İzolatörlerin Atlaması için Faktör Analizi

İzolatörlerde buzlanmadan kaynaklı atlamaları etkileyen faktörler hakkında, Dünya çapındaki birçok enerji nakil hattı şirketi, üniversiteler ve enstitüler çok sayıda çalışma yürütmüştür. Doğal ortamlarda izolatör buzlanmasının öngörülemezliği göz önüne alındığında, buzlanma atlamalarına ilişkin mevcut araştırmaların çoğu yapay iklim odalarında veya deney üslerinde yapılmıştır (Farzaneh & Chisholm, 2014).

Tablo 1’de gösterildiği gibi buzlanma türü, buzlanma derecesi, buz saçağının uzunluğu, kirlilik durumu, izolatör özellikleri, hava basıncı vb. faktörlerin tümü buzlu izolatörün atlaması üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Zhu & ark., 2021).

Tablo 1. Buzlanma atlamalarını etkileyen faktörler

Etkileyen faktörler	Faktörlerin analizi
Buzlanma türü	Sır ve sert kırağının atlama riski, yumuşak kırağınınkinden daha yüksek olmaktadır.
Buzlanma derecesi	Daha şiddetli buzlanma derecesi, daha eşit olmayan bir gerilim dağılımına ve daha yüksek buzlanma atlama riskine neden olmaktadır.
Buzun saçak uzunluğu	Daha uzun buz saçağı, daha yüksek buzlanma atlaması riskine neden olmaktadır.
Buzun ve buz yüzeyinin iletkenliği	İzolatörün daha yüksek kirlilik derecesi, buzlanma atlama riskinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır.
İzolatör özellikleri	Daha uzun izolatör dizisi, buzlanma atlama geriliminin daha yüksek olmasına neden olmaktadır. İzolatör tipi ve malzemesi ayrıca izolatör buzlanma atlaması üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.
Yükseklik ve hava basıncı	Yüksek irtifa ve düşük hava basıncı buzlanma atlaması riskinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

Atlama riskinde önemli farklılıklara yol açan çeşitli izolatör buzlanma türleri nedeniyle buzlanma büyüme süreçleri, yapısal morfoloji ve erime sırasında iletken iyonun çökme kuralları açısından büyük farklılıklar vardır. Tüm buzlanma türleri arasında sır ve sert kırağı (karışık kırağı) yüksek buzlanma yoğunluğuna, kompakt yapıya, güçlü yapışmaya, hızlı büyümeye ve buz saçağı köprüsü oluşturmaya daha yatkındır. Deneysel sonuçlar ayrıca sır

ve sert kırağı buzlanmasının en riskli buzlanma türleri olduğunu ve en yüksek frekansta izolatörlerin atlamasına neden olduğunu göstermektedir. Yumuşak kırağı genellikle havanın nem içeriği ve sıcaklığının daha düşük olduğu özel bir ortamda oluşmaktadır. Yumuşak kırağının yapısı gevşek dokuludur, zayıf yapışma ve yavaş büyüme hızına sahip gözenekli beyaz buzlanma dallarından oluşmaktadır ve buz saçağı köprüsü oluşması kolay değildir. Sır ve sert kırağıyla karşılaştırıldığında, yumuşak kırağının neden olduğu buzlanma atlama kazalarının sıklığı biraz daha düşüktür (Hu & ark., 2020a ; Hu & ark., 2020b).

İzolatörler üzerinde biriken atmosferik buzlanma genellikle çok hafif, hafif, orta ve ağır derecelere ayrılmakta ve farklı derecelerin, buzlu izolatörlerde atlama gerilimi üzerinde farklı etkileri olmaktadır. İlgili çalışmalar, daha şiddetli buzlanma derecesinin izolatörler üzerindeki gerilim dağılımının daha da dengesiz olmasına neden olacağını, bunun da sürekli bir köprü oluşumuna ve donma ve erime süreci sırasında daha yüksek bir atlama olasılığına yol açacağını göstermiştir. Ayrıca, deneysel sonuçlar buzlanma miktarının artmasıyla izolatörün atlama geriliminin azalacağını, ancak sonunda doyuma yaklaşacağını göstermektedir (Jiang & ark., 2014 ; Zhang & ark., 2009).

Islak büyümenin neden olduğu buz sarkıtının dikey büyüme hızı, yatay büyüme hızından çok daha büyüktür. Bu durum izolatör etek aralığının buz sarkıtları ile kolayca köprülenmesine yol açmaktadır. Buz saçağı yapısı, özellikle buz saçağının büyümesi ve erimesi sırasında izolatörün elektrik alanında ciddi bir bozulmaya neden olmaktadır. Böylelikle yalıtım gücü zayıflamakta ve buzun kolayca atlamasına neden olmaktadır. Literatürde farklı

morfolojiye sahip atmosferik buz saçağının atlama süreci üzerine derinlemesine çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlar, izolatör buz saçağının ucundaki korona deşarjının gücünün ve buzlanma atlama riskinin esas olarak buz saçağı uzunluğundan ve buzlanmanın su iletkenliğinden etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, kritik köprüleme koşulu altında, buz saçağının erimesinden kaynaklanan izolatör atlamasının meydana gelme olasılığı daha yüksektir (Zhang & ark., 2020 ; Deng & ark., 2015).

Buzlanma katmanındaki iletken iyonlar esas olarak su damlacıklarından ve buzlanma öncesindeki izolatör kirliliğinden gelmektedir. Bunlar izolatör kaçak akımının artmasında ve atlamanın oluşmasında merkezi bir rol oynamaktadır. İzolatör dizisi temiz durumda olduğunda ve buzlu suyun iletkenliği 10 mS/cm'den az olduğunda, buzlanma katmanı daha düşük bir kirlilik derecesine sahip olacaktır. Fakat bu da izolatörün minimum atlama gerilimini büyük ölçüde azaltamayacaktır. Ancak damlayan suyun iletkenliği ve izolatör kirliliği arttıkça, buzlanmanın erime süresi boyunca izolasyon mukavemeti hızla düşmekte ve sonunda doygun hale gelmektedir (Farzaneh, 2008).

İzolatör tipi, eleman sayısı, yerleşim düzeni, malzeme vb. faktörler de izolatörlerde buzlanma atlaması üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Özellikle buzlanma derecesi ciddi olmadığında, buzlu izolatörün atlama dayanım gerilimi izolatör dizilerinin uzunluğunun artmasıyla artacaktır ve ilişki eğrisi yaklaşık olarak doğrusaldır. Ancak buzlanma derecesi yoğunlaştıkça yukarıdaki ilişki yavaş yavaş doyuma ulaşmaktadır. Yani, aşırı uzun izolatör dizisi şiddetli buzlanma derecesi için atlama geriliminde önemli bir artışa neden olamaz. Ayrıca aynı buzlanma ve gerilim seviyesinde

kompozit izolatörün buzlanmadan etkilenmesinin cam ve porselen izolatörlere göre daha kolay olduğu görülmektedir (Zhu & ark., 2021).

Elektron çarpışma iyonizasyon teorisi ve ilgili deneysel sonuçlar, yüksekliğin ve hava basıncının da buzlanma atlaması üzerinde belirli bir etkiye sahip olacağını göstermiştir. Daha yüksek rakım ve daha düşük hava basıncı, buzlu izolatörün atlama riskinin artmasına neden olmuştur (Rizk & Rezazada, 1997).

2.1. Buzlanma Türü

Atmosferik buzlanma, suyun çeşitli şekillerde donduğu ve açıkta kalan bir nesnenin yüzeyine yapıştığı durumdur. İzolatörlerde buzlanma ve atlama ile ilgili olaylar, atmosferik buzlanma süreci ve meteorolojik yönleri incelenmeden anlamlı bir şekilde açıklanamaz. Bu yüzden izolatör üzerinde gerçekleşen buzlanma türlerinin incelenmesi gereklidir.

İzolatörlerin kuru büyüme buzlanması genellikle düşük sıcaklık ve yüksek rüzgâr hızı koşullarında meydana gelmektedir. Düşük sıcaklık ve yüksek rüzgâr hızı, havadaki su damlacıklarının izolatörlerle çarpıştıktan sonra hızlı donmasını sağlamaktadır. Donmanın hızlı gerçekleşmesi su damlacıklarının birbirine bağlanarak su filmi oluşturmasını engellemektedir. Şekil 1'de izolatör yüzeyi donduktan sonra, çarpışan su damlacıklarının dağılmış buz parçacığı haline gelmesi görülmektedir (Han & Jiang, 2021).

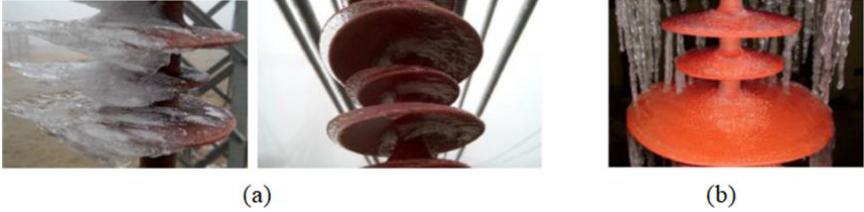


Şekil 1. İzolatör üzerinde kuru büyüme buzlanması

Bu buzlanma tipinde, opak beyaz buz, izolatörün rüzgâr tarafında kabarık bir şekilde birikir ve buzlanma yoğunluğu nispeten azdır. Buz yüzeyi kuru ve pürüzlü olup su filmi oluşmaz. Buzlanma hızı çarpışmaya ve damlacıkların yakalama verimliliğine bağlıdır, ancak donma verimliliği ile ilgisi yoktur. Buz, su damlacıklarının çarpışmasının tersi yönde büyümektedir.

İzolatörlerin ıslak büyüme buzlanması genellikle sıcaklık 0 °C'ye yakın olduğunda, havadaki sıvı su içeriği yoğun olduğunda ve rüzgâr hızı büyük olmadığında meydana gelmektedir. Su damlacıklarının tümü izolatör yüzeyine çarptıktan hemen sonra donmaz, bu nedenle donmamış damlacıklardan izolatör yüzeyinde bir su filmi oluşur. Şekil 2 (a) 'da gösterildiği gibi su filmi kalınlığı ince ise rüzgâr kuvveti ve yüzey geriliminin etkisi altında, su filmi akmaz veya çok yavaş akar (Han & Jiang, 2021). Su filmi izolatör eteklerinin kenarından dışarı akmadan önce tamamen donabilir,

bunun sonucunda izolatör eteklerinin kenarında büyüyen buz sarkıtları olmaz. Su filminin varlığı buz yüzeyini pürüzsüz hale getirir ve izolatörün rüzgâra bakan tarafında, yarı saydam bir yelpaze şeklinde birikir.



Şekil 2. İzolatör üzerinde ıslak büyüme buzlanması

Şekil 2 (b)'de görülen izolatörde, su filmi oldukça kalınsa ve su filminin donma hızı kalınlığının büyüme oranından daha fazla ise izolatör üzerindeki buzlanma, buz sarkıtlarıyla birlikte ıslak büyüyen buzlanmaya dönüşür. İzolatör yüzeyine çarpışan aşırı su damlacıkları bir anda donarak buza dönüşmemektedir. Yerçekimi etkisi altında su film kalınlığı belirli bir değere ulaştıktan sonra, izolatör eteklerinden aşağı doğru akar ve buz sarkıtlarının büyümesi gerçekleşir.

2.2. Buzlanma Derecesi

İzolatörlerde buzlanma olayının atlama olayına etkisinin en önemli faktörlerinden biri buzlanma derecesidir. Buzlanma dereceleri Tablo 2'deki gibi sınıflandırılmıştır (Farzaneh & Chisholm, 2009).

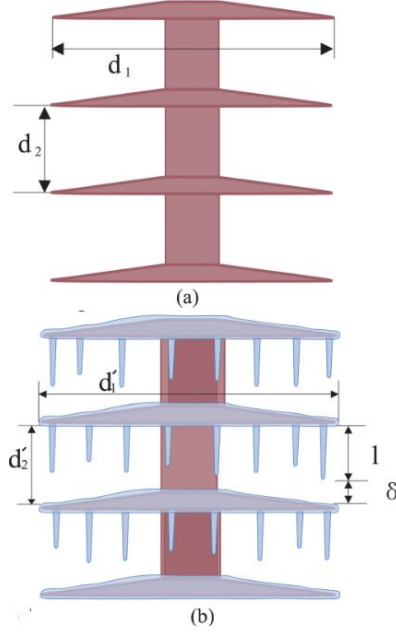
Tablo 2. Buzlanma dereceleri

Buz Birikme Seviyesi	Buz Birikimi Yaklaşık Seviyesi t	Dönen Silindirdeki Referans Buz Seviyesi	50 mm Etek Aralığı ile 300 mm Çaplı Mesnet İzolatör Üzerine Birikim	Standart Pin Tipi Zincir İzolatör (146 × 254 mm) Üzerine Birikim
Çok Hafif	< 2 mm	< 1 mm	Buz sarkıtları yok, tüm yüzeylerde ince iç katman	Buz sarkıtları yok, tüm yüzeylerde ince iç katman
Hafif	< 12 mm	< 6 mm	Buz sarkıtlarıyla kısmen köprülü	Buz sarkıtlarıyla kısmen köprülü
Orta	12 – 20 mm	6 – 10 mm	Buz sarkıtlarıyla tamamen köprülenmiş	Buz sarkıtlarıyla kısmen köprülü
Ağır	> 20 mm	> 10 mm	Buz sarkıtlarıyla tamamen köprülenmiş	Buz sarkıtlarıyla tamamen köprülenmiş

2.3. Buzun Saçak Uzunluğu

Buz sarkıtları ıslak büyüme buzlanmasının sonucudur. Genellikle donan yağmur ve çiseleme gibi ortam sıcaklığının 0° C'ye yakın olduğu ve hava akımının sıvı su içeriğinin yüksek

olduğu durumlarda oluşmaktadır. Şekil 3'te, izolatörün buzlanma büyümesinden önceki ve sonraki yapısı yer almaktadır (Zhu & ark., 2019).



Şekil 3. (a) Buzlanma birikiminden önce (b) buzlanma durumunda izolatörün şematik diyagramı

Şekil 3 (a)'da gösterildiği gibi izolatör eteğinin çapı d_1 ve etek aralığı d_2 'dir. Belirli iklim koşulları altında, hava akımı tarafından tahrik edilen aşırı soğutulmuş damlacıklar sürekli olarak çarpışır ve izolatör yüzeyine yapışır. Şekil 3 (b)'de gösterilen buz sarkıtlarına dönüşür. Bu koşullar altında, buzlu izolatör eteğinin çapı d_1' ve etekler arasındaki boşluk d_2' dür. Buz sarkıtının uzunluğunun l ve kalan hava boşluğu δ ise $d_2' = l + \delta$ şeklinde ifade edilebilir. $\delta = 0$ olduğunda, buzlu izolatörler buz sarkıtları ile köprülenmiştir.

Sır buzlanmasının büyüme sürecinde, damlacıkların çoğu zaman içinde donmamaktadır. Bu damlacıklar, yerçekimi ve rüzgârın etkisi altında eğimli izolatör yüzeyi boyunca akacak ve böylece Şekil 3 (b)'de gösterilen buz sarkıtını oluşturacaktır. Bu nedenle, buzlu izolatör d₁'in izolatör etek çapı d₁'den biraz daha büyük ve buzlu yalıtkan d₂'nin etek aralığı d₂'den biraz daha küçüktür.

2.4. Buzun ve Buz Yüzeyinin İletkenliği

Buzun elektriksel iletkenliği, donma noktasının hemen altında önemli ölçüde değişmektedir. Çeşitli araştırmacılar için donma suyunda değişen iletkenlik ve iyon içeriğine sahip buzun sonuçları irdelenmiştir. Sıcaklık -15 °C'den 0 °C'ye yükseldikçe buz iletkenliği 7 kat artmıştır. Bu değişikliğin çoğu -2 °C ile 0 °C arasındaki dar sıcaklık aralığında meydana gelmiştir. Bununla birlikte, 0 °C'deki buz örneklerinin iletkenliği, 20 °C'deki çözeltinin iletkenliğinin ortalama 187 katı daha düşük kalmıştır (Chen, 2000).

Buzun elektriksel iletkenliği bilgisi (σ_{buz}), kirlilik akış modellemesinde kullanılan buz tabakasının birim uzunluğu başına direncini ($R(x)$) hesaplamak için yeterli değildir (Chen, 2000). L uzunluğunda ve W genişliğinde bir buz tabakası üzerindeki bir su filmi için, toplam direnç, kütle ve yüzey tabakalarının dirençlerinin paralel kombinasyonu olarak denklem 1'deki gibi ifade edilebilir:

$$R = \frac{L}{W} \left[\frac{1}{\sigma_{\text{buz}} \cdot t_{\text{buz}} + \sigma_{\text{su}} \cdot t_{\text{film}}} \right] \quad (1)$$

Burada; σ_{buz} buzun iletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$), t_{buz} buz tabakasının kalınlığı (cm), σ_{su} su yüzey filminin iletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$), t_{film} buz üzerindeki su yüzey filminin kalınlığı (cm) ve $\sigma_{\text{su}} * t_{\text{film}}$ terimi,

normal olarak eşdeğer yüzey iletkenliği (γ_e) olarak tanımlanır. Tipik buz katmanları için bu terim, eşdeğer yığın iletkenliğidir (σ_{buz} * t_{buz}).

3. Yapay Zekâ Teknikleri İle Atlama Olayının Analizi

Günümüzde enerji iletim ve dağıtım hatlarının etkili bir şekilde çalışması, enerji nakil hatları şebekesi işletmecileri ve sistem yönetimi için kritik bir öneme sahiptir. Elektrik tasarımının güvenliği ve istikrarı, sürdürülebilirlikle doğrudan bağlantılıdır. Bu bağlamda, elektrik tasarım sürecinde yeni teknolojilerin kullanılması, mevcut iletim hatlarının elektrik tasarımındaki en son trenddir. Ancak, tasarım sürecinde ortaya çıkabilecek atlama olayları ve kaçak akımlar, enerji sistemlerindeki güvenilirliği tehlikeye atabilmektedir.

Veri biliminin hızlı gelişimiyle birlikte, büyük veri teknolojisinin sağladığı kapsamlı sıralama ve öneriler sunma işlevleri, çeşitli sektörlerdeki sorunların çözümünde ana tercih haline gelmiştir. Bu bağlamda, günümüzde büyük veri teknolojisi enerji sektörüyle ilişkilendirilmeye başlanmıştır ve iletim hatlarındaki elektrik tasarımı sürecinde kullanılmaktadır.

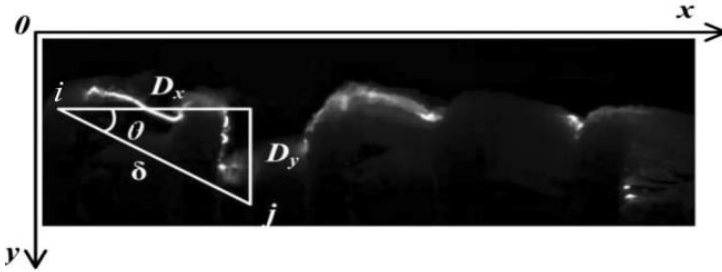
Yapay zekâ teknolojisinin, algoritmalar ve eğitim verileri aracılığıyla bilgisayarların sıradan insanlar gibi düşünme yeteneğine sahip olmasını sağlaması, iletim hatları elektrik tasarımını daha akıllı hale getirebilmektedir. Yapay zekâ, izolatörlerin durumunu sürekli izleyebilir, olası sorunları önceden tahmin edebilir ve operatörlere anında uyarılar gönderebilir. Bu sayede, enerji iletim hatlarının güvenilirliği artırılabilir ve tasarım sürecindeki potansiyel riskler minimize edilebilir.

3.1. Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi

Gri seviye eş oluşum matrisi (GLCM) ilgili istatistiklerle birlikte görüntü özelliklerini ortaya çıkarmak için kullanılan popüler tahmin yöntemlerinden biridir. GLCM, belirli bir yönde belirli bir mesafeyle ayrılmış piksellerin karşılık gelen gri seviyelerinin konumundaki 2 boyutlu bir görüntünün komşu piksel ilişkilerinin göreceli frekansını içeren bir kare matris olarak Denklem 2'deki tanımlanmış ve Şekil 4'te gösterilmiştir (Liu & ark., 2021).

$$P(i, j, \delta, \theta) = \left\{ \begin{array}{l} (x, y) | f(x, y) = i, f(x + Dx, y + Dy) = j; \\ x, y = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \end{array} \right. \quad (2)$$

Burada; $P(i, j, \delta, \theta)$, i ve j piksel yoğunluğu çiftinin birlikte görüldüğü frekans değerini belirtir; δ , genellikle gri seviyelerin tam katı olarak alınan iki piksel arasındaki ayırım mesafesidir ve θ genellikle 0° , 45° , 90° ve 135° olarak alınan iki pikselin yönüdür.



Şekil 4. Buzla kaplı bir izolatör dizisi boyunca yüzey deşarj görüntüsünün GLCM'sinin hesaplama örneği

Deşarj görüntülerinin GLCM'si elde edildikten sonra, ark deşarjının temel özelliklerini niceliksel açıdan ortaya çıkarmak için GLCM'nin istatistiksel parametreleri çıkarılmaktadır. Göstergeler açısız ikinci moment (ASM), kontrast (CON), ters fark momenti

(IDM) ve entropidir (ENT). Ark deşarjlarının her aşaması, gri seviye eş oluşum matrisi yöntemiyle seçilen görüntülerden çıkarılan dört parametreyle gösterilebilmektedir. GLCM yönteminin temel prensibi görüntünün piksel özelliklerini analiz etmektir. Farklı buz kalınlığının, rüzgâr hızının ve diğer faktörlerin atlama süreci üzerindeki etkisi, sonunda görüntü parametrelerinin değişmesine yansımaktadır. Görüntü parametrelerinin değiştirilmesi hesaplama doğruluğunu değil, yalnızca hesaplama sonucunu etkileyecektir. Dolayısıyla farklı buz kalınlığı ve rüzgâr hızı gibi faktörler GLCM yönteminin performansını etkilemeyecektir. Model yalnızca piksel yoğunluğu, deşarj görüntüsünün homojenliği ve gri seviyedeki yerel değişiklikler gibi görüntü parametreleriyle ilgili olmuştur. Bu model farklı geometrik şekillere ve farklı yüzey kirlilik seviyelerine sahip izolatörlere uygulanabilmiştir.

3.2. Tek Düzen Yerel İkili Modeller

Özellik çıkarımında özellik tanımlama operatörü olarak “Tekdüze” Yerel İkili Örüntüler (ULBP), Ojala ve diğerleri tarafından oluşturulan bir doku özelliği tanımlayıcısıdır (Ojala & ark., 1996).

İzolatörlerde özellik tanımlayıcı olarak ULBP'nin seçilmesinin nedeni üç maddede açıklanabilir. Birincisi, izolatörlerin farklı buz türleri altındaki renk özellikleri belirgin değildir. Örneğin, buzsuz, sırlı buz, kar ve orta kırağı arasındaki renk histogramlarında belirgin bir fark olmayabilir. İkinci olarak, dış mekân izleme sisteminden gelen yalıtkan görüntüleri aydınlatmadan ciddi şekilde etkilenir. Bu nedenle aydınlatmayla değişmeyen bir doku tanımlayıcısı olan ULBP kullanılması önem

arz etmektedir. Son olarak, Tekdüze Yerel İkili modeller, nesnelerin açılarındaki değişikliklere toleranslı olan, dönmeyele değişmeyen bir tanımlayıcıdır (Yang & ark., 2017).

Yerel ikili modelleri elde etmek için denklem 3 ve 4 kullanılmaktadır (Ojala & ark., 1996).

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

(3)

$$P_{LBP} = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) 2^p$$

(4)

Burada P_{LBP} ; Yerel İkili Modeller anlamına gelmektedir, g_p ve g_c sırasıyla merkezi noktanın ve çevresindeki p noktasının gri değerlerini temsil etmektedir. P parametresi, daire veya kare olabilen çevredeki noktaların sayısıdır.

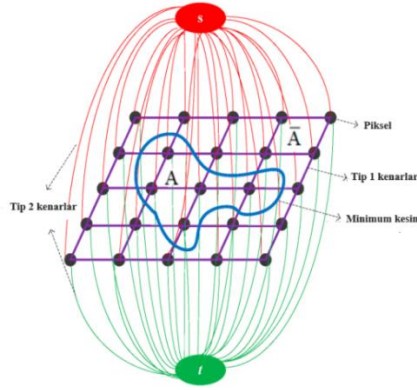


Şekil 5. Yerel ikili modellerin kodlama teorisi

Şekil 5'te çevreleyen noktalar bir kare oluşturmaktadır. $P=8$, merkezi piksel değeri bitişik 8 değerle karşılaştırıldığında, bitişik piksel değeri merkezi değerden büyük veya ona eşitse 1, aksi halde 0 alınmaktadır. Bu sayede 8 bitlik ikili bir kod elde edilebilmektedir. Şekil 5'teki kodlama sonucu ikili formda 00010011, ondalık formda 19'dur (Yang & ark., 2017).

3.3. GrabCut ile Görüntü Segmentasyonu

GrabCut görüntü segmentasyonu grafiksel maksimum akışı ve maksimum akış altında minimum kesmeyi belirlemektedir. İlk olarak bir görüntü, her bir grafik pikselin bir düğüme karşılık geldiği bir kapasite ağına eşlenir. Kaynak düğüm (s) ve havuz düğümü (t) olarak iki adet düğüm vardır. Şekil 6'da gösterildiği gibi s ön planı (araştırma nesnesini) temsil etmekte ve t arka planı (araştırma nesnesi dışındaki görüntüyü) temsil etmektedir (Hao & ark., 2018).



Şekil 6. GrabCut segmentasyonunun şematik diyagramı

Bitişik pikselleri bağlayan kenarlar (1) ve pikselleri s veya t'ye bağlayan kenarlar (2) olmak üzere iki adet kenar vardır. $U_{m,n}$, tip 1 kenarların kapasitesi, bitişik pikseller m ve n arasındaki kapasiteyi temsil etmektedir. Tip 2 kenarların kapasitesi olan $U_{n,s}$ ve $U_{n,t}$ sırasıyla piksel n ve s veya n ve t arasındaki kapasiteyi temsil etmektedir. Tip 1 kenarların kapasitesi bitişik pikseller arasındaki farkı belirtirken, tip 2 kenarların kapasitesi bir pikselin ön plana veya arka plana ait olma olasılığını belirtir. Örneğin bir piksel ön plana aitse piksel ile s arasındaki kapasite (ön plana ait

olma olasılığı) maksimum değerdir ve piksel ile t arasındaki kapasite (arka plana ait olma olasılığı) 0'dır. Piksel kesin olarak arka plana aitse piksel ile s arasındaki kapasite 0, piksel ile t arasındaki kapasite ise maksimum değerdir. Bir piksel ön plana veya arka plana ait değilse piksel ile s veya t arasındaki kapasite 0 ile maksimum değer arasındadır.

Tip 1 kenarların kapasitesi olan $U_{m,n}$ 'nin hesaplanması denklem 5'teki gibidir (Hao & ark., 2018).

$$U_{m,n} = \gamma \sum_{(m,n) \in C} e^{-\beta \|z_n - z_m\|^2} \quad (5)$$

Burada; z_m ve z_n , m ve n piksellerinin gri renk seviyesini, β , tip 1 kenarlarının tip 2 kenarlarına göre önceliğini göstermektedir. C bir çift komşu pikseli temsil etmekte ve görüntünün kontrast derecesini uyarlamak için üstel katsayı olarak kullanılmaktadır.

Tip 2 kenarın kapasitesinde n arka planın veya ön planın parçası olarak belirlenemiyorsa, $U_{n,s}$ ve $U_{n,t}$ bir Gauss karışım modeliyle belirlenmektedir. Gauss karışım modeline ait denklemler, 6 ve 7'deki gibi gösterilmektedir (Hao & ark., 2018).

$$G_a = \sum_{i=1}^K w_{a,i} g_{a,i}(z_n; \mu_{a,i}, \sigma_{a,i}) \quad (6)$$

$$g(z_n; \mu_{a,i}, \sigma_{a,i}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{d+|\sigma_{a,i}|}}} \exp\left(-\frac{1}{2}(z_n - \mu_{a,i})^T \sigma_{a,i}^{-1}(z_n - \mu_{a,i})\right) \quad (7)$$

Burada; $\sum_{i=1}^K w_{a,i} = 1$ ve $0 \leq w \leq 1$ K Gauss karışım modelinin element sayısıdır. Eğer a, s olarak alınırsa, G_s ön plandaki Gauss karışım modelini temsil etmekte; a, t olarak atanırsa G_t , arka planın Gauss karışım modelini temsil

etmektedir. $w_{a,j}$, i'inci Gauss modeli g'nin ağırlıklarını, $(Z_n; \mu_{a,i}, \sigma_{a,i})$; Z_n bölümlendirilecek pikseli temsil eder; burada $\mu_{a,i}$ ve $\sigma_{a,i}$ sırasıyla i'inci Gauss modelinin ortalama değerini ve kovaryans matrisini ifade etmektedir.

3.4. Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA), sezgisel bir arama algoritması ve evrimsel biyolojik ilkelerin çaprazlamasına ve mutasyonuna dayalı iyi bir küresel arama yeteneğine sahip olan güçlü bir optimizasyon aracıdır. GA, hata fonksiyonlarının gradyan bilgisi olmadan en iyi uygunluk çözümünü elde edebilmektedir. GA'nın başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulur. Her popülasyon, kromozom adı verilen ve bir gen vektörü içeren problemin çözüm adayıdır. Her problemin gereksinimlerine dayanan uygunluk değeri, her bireyin uygunluğunu değerlendirmek için kullanılmaktadır. Çaprazlama ve mutasyondan oluşan evrimsel genetik operasyonun amacı, karmaşık probleme en uygun çözümü aramaktır. Bu evrimsel süreç, her gendeki belirli kodları değiştirmekte ve daha iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip yeni popülasyonlar yaratmaktadır (Thanh & Cho, 2022).

Mutasyon operasyonunda gen, mutasyon olasılığına göre kromozomu rastgele değiştirmektedir. Düzgün olmayan mutasyon denklem 8'deki gibi açıklanmaktadır (Thanh & Cho, 2022).

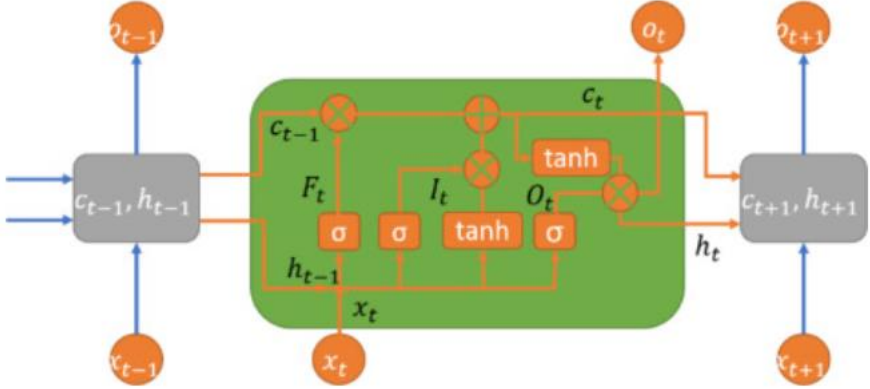
$$x'_i = \begin{cases} x_i + (b_i - x_i)f(G), & r < 0.5, \\ x_i - (x_i - a_i)f(G), & r_1 \geq 0.5, \\ x_i, & x_i \notin [a_i, b_i], \end{cases} \quad f(G) = \left(r_2 \left(1 - \frac{G}{G_{max}}\right)\right)^b \quad (8)$$

Burada; a_i ve b_i mutasyon sınırı, G ve G_{max} mevcut ve maksimum üretim sayısı, r_1 ve r_2 rastgele sayılar, b yinelemenin bağımlılık derecesi ve x kromozumu ifade etmektedir.

Çaprazlama ve mutasyonun olasılıksal doğası, popülasyondaki en önemli ve daha mükemmel uygunluk fonksiyonuna sahip olan bireyi yeniden üretmektir. En uygun gen dizisi, bir sonraki nesle aktarılmak üzere türetilmektedir. GA'nın performansı, genellikle rastgele seçilen popülasyonun ilk bireyelerine duyarlıdır. Bu nedenle GA, pratik problemlerin etkinliğini artırmak için sıklıkla başka bir algoritmayla birleştirilecek şekilde değiştirilmiştir.

3.5. Uzun Kısa Süreli Bellek

Tekrarlayan bir sinir ağı (RNN) , özellikle zaman serisi problemleri için derin bir öğrenme ağıdır. Bu bakımdan özellikle doğrusal olmayan zaman serilerinin sınıflandırılması ve tahmin edilmesinde önemli avantajlara sahiptir. Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ağı, tahmin problemlerinde doğrusal olmayan serilerin sıra bağımlılığını öğrenebilen bir RNN mimarisidir. Derin öğrenme makinelerinde LSTM modeli, uzun süreli hafızadan yararlanan karmaşık, doğrusal olmayan bir fonksiyon olarak kullanılabilir. LSTM giriş kapısı, çıkış kapısı ve unutma kapısı olmak üzere üç kontrol kapısından oluşmaktadır. Hücrenin içine veya dışına bilgi akışını kontrol eden ve hafıza hücrelerini sıfırlayan bu kapılar, LSTM modelinde hafıza hücrelerinin karmaşık bir yapısını oluşturmaktadır (Thanh & Cho, 2023). Ağın geçici hücre durumunu ve gizli durumunu tutan LSTM hücresinin genel yapısı, Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. LSTM hücresinin iç yapısı

Unutma kapısı, sigmoid fonksiyonunu kullanarak mevcut giriş aşamasından ve önceki gizli durumdan gelen bilgi akışını kontrol etmektedir. Unutma kapısının denklemi 9'da gösterilmektedir (Thanh & Cho, 2023).

$$F_t = \text{sigmoid}(W_{FG} \cdot [h_{t-1}, x_{t-1}] + b_{FG}) \quad (9)$$

Burada: W_{FG} unutma kapısı ağırlığı ve b_{FG} önyargı değişkenleridir.

Giriş kapısı, mevcut giriş verilerinden ve denklem 10'da gösterilen önceki gizli durumlardan akan veri modelini kontrol etmektedir.

$$I_t = \text{sigmoid}(W_{IG} \cdot [h_{t-1}, x_{t-1}] + b_{IG}) \quad (10)$$

Burada; W_{IG} ve b_{IG} giriş kapısı ve önyargı kapısı matrisleridir.

Benzer şekilde çıkış portalı, denklem 11 ile hesaplanan LSTM hücresindeki çıkış aktivasyon fonksiyonu için gerekli malzemeyi belirlemektedir (Thanh & Cho, 2023).

$$O_t = \text{sigmoid}(W_{OG} \cdot [h_{t-1}, x_{t-1}] + b_{OG}) \quad (11)$$

Çağdaş hücre durumu, denklem 12'de gösterilen giriş kapısının çıkışı, unutma kapısı, önceki hücre durumu ve tanh fonksiyonunun giriş dönüşümü ile güçlendirilmektedir (Thanh & Cho, 2023).

$$C_t = F_t * C_{t-1} + I_T * \tanh(W_{CH} \cdot [h_{t-1}, x_{t-1}] + b_C) \quad (12)$$

Gizli durumun sonucu, çıkış kapısı ve mevcut aşamanın tanh fonksiyonunun çıkışı tarafından denklem 13'teki gibi tahmin edilmektedir (Thanh & Cho, 2023).

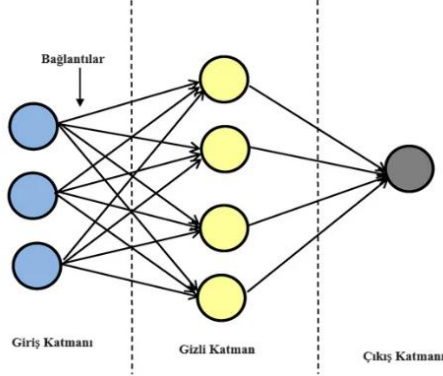
$$h_t = O_{ht} * \tanh(S_t) \quad (13)$$

3.6. Yapay Sinir Ağı

Makine öğrenmesi algoritmalarında ana araçlardan biri biyolojik ağları taklit eden yapay sinir ağları (YSA)'dır. Programlanmış görev kurallarından farklı olarak YSA, görevleri bir dizi örnekten öğrenir. Örneğin görüntü sınıflandırma algoritmalarında çıktığı “kedi” ve “köpek” olarak etiketlenir ve YSA algoritmasının eğitimi için örnek görüntüler sağlanır. Bir ağ eğitildikten sonra YSA'ya veriler sağlanır ve "kedi" ve "köpek" çıktısı tahmin edilir. YSA'da bir sinir ağı sırasıyla giriş, gizli ve çıkış katmanlarından oluşmakta ve bu durum Şekil 8'deki gibi gösterilmektedir (Arshad & ark., 2020).

Yapay sinir ağlarının eğitimi için gradyan iniş, Newton yöntemi, eşlenik gradyan, yarı-Newton yöntemi veya Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve geri yayımlı öğrenme algoritması

gibi birçok algoritma kullanılmıştır [36, 37]. Daha hızlı yakınsama ve daha az hesaplama süresi nedeniyle gradyan iniş algoritması tercih edilmektedir. (Arshad & ark., 2020; Taibaoui & ark., 2022).



Şekil 8. Yapay sinir ağı katmanları

3.7. Destek Vektör Makinesi

Destek vektör makinesi (DVM), hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılan bir makine öğrenme algoritmasıdır. DVM'de tüm veri kümesi kayıtlarını içeren bir başlangıç noktası vardır. DVM algoritması, veri noktalarını doğrusal olarak ayıran, mümkün olan en yüksek farklılık değerine dayanarak en uygun hiper düzlemi bulmaktadır. Klasik sinir ağı yaklaşımından farklı olarak öğrenme probleminin DVM formülasyonu, doğrusal kısıtlamalı ikinci dereceden programlamaya yol açmaktadır. Ancak ikinci dereceden programlama probleminde yer alan matrisin boyutu, eğitim noktalarının sayısı ile doğru orantılıdır. Giriş verileri $x_i \in R$ ve çıkış verileri $y_i \in R$ ile $i=1,2,\dots, N$ olan belirli bir eğitim seti x_i, y_i varsayılacak olursa regresyon modeli, doğrusal olmayan bir

haritalama fonksiyonu $\Phi(x)$ kullanılarak denklem 14'teki gibi oluşturulmaktadır (Arshad & ark., 2020).

$$y = w^T \Phi(x) + b \quad (14)$$

Burada w ağırlık vektörüdür ve b önyargı terimidir. YSA'da olduğu gibi, regresyon hatası içeren bir C maliyet fonksiyonunun denklem 15'teki gibi en aza indirilmesi gerekmektedir.

$$\min C(w, e) = \frac{1}{2} w^T w + \frac{1}{2} \gamma \sum_{i=0}^N e_i^2 \quad (15)$$

Denklem 15, Denklem 14'te kullanılarak Denklem 16 elde edilir..

$$y = w^T \Phi(x) + b + e_i \quad (16)$$

Bu maliyet fonksiyonunun ilk kısmı, ağırlık boyutlarını düzenlemek ve büyük ağırlıkları azaltmayı amaçlamaktadır. Bu düzenleme nedeniyle ağırlıklar benzer bir değere yakınsamaktadır.

3.8. Karar Ağacı

Karar Ağacı (DT), bir karar modeli veya ağaç benzeri grafik kullanarak sınıflandırma ve regresyon için kullanılan denetimli bir öğrenme yöntemidir. DT temel olarak YSA veya DVM ile karşılaştırıldığında zıt bir makine öğrenme tekniğidir. Diğer yaklaşımlar verilerle sayısal olarak ilgilenirken, DT teorisi sayısal verilerin varsayımına bağlı değildir. DT'de düğümler, dallar (bağlantılar) ve yapraklar vardır. Her düğüm bir niteliği (özellığı) temsil etmektedir, dallar bir kararı belirtmektedir ve bir yaprak bir sonucu ifade etmektedir (Arshad & ark., 2020).

DT temel olarak "eğer, o halde, aksi takdirde" programlanabilir yapısı üzerinde çalışmaktadır. Girdiler sabit değerlerle karşılaştırılmaktadır ve ağaç, sabitin değerinden küçük,

eşit veya büyük değerlerine göre bölünmektedir. Çeşitlilik indeksi (GI) ve N, giriş $x_i \in R^d$ ve çıkış verileri $y_i \in R$ için giriş seti boyutu olduğu Denklem 17'deki gibi hesaplanmaktadır (Arshad & ark., 2020).

$$GI = 1 - \sum_{i=1}^N p^2(i) \quad (17)$$

Burada $p(i)$, i 'inci girdinin olasılığını temsil etmektedir.

Ağaç, alt ağaçların optimal budanmış sırası tahmin edilerek büyütülmektedir ve aynı ana düğümden gelen yapraklar bir araya getirilmektedir. Test sırasında test girdileri değerlerine göre ağaçta aşağı doğru yönlendirilmekte ve her düğümden sabitlerle karşılaştırılmaktadır. Yaprak düğüme ulaşıldığında nihai değer elde edilmiştir.

3.9. Naive Bayes

Naive Bayes sınıflandırıcısı, Bayes teoremine dayanan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Temel fikri ve oluşturma yaklaşımı, destek vektör makineleri ve sinir ağlarından daha basittir. Naive Bayes yönteminde, y bir örnek küme olarak alınır, her örnek kendi özelliklerini temsil eden n durum özelliğinin yanı sıra bir sınıf etiketini içermektedir. Tüm eğitim örneklerinin m sınıflandırmaya göre sınıflandırıldığı ve her örneğin sınıf etiketinin $\{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ şeklinde değiştiği varsayılırsa herhangi bir örnek n boyutlu bir vektör olarak gösterilebilmektedir. $y^{\rightarrow} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ sınıf etiketinin belirlenmesi gereken bir test verisi olup Naive Bayes sınıflandırıcısı denklem 18'deki gibi karakterize edilmektedir (Salem & ark., 2022).

$$z = \underset{z_k, k = 1, 2, \dots, m}{\operatorname{argmax}} \left\{ P(z_k) P(\rightarrow | z_k) \right\} \quad (18)$$

Burada $P(z_k)$, $P(z_k)=N_k/N$ 'de bulunabilecek z_k sınıfının önceki olasılığını, N_k , z_k sınıfı içindeki örneklerin sayısını, N veri seti boyutunu ve $P(\vec{y} | z_k)$ koşullu olasılığı göstermektedir.

Naive Bayes sınıflandırıcısı tarafından tüm özelliklerin bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Koşullu olasılık denklem 19'daki gibi gösterilmektedir.

$$P\left(\vec{y} | z_k\right) = P(y_1, y_2, \dots, y_n | z_k) = \prod_{f=1}^n P(y_f | z_k) \quad (19)$$

Burada $P(y_f | z_k)$ ($1 \leq f \leq n$) örneğin sınıf etiketinin belirlemede önemli bir faktördür.

3.10. Evrişimli Sinir Ağı

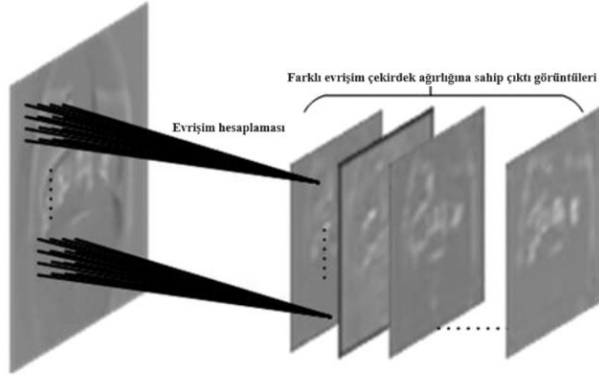
Evrişimli Sinir Ağı (CNN), bir dizi evrişimli katmandan oluşan ve kendine giriş olarak tanımlanan görüntüleri işleyen bir derin sinir ağı yöntemidir. CNN içerisindeki katmanlar sırasıyla, giriş olarak verilen resmin özelliğini algılar, doğrusal olmayanları belirler, parametrelerin hesaplanma sayısını azaltıp uygunluğunu kontrol eder ve son olarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirir. Bu durum Şekil 9' daki gibi ifade edilebilir.



Şekil 9. CNN katmanlarının işleyişi

Evrişim katmanı Şekil 10'da gösterildiği gibi bir özellik çıkarma katmanıdır (Pei & ark., 2018). Her evrişim katmanı birden fazla evrişim nöronu içermekte ve farklı yerel özelliklerin özelliği, evrişim çekirdeğinin kaydırılmasıyla çıkarılmaktadır. Yerel özellik çıkarıldıktan sonra diğer özelliklerle olan konumsal ilişkisi de

belirlenmektedir. Her çıkışın özellik haritası, çoklu giriş özelliği grafikleriyle evrişimi içermektedir.



Şekil 10. Evrişim hesaplama şeması

Evrişim katmanının hesaplanması Denklem 20'de gösterilmektedir (Pei & ark., 2018).

$$a_j^l = \sigma \left(\sum_{i \in M_j^l} a_i^{l-1} * k_{ij}^l + b_j^l \right) \quad (20)$$

Denklem 20, evrişim hesaplamasından önce ve sonra özellik haritasındaki değişiklikleri göstermektedir. M_j^l , seçilen girişin evrişim özellik grafikleri kümesini, k_{ij}^l ise giriş grafiklerinin evrişim işleminde bir dizi çekirdeği göstermektedir. Evrişim katmanı hesaplamasını tamamlamak için ek bir b uzaklığı eklenmektedir (Pei & ark., 2018).

Doğrusal olmayan katman matematiksel ifadesi $f(x) = \max(0, x)$ olan bir ReLU fonksiyonudur. Geleneksel sinir ağlarında yaygın olarak kullanılan sigmoid fonksiyonuyla karşılaştırıldığında ReLU aktivasyon fonksiyonu tek taraflı asimetrik bir yapıya

sahiptir. Bu nedenle eğimin kaybolmasına neden olmamaktadır. Fonksiyon basit ve hesaplama açısından daha hızlıdır.

Havuzlama katmanı, ardışık evrişim katmanları arasına sıklıkla eklenen bir katmandır. Bu katmanın görevi, gösterimin kayma boyutunu, ağ içindeki parametreleri ve hesaplama sayısını azaltmaktır. Bu sayede ağdaki uyumsuzluk kontrol edilmiş olmaktadır.

Tamamen bağlı katman, CNN mimarisinin son katmanıdır. Bu katman işlemlerden geçmiş verileri sinir ağı yoluyla öğrenme işlemini gerçekleştirmektedir.

4. Uygulamalar

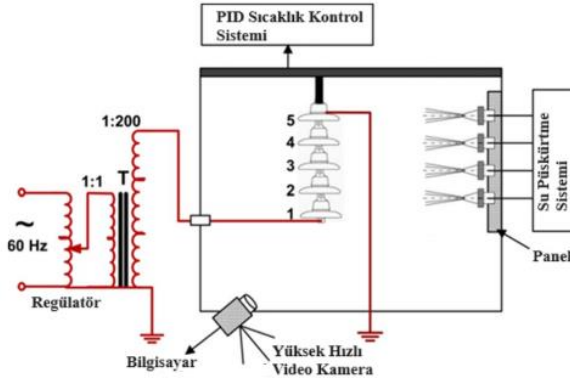
Elektrik şebekelerinde, izolatörlerin buzlanması, atlama olayına neden olabilen önemli bir sorundur. Atlama, yeterince büyük bir gerilimde izolatörlerde oluşan yüzey deşarjlarının sonucunda meydana gelmektedir. Bu olay, elektrik şebekelerinde kesintilere ve hatta yangınlara neden olabilmekte ve elektrik şebekelerinin güvenliğini tehdit etmektedir.

Buzlanmış izolatörlerde atlama olayının önlenmesi için, atlama riskini tahmin etmek ve gerekli önlemleri almak önemlidir. Bu amaçla, yapay zekâ teknikleri daha fazla kullanılmaktadır. Yapay zekâ teknikleri, izolatörlerin buzlanma durumunu ve yüzey deşarj davranışını analiz etmek için kullanılarak, atlama riskini daha doğru bir şekilde tahmin etmeye yardımcı olabilmektedir.

4.1. Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi Kullanılarak Atlama Sırasında Buzla Kaplı Zincir İzolatör Üzerindeki Yüzeysel Deşarjların Özellik Çıkarımı ve Sınıflandırılması

Bu çalışma, alternatif akım atlama işlemi sırasında buzla kaplı zincir izolatörün yüzey atlamalarının özelliklerinin çıkarılması ve sınıflandırılmasına odaklanmaktadır.

Şekil 11, test kurulumunun şematik diyagramını göstermektedir (Liu & ark., 2021). İzolatörün etek çapı, etek yüksekliği, sızıntı mesafesi ve ark mesafesi sırasıyla 254 mm, 146 mm, 305 mm ve 809 mm'dir. Başlangıçta izolatör elemanlarının yüzeylerini temizlemek için deiyonize su kullanılmıştır.



Şekil 11. Test kurulumunun şematik diyagramı

Testler 4,8 m uzunluğunda, 2,8 m genişliğinde ve 3,5 m yüksekliğinde tasarlanmış bir yapay iklim odasında gerçekleştirilmiştir. Soğutma cihazı, test düzeneği sabitlendikten sonra ortam sıcaklığının $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşmesini sağlayabilmektedir. İzolatörlerin ayarlanan oda sıcaklığında yaklaşık on altı saat dayanması sağlanırken izolatörlere 75 kV gerilim verilmektedir. Bu arada su iletkenliği $30\text{ }\mu\text{S/cm}$ olarak

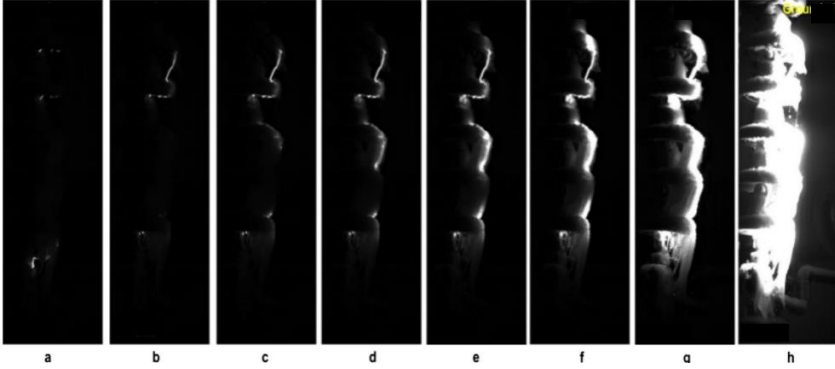
ayarlanmıştır. Püskürtme cihazı, temel olarak su besleme sistemi ve hava akış ekipmanını içeren bir yapıya sahiptir. Buz, dört adet salınımlı nozul aracılığıyla üretilen süper soğutulmuş damlacıklar tarafından oluşturulmuştur. Damlacıklar, izolatörün yüzeyinde tekdüze bir buz kalınlığı şeklinde buz biriktirebilmektedir. Panel bir dizi fan aracılığıyla hava akışı sağlamıştır. Buz birikmesi sırasında izolatörlere doğru esen rüzgâr hızı 3,3 m/s olarak sabitlenmiş ve nozulların yukarıdan aşağıya salınım hızı 16 rpm olmuştur.

Buz birikmesi tamamlandıktan sonra atlama deneyi hazırlanmıştır. Tahmin edilen atlama gerilimine ulaşmak için izolatörlere 3,9 kV/s hızla gerilim uygulanmıştır. 15 dakikalık bir süre boyunca atlama görüldüğünde veya atlama olmadığında, sonraki deney için uygulanan gerilim azaltılmış veya 3 kV'luk gerilimlerle artırılmıştır. Minimum atlama gerilimi, VMF ve maksimum dayanma gerilimi, VMW olarak belirtilmektedir. VMF ve VMW'nin 3 kV'luk bir gerilim kadar farklılık göstermesi durumunda belirlenmektedir.

6000 fps örnekleme hızında çalışan yüksek hızlı video kamera sayesinde atlama işlemi sırasında aynı aşamada görüntülerin çok sayıda tekrarı bulunmaktadır. Farklı atlama aşamalarında, atlama ark uzunluğu, atlama ark konumu, atlama arkının sürekliliği ve atlama ark alanı açısından bariz farklılıklar olmuştur.

Şekil 12'de gösterildiği gibi VMF'nin değişimi atlama işlemi sırasındaki farklı deşarj davranışlarına karşılık gelmektedir.

Başlangıçtaki deşarjdan yayılmaya ve atlamaya kadar oldukça farklı olduğu gözlemlenebilmektedir (Liu & ark., 2021).



Şekil 12. Buzlu izolatörler üzerinde ark deşarjlarının atlama işlemi: (a) Aşama I (b) Aşama II (c) Aşama III (d) Aşama IV (e) Aşama V (f) Aşama VI (g) Aşama VII (h) Aşama VIII

Yüzey deşarjının başlangıç aşaması: Genellikle izolatörlere alternatif gerilim uygulandığından izolatör yüzeyinde biriken buz simetrik değildir. Ayrıca, test buzlanma ortamı altında izolatörlerin rüzgâr yönü boyunca buz birikmesinin çoğu ve oluşan deşarjın termal enerjisi, izolatör üzerinde buzlanma olmayan hava boşluklarının oluşmasına yol açmaktadır. Şekil 12 a-c'deki gözlemlere göre buzla kaplı izolatör yüzey deşarjı, arkın başlangıç durumunda kısmi arkların nispeten yavaş bir hızda oluştuğu hava boşluğu boyunca üretilmesinden kaynaklanmaktadır. Buzlanma tabakasının soğuması ve kuraklaşması nedeniyle yalıtım özellikleri aşırı derecede zayıflamamıştır. Ancak yüksek iletkenliğe sahip erimiş buz tabakasının varlığı buz düzlemi boyunca elektrik alan dağılımını etkilemiştir.

Yüzey deşarjının gelişim aşaması: Deşarj arkı, buz tabakasından izolatör eteklerinin alt kısmına doğru yayılmaktadır.

Kaçak akım, buz düzleminde ve ayrıca ortam havasında ısı üretmiştir. Bu durum uygulanan gerilim altında arkların yeniden atlaması üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Uygulanan gerilim minimum atlama gerilimi seviyesine yakın olduğunda, elektrik deşarjı hava boşluklarında arklar oluşturur. Buzlu izolatörlerin yüzey direnci, uygulanan gerilim altında ark oluşumunda, yeniden tutuşmada ve yayılımda temel bir rol oynamaktadır. Arklar, alternatif gerilim altında sabit bir konumda tutulamamaktadır ve alternatif gerilimin her yarım döngüsünde gelişip sönmektedirler. Ark kökü, buzlu izolatörlerin yüzeyi boyunca akımın düzgün olmayan bir şekilde dağılmasına yol açan hava boşluklarında üretilir. Bu durum artık yüzey direncini etkilemektedir. Bu direnç düşükse ark akımı daha yüksek olacaktır. Bu nedenle arklar, hava boşlukları boyunca doğrudan yüksek gerilim elektrodundan toprak hattına doğru gelişebilmektedir.

Tam atlama aşaması: Kararlı ve parlak deşarj arkları buz sarkıtları ve elektrot arasında uzanır. Yerel deşarj arkları buz düzlemi boyunca artan bir hızla yayılabilir. Deşarj yolunun parlaklığı, Şekil 12 a-g ile karşılaştırıldığında Şekil 12 h'da daha uzun ve daha büyük özellikler göstermektedir. Yerel arklar kuru ark mesafesinin çoğunu kat ettiğinde ve hava boşluğundaki çoklu arkların bağlantısını tamamladığında, atlama arkına dönüşür. Beyaz ark atlama aşamasına geçtiğinde, ark yolu ark mesafesini takip eder. Böyle bir durumda atlamanın ürettiği enerjinin yüksek olması izolatörün sorun yaşamasına neden olabilir.

Liu ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, GLCM'nin istatistiksel göstergelerini incelemek için buzlanma atlamalarının

ark deşarj özellikleri analiz edilmiştir. Önemli sonuçlar şu şekilde elde edilmiştir (Liu & ark., 2021):

Arkların ortaya çıkmasının nedeni, izolatörün buz sarkıtları tarafından köprülenmesiyle elektrik alanının düzgün olmayan bir şekilde dağılmasıdır. Uygulanan gerilimin artmasıyla arklar kritik uzunluğa ulaşarak daha güçlü beyaz arklar oluşturur.

Erime suyunun iletkenliğinin artması ark deşarj yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Bu durumda buz tabakası, üzerine uygulanan gerilime dayanamaz ve buz yüzeyinde atlama meydana gelir.

GLCM'nin dört istatistiksel parametresi, buzlanma atlama sürecinin deşarj mekanizmasını ortaya çıkarmak için kullanılabilir. Bu göstergelerin farklı değerleri, buzlu izolatörlerin atlamasını izlemek için risk değeri olarak kullanılabilen ark deşarj sürecinin farklı aşamalarına iyi bir şekilde karşılık gelmektedir. Önerilen model yalnızca piksel yoğunluğu, deşarj görüntüsünün homojenliği ve gri seviyedeki yerel değişiklikler gibi görüntü parametreleriyle ilgilidir. Bu nedenle bu yöntem farklı izolatör geometrilerine ve yüzey kirlilik seviyelerine uygulanabilir.

Daha yüksek ASM değeri, zayıf ve rastgele deşarjları temsil ederken daha düşük ASM değeri, hava boşluklarındaki nispeten kararlı deşarj davranışlarına karşılık gelmektedir. ASM değeri 0,9'u aştığında ark deşarjı, güvenli çalışma alanındadır. ASM değeri 0,9–0,4 arasında olduğunda ark deşarjı aşaması, dikkat çalışma alanındadır. ASM değeri 0,4'ten küçük olduğunda ark deşarjı aşaması, tehlikeli çalışma alanındadır.

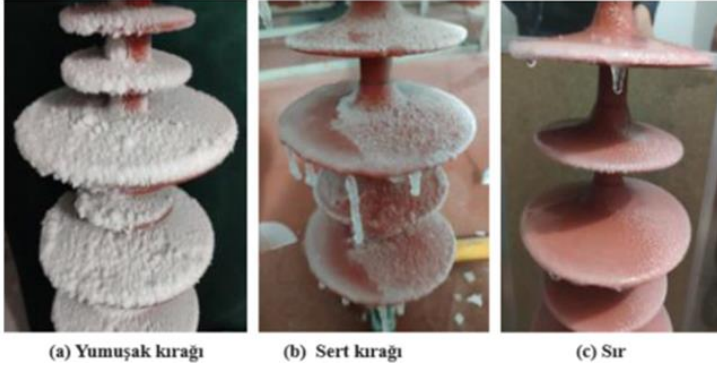
CON değeri, buzla kaplı zincir izolatör boyunca yüzey deşarjlarının göreceli konumunu analiz ederek gösterebilen deşarj görüntüsünün gri seviyelerindeki yerel değişimlerin bir ölçüsüdür. IDM ise yakın komşu için görünüm frekansının bir ölçüsüdür. CON değeri 0,1'in altında olduğunda ark deşarj aşaması, güvenli çalışma alanındadır. CON değeri 0,1 ile 6,0 arasında olduğunda ark deşarj aşaması, dikkat çalışma alanındadır. CON değeri 6,0'ı aştığında ark deşarj aşaması, tehlikeli çalışma alanındadır. IDM değeri 0,9'u aştığında ark deşarj aşaması, güvenli çalışma alanındadır. IDM değeri 0,9–0,3 arasında olduğunda ark deşarj aşaması, dikkat çalışma alanındadır. IDM değeri 0,3'ün altında olduğunda ark deşarj aşaması, tehlikeli çalışma alanındadır.

ENT değeri ark deşarj görüntülerinin rastgeleliğini tanımlamak için kullanılmıştır. Homojen olmayan görüntülerin ENT değeri yüksek, homojen olanların ise ENT değeri düşüktür. ENT değeri 0,2'den küçük olduğunda ark deşarj aşaması, güvenli çalışma alanındadır. ENT değeri 0,2 ile 2,0 arasında olduğunda ark deşarj aşaması, dikkat çalışma alanındadır. ENT değeri 2,0'ı aştığında ark deşarj aşaması tehlikeli çalışma alanındadır.

4.2. Buzlanma İzleme Teknolojisine Dayalı Buzlu İzolatörün Atlama Riski Tahmin Yönteminin Gözden Geçirilmesi

Bu çalışmada izolatörün buzlanma atlamasını etkileyen ana faktörler analiz edilmiş ve buzlu izolatörün buzlanma türü, buzlanma miktarı, buz saçağı uzunluğu ve köprüleme durumu, izolatör kirliliği vb. morfolojik özellikleri derinlemesine incelenmiştir. Daha sonra buzlu izolatörün izleme yöntemleri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, görüntü izleme teknolojisinin buzlanma atlaması tahmininde bariz avantajlara

sahip olduğunu göstermiştir. Fiziksel özelliklerin farklılığına göre atmosferik buzlanma; sır, sert kırağı, yumuşak kırağı, kar ve kırağı olarak ayrılmaktadır. Şekil 13'te farklı buzlanma türlerinin, farklı iç alt katman yapısına ve yüzey morfolojisine sahip olduğu gözükmemektedir. Bu durum farklı atlama risklerine yol açmaktadır (Zhu & ark., 2021).

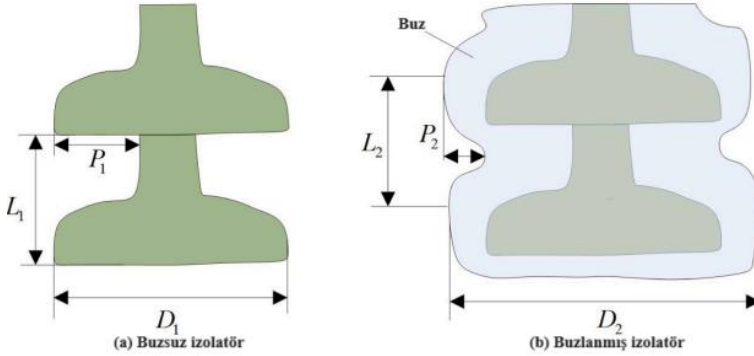


Şekil 13. Farklı buzlanma örneklerinin doku özellikleri

Sır ve sert kırağı, izolatör güçlü yapışma kabiliyetleri ve hızlı büyümeleri nedeniyle daha düşük atlama gerilimine ve daha yüksek atlama riskine sahip olup izolatör etek aralığı arasında buz saçağı köprü oluşturması kolaydır. Buzlanma atlaması üzerine yapılan deneyler, kırağının gerilime dayanma özelliğinin sırankinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca birçok görüntü aracılığıyla farklı buzlanma türlerinin özellikleri analiz edilerek, buzlanmayan cam izolatörlerin dokusunun düz olduğu ve cam izolatör üzerindeki sır büyümesinin dokusunun nispeten yakın ve ince olduğu, ancak kırağı örneğinin dokusunun nispeten kaba ve pürüzlü olduğu bulunmuştur (Yang & ark., 2017). Bu nedenle çalışmada doku özelliği tanımlayıcılarına dayalı olarak cam izolatörlerin buzlanma tipini tanımlamak için tekdüze yerel ikili

örüntüler (ULBP) ve geliştirilmiş tekdüze yerel ikili modun kombinasyonu yoluyla çeşitli buzlanma türleri için doku özelliği çıkarımı için bir yöntem sunulmuştur.

Şekil 14'te buzlu izolatörün boyutsal özellikleri gösterilmektedir (Zhu & ark., 2021). Bu çalışmada buzlanma büyümesinden önceki ve sonraki izolatör görüntüleri üzerindeki diferansiyel hesaplama dayalı olarak buzlu etek çapının değişimi (D_2-D_1) çıkarılmıştır ve piksel sayısının değişimi buzlanmayı belirlemek için kullanılmıştır.



Şekil 14. Buzlu izolatörün boyutsal özellikleri

İzolator buz saçağı uzunluğunun ve köprüleme durumunun tanımlanması, saçak uzunluğunun çıkarılması ve referans boyutunun belirlenmesi olmak üzere iki hususu içermektedir. Bu çalışmada, buz saçağının büyümesinin çeşitli görüntüleri analiz edilmiş, belirginlik tespiti ve renk özelliği analizi yöntemlerinin kombinasyonu yoluyla buz saçağının profilini hassas bir şekilde çıkarmak için bir yöntem önerilmiştir (Zhu&ark.,2021). İlk olarak, karmaşık arka planı ortadan kaldırmak için bir ön arıtma yöntemi olarak kullanılan belirginlik tespiti yapılmıştır. İkinci olarak, yeşil

rengin genellikle cam izolatörün karakteristik parametresi olarak kabul edildiği ve kırmızı rengin silikon izolatörün karakteristik parametresi olarak kabul edildiği renk özelliği analizi yoluyla buzsuz izolatör yüzeyi buzlu izolatör görüntüsünden bölümlere ayrılmıştır. Son olarak, diferansiyel hesaplamayla buzsuz yüzey ortadan kaldırılıp buz saçağı yapısının piksel boyutu etkili bir şekilde çıkarılmıştır.

Bu çalışmada, cam izolatörlerin kirlilik derecesini değerlendirmek için görünür ışığa dayalı bir yöntem önerilmiştir (Zhu & ark., 2021). Bu yöntem, kirli izolatörün yüzey görüntülerinden 6 kanalın ortalama, maksimum ve minimum değerini içeren 7 özellik niceliğini çıkarmaktadır. Ayırt edici olarak güçlü sınıflandırma kabiliyetine sahip özellikleri taramak için Fisher fonksiyonu kullanılmaktadır. Son olarak kirlilik derecesi kriterleri geri yayılma (BP) sinir ağı kullanılarak izolatörün kirlilik derecesini sınıflandırmak için düşünme evrimi algoritmasıyla optimize edilmiştir.

Bu çalışmanın ana sınırlaması, daha ileri çalışmalar için verimli bir alan olabilecek atlama riski tahmin modelinin eksikliğidir. Bu nedenle, atlamayı etkileyen faktörler ve buzlu izolatörün özellik çıkarma yöntemleri üzerine yapılan çalışmalara dayanarak buzlanma atlama riski analizi için iki olası yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler, kesinti mekanizmasına dayalı buzlu izolatör için atlama riski tahmin yöntemi ve yapay zekâ algoritmasına dayalı buzlu izolatör için atlama riski tahmin yöntemidir.

Kesinti mekanizmasına dayalı buzlu izolatör için atlama riski tahmin yönteminde; buzlanma miktarı, buzlanma tipi, köprüleme derecesi ve izolatör kirlilik derecesi gibi karakteristik parametreler kesinti kalemleri olarak alınmaktadır. Bu tür parametreler, çoğunun doğru bir şekilde ölçülmesi kolay olmadığı için basit bir şekilde sınıflandırılıp ölçülmektedir. Son olarak parametrelerin ağırlıkları birleştirilerek toplam kesinti değeri ve risk düzeyi hesaplanmaktadır. Bu yöntemde her bir kesinti maddesinin ağırlığı sırasıyla 0,15 (buzlanma türü), 0,15 (buzlanma miktarı), 0,4 (buz saçağı köprüleme derecesi) ve 0,3 (izolatör kirlilik derecesi) şeklindedir. Örnek olarak buzlanma tipi ve buz saçağı köprüleme durumunun ağırlığı sırasıyla 0,15 ve 0,4 olarak ayarlanmıştır. Sır ve sert kırağı, buzlu izolatörde atlama oluşma olasılığının daha yüksek olmasıyla ilişkili iken yumuşak kırağı ve kar daha az riskli ve don ise en düşük riskli olarak belirlenmiştir. Bu nedenle düşülen değer sırasıyla 100, 60 ve 30 olarak ayarlanmıştır. Buz saçağı uzunluğu (veya buzlanma kalınlığı) ile hava boşluğu uzunluğu arasındaki ilişkiye göre, buz saçağı köprüleme derecesi, hafif köprüleme derecesi (belirgin bir buzlanma tabakası yok), hafif köprüleme (buzlanma tabakası barakanın 1/3'üne ulaşır), orta düzeyde köprüleme (buzlanma tabakası baraka aralığının 1/2'sine ulaşır) ve şiddetli köprüleme (kritik köprüleme, tam köprüleme) dahil olmak üzere dört seviyeye ayrılabilir. Buna bağlı olarak kesinti değeri sırasıyla 30, 40, 60 ve 100 olarak ayarlanmıştır (Zhu & ark., 2021).

Yapay zekâ algoritmasına dayalı buzlu izolatör için atlama riski tahmin yönteminin kullanıldığı bir çalışmada, önce çok sayıda buzlu izolatör durumunun (buzlanma atlaması ve atlama olmayan

durumlar dâhil) atlama koşulları analiz edilmiş ve izolatör türü, buzlanma türü, buz köprüleme derecesi, buz erime durumu ve kirlilik derecesi gibi karakteristik parametreler çıkarılmıştır. Böylece buzlanma atlama tahmin modelinin eğitim örnek verileri oluşturulmuştur. Daha sonra, buzlanma atlama etkileyen faktörler girdi parametreleri ve atlama olasılığı çıktı olarak alınarak, buzlu izolatör için Bayesian Ağına veya diğer akıllı algoritmalara dayalı bir atlama riski tahmin yöntemi oluşturulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve beklentiler şu şekildedir (Zhu & ark., 2021):

Buzlu izolatörlerin atlama, buzlanma türü, buzlanma miktarı, buz saçağı uzunluğu, izolatör kirlilik seviyesi, hava basıncı ve izolatör özellikleri gibi çeşitli faktör ve parametrelerin birleşik etkisinin sonucudur. Bu nedenle karakteristik parametreler, buzlanma atlama riski tahmin modelinde girdi parametreleri olarak kullanılabilir. Ancak bu faktörler ile izolatör atlama arasındaki ilişkiyi ölçmek zordur.

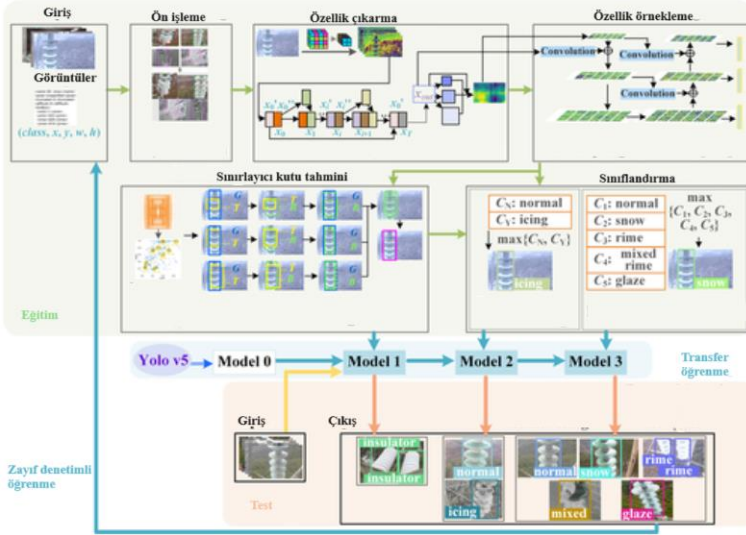
Atlama karakteristik parametrelerinin çıkarılması yöntemi, buzlu izolatör için atlama riski tahmin yönteminin temelini oluşturmaktadır. Buzlu izolatörlerin morfolojik özellikleri göz önüne alındığında atlama olayının tahmininde görüntü izleme ve görüntü işleme teknolojisinin büyük avantajları vardır. Bununla birlikte, mercek açısının, görüntü tanımının ve görüntü arka planının etkisinden dolayı, belirginlik tespiti yönteminin etkisi nispeten zayıftır. Bu nedenle gelecekteki araştırmalarda, karmaşık arka plan ve zorlu ortamlarda belirginlik tespiti yönteminin uygulanabilirliği ve doğruluğuna odaklanmak gerekmektedir.

Buzlu izolatörlerin atlama riski tahmin yöntemi, güç sistemindeki önemli araştırma yönlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, atlama olaylarının birikimine ve gelecekte tahmin modelinin optimizasyonuna odaklanmak gerekmektedir.

4.3. İzolatörlerin ve Buzlanma Tiplerinin Zayıf Denetimli ve Transfer Öğrenimine Dayalı Görüntü Tanıma Yöntemleri

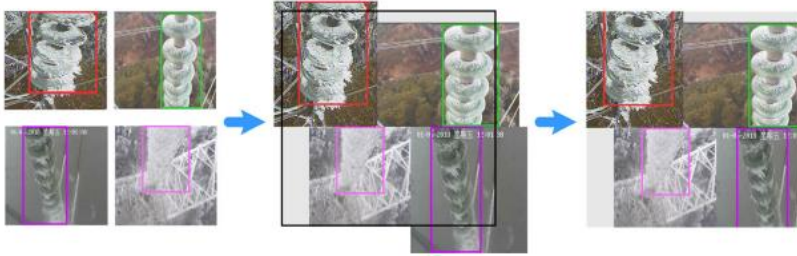
Bu çalışmada ilk olarak izolatörün görüntü verilerinin ön işleme tabi tutulması, sınıflandırılması ve açıklanması için kurallar önerilmiştir. 2014-2018 yılları arasında izolatör buzlanma izleme görüntülerine ilişkin bir veri kümesi oluşturulmuştur. Daha sonra, Yolo v5'e dayanarak, kar, kırağı, karışık kırağı, sır, normal vb. buz türlerini tanımak için zayıf denetimli ve aşamalı transfer öğrenme yöntemi önerilmiştir (Hao & ark., 2022).

İzolatör ve buz tipinin görüntü tanınması için Yolo v5'i temel alan, zayıf denetimli ve aşamalı transfer öğrenmeye dayalı yöntem Şekil 15'te gösterilmiştir (Hao & ark., 2022).



Şekil 15. İzolator ve buz türü tanıma için zayıf denetimli ve aşamalı transfer öğrenme yöntemi

İzolator görüntüleri ilk olarak ön işleme tabi tutulmuştur. Eğitim verilerini artırmak için Şekil 16'daki gibi mozaik yöntemi kullanılmıştır (Hao & ark., 2022).



Şekil 16. Mozaik yöntemi

Mozaik yöntemi, dört eğitim görüntüsünü birleştirerek yeni bir eğitim örneği oluşturmaktadır. Bu yöntem eğitim setinin hacmini artırmakta ve izolator görüntülerini zenginleştirerek hesaplama verimliliğini yükseltmektedir.

Özellik çıkarma, dilimleme, çaprazlama ve füzyonu içermektedir. Dilimleme, RGB görüntüsünün önce 3 kanallı bir tensöre dönüştürüldüğü ve 12 kanallı bir tensör elde etmek için dört kez kopyalandığı odak yöntemini benimsemektedir. Her kanal için 1 piksellik aralıklarla bir RGB değeri çıkarılır, böylece her kanal tensörünün hem genişlik hem de yükseklik bilgileri yarıya indirilir, ancak hiçbir görüntü bilgisi kaybolmaz. Bu yöntem, paralel kanalların bilgilerini aynı anda işleyerek görüntü özelliği çıkarma hızını artırmaktadır.

Özellik geçişi, görüntü özelliklerini bölmek ve yeniden düzenlemek için birden fazla modül kullanan çapraz aşamalı kısmi ağa (CSP) dayanmaktadır. Bu nedenle yüksek ve düşük boyutlu görüntü özellikleri tamamen çaprazlanmıştır.

Özellik füzyonu, çaprazlanmış görüntü özelliklerinin çıkışını birleştirmek için CSP'den sonra 3 ölçekli bir pencere ile bağlanan uzamsal piramit havuzuna (SPP) dayanmaktadır. Özellik füzyonu ile buzlu izolatör görüntüsünde odaklanması gereken alanın hacmi artırılabilir.

Özellik piramit ağları (FPN) ve yol toplama ağının (PAN) kompozit yapısı, buzlu izolatörlerin çok boyutlu görüntü özelliklerini çıkarmak için kullanılmıştır (Hao & ark., 2022). FPN, izolatörleri tanımlamak için kullanılan görsel bilgileri zenginleştirerek düşük çözünürlüklü, küçük ölçekli bölgesel özellikleri netleştirmektedir. PAN, kenar, renk ve doku gibi büyük ölçekli, yüksek çözünürlüklü ve ayrıntılı görsel özellikleri sıkıştırarak buz türlerini tanımlamak için kullanılan anlamsal bilgiyi geliştirmektedir.

Transfer öğrenme, farklı fakat ilgili kaynak alanlarında bulunan bilgileri transfer ederek hedef öğretilerin hedef alanlardaki performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmadaki aşamalı transfer öğrenimi Model 0, Model 1, Model 2 ve Model 3'ü içermektedir (Hao & ark., 2022). Model 0, Yolo v5'in COCO veri kümesiyle eğitilmesiyle elde edilmiştir. İzolatör tanıma modeli olan Model 1, Model 0'in nesne algılama parametrelerinin aktarıldığı görüntü ve manuel olarak etiketlenmiş kutularla eğitilmesiyle oluşturulmuştur. İzolatörlerin ve buzlanmanın tanınması modeli olan Model 2, izolatör tanımlama parametrelerinin aktarıldığı Model 1'in buzlanma olup olmadığına ilişkin sınıflandırma etiketleri ile eğitilmesiyle oluşturulmuştur. İzolatörlerin ve buz türlerinin tanıma modeli olan Model 3, Model 2'nin buz türlerinin sınıflandırma etiketleri ile eğitilmesiyle oluşturulmuş ve bu sırada buzlu izolatörleri tanıma parametrelerinin aktarılmasını sağlamıştır.

Zayıf denetimli ve aşamalı transfer öğrenimi ile izolatör buz türlerinin sınıflandırılmasında; Doğru Pozitif (TP), Yanlış Pozitif (FP), Yanlış Negatif (FN), Kesinlik (P), Duyarlılık (R) ve Kesinlik Ortalaması (mAP) gibi ifadeler sınıflandırma ölçütü olarak kullanılmıştır. Doğruluk parametreleri (P, R ve mAP) %80'in üzerinde çıkmıştır.

Transfer öğrenme olmadan Yolo v5 sınıflandırıcısında, izolatör ve buz türlerini içeren 595 görüntüden 1386 eğitim seti ile 50 epok değerinde eğitim gerçekleştirilmiştir. Aynı veri setine daha sonra transfer öğrenme yaklaşımı uygulanmıştır. Transfer öğrenme olmadan uygulanan durum model X, transfer öğrenme uygulanan durum ise model 3 olarak nitelendirilmiştir. Transfer öğrenme olmadan eğitilen model ile transfer öğrenme ile eğitilen Model 3

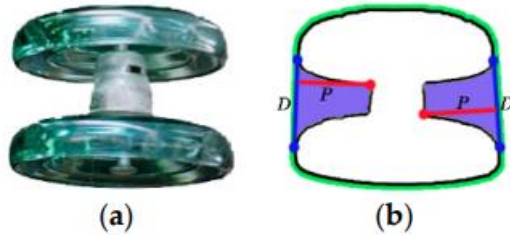
karşılaştırıldığında, P, R ve mAP doğruluğunun sırasıyla %8,0, %14,9 ve %15,3 (%86,6, %91,3 ve %90,1) arttığı görülmüştür.

4.4. Cam İzolatörlerin Etek Aralığı ve Etekler Arası Mesafeye Göre Buzlanma Durumunun Değerlendirilmesi

Bu çalışma buzlu cam izolatörlerin görüntü işleme yöntemlerini araştırmaktadır. Etek aralığı ve etek çıkıntısının hesaplama yöntemleri, GrabCut segmentasyon algoritmasına dayalı olarak bir buzlu izolatör dizisinin dışbükeylik kusurlarının tanınması yoluyla önerilmektedir (Hao & ark., 2018).

Buzlanma öncesi görüntülerdeki zincir izolatörün dış hatları içbükey bir çokgen olarak görülebilmekte ve içbükeyliği buz birikmesiyle azalmaktadır. Hatta şekil şiddetli buz birikmesiyle dışbükey bir çokgene dönüşebilmektedir. Bu nedenle, görüntülerdeki zincir izolatörün şekli izolatörlerin buzlanma durumunu yansıtmaktadır.

Bir içbükey çokgenin dışbükey gövdesi, onu çevreleyen minimum dışbükey çokgeni ifade etmektedir. Örneğin, Şekil 17 (a)'da iki elemanlı cam izolatör eteklerinin şekli, dışbükey kabuğu ve dışbükeylik kusuru ise Şekil 17 (b)'de gösterilmektedir. Siyah çizgi şekli, yeşil çizgi dışbükey gövdeyi ve mor bölge dışbükeylik kusurunu göstermektedir (Hao & ark., 2018).

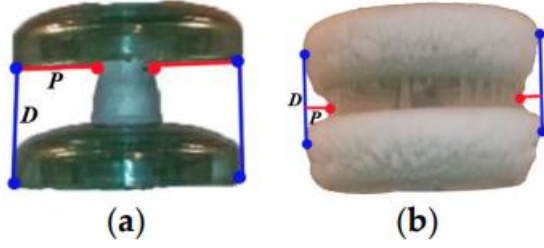


Şekil 17. İki elemanlı cam izolatör eteklerinin dışbükey gövdesi ve dışbükeylik kusuru. (a) Orijinal görüntü (b) İşlenmiş görüntü.

Dışbükeylik kusuru için üç önemli parametre vardır: başlangıç noktası, bitiş noktası ve derinlik. Şekil 17 (b)'de gösterildiği gibi başlangıç noktası ve bitiş noktası, mavi noktalarla işaretlenmiş dışbükey gövde ve dışbükeylik kusurunun kesişim noktalarıdır. Dışbükeylik kusurunun en derin noktası, izolatörün dış hatlarından kırmızı noktayla işaretlenmiş dışbükey gövdeye kadar maksimum dikey mesafeye sahip olan noktadır. Dışbükeylik kusurunun derinliği, başlangıç ve bitiş noktaları tarafından belirlenen en derin noktadan D çizgisine kadar olan dikey mesafeyi ifade etmektedir.

Hesaplama işleminde ilk olarak dışbükey gövde ve dışbükeylik kusuru hesaplanmaktadır. Buzla kaplı ve buzla kaplı olmayan zincir izolatör görüntüleri GrabCut algoritması kullanılarak bölümlere ayrılmaktadır. Başlangıç noktası, bitiş noktası ve derinlik hesaplanmaktadır. Başlangıç noktası, bitiş noktası ve derinliğe göre, etek aralığı yaklaşık olarak başlangıç noktası ile bitiş noktası arasındaki mesafeye (D) eşittir ve etek çıkıntısı yaklaşık olarak dışbükey kusur derinliğine (P) eşittir. Hesaplama sonuçları, ölçülen piksel mesafesi olarak temsil edilmektedir.

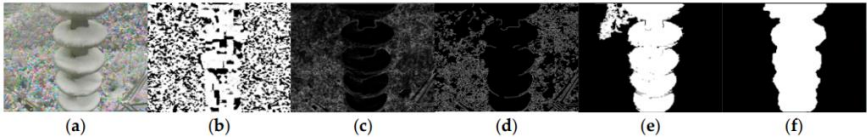
Buzlanma öncesi ve sonrası izolatörler Şekil 18'deki gibi gösterilmektedir. Şekil 18 (b)'de izolatör eteklerinin hem üst hem de alt yüzeyi buzla kaplıdır ve etek aralığı buz sarkıtlarıyla kapatılmıştır. D ve P değişiminin buzlanma derecesi ile ilgili olabileceği sonucuna varılmıştır (Hao & ark., 2018).



Şekil 18. Etek aralığı (D) ve etek çıkıntısı (P)

(a) Buzlanma öncesi (b) Buzlanma sonrası değişimi

Şekil 19, beş görüntü işleme yöntemine göre segmentasyon sonuçlarını göstermektedir. Şekil 19 (b)'de buzla kaplı izolatörün şeklinin eşik yöntemiyle arka plandan düzgün bir şekilde bölümlenmediği açıkça gösterilmiştir. Şekil 19 (c-d), kenar tespit algoritmasına dayanan Sobel ve Canny yönteminin sonuçlarıdır. Daha iyi segmentasyonlar elde edilmesine rağmen arka planda hala buzlanma koşullarını doğru bir şekilde izlemek için yeterli olmayan çok sayıda kenar vardır. Şekil 19 (e), çekirdek bölge büyüme yöntemini kullanan segmentasyon sonuçlarını göstermektedir. Ancak buzla kaplı izolatörün şekli düzensizdir. Şekil 19 (f)'de gösterildiği gibi GrabCut'un bölütleme sonuçları, şekil düzgünlüğü ve doğruluğu açısından diğer dört yöntemden üstündür (Hao & ark., 2018).



Şekil 19. Buzla kaplı izolatör için altı görüntü segmentasyon yönteminin deneyleri. (a) Orijinal görüntüler (b) Eşik yöntemi (c) Sobel (d) Canny (e) Çekirdek bölge büyüme yöntemi (f) GrabCut

GrabCut kullanılarak şekli çevreleyen bir dışbükey çokgen olarak bölümlere ayrılabilceği gözlemine dayanarak, iki parametre (etek çıkıntısı ve etek aralığı) tanımlanır. Buna karşılık, diğer dört yöntem buzlanma koşullarını niceliksel olarak analiz etmek için etek aralığını ve etek çıkıntısını elde edemez.

5. Sonuçlar

Atmosferik koşullar altında izolatörlerin buzlanması, elektrik güç sistemlerinin güvenilirliği üzerinde ciddi bir risk faktörü oluşturmaktadır. Bu durum, özellikle soğuk iklim bölgelerinde yaygın olarak görülmekte ve enerji kesintilerine, arızalara ve sosyoekonomik kayıplara neden olmaktadır. İzolatörlerde buzlanma ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalarda, fiziksel parametrelerin yanı sıra çevresel etkenlerin de önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir.

Buzlu izolatörlerin atlaması, buzlanma türü, buzlanma miktarı, buz saçağı uzunluğu, izolatör kirlilik seviyesi, hava basıncı ve izolatör özellikleri gibi çeşitli faktör ve parametrelerin birleşik etkisinin sonucudur (Zhu & ark., 2021). Bu nedenle karakteristik parametreler, buzlanma atlama riski tahmin modelinde girdi parametreleri olarak kullanılabilir. Ancak bu faktörler ile izolatör atlaması arasındaki ilişkiyi ölçmek zor olmuştur. Bu yüzden gelecekteki çalışmalarda parametrelerin artırılması ve artan parametrelerin kontrolünün sağlanması, atlama olayının daha yakından takip edilebilmesi için oldukça önemlidir.

Son yıllarda, yapay zekâ tekniklerinin kullanımının artmasıyla birlikte, bu alandaki sorunlara daha etkili çözümler bulma potansiyeli ortaya çıkmıştır. Yapay zekâ destekli sensör

sistemleri ve tahmin modelleri, izolatörlerin buzlanma riskini öngörmekte ve bu risklere karşı önleyici tedbirler almakta önemli bir rol oynayabilmektedir.

Alternatif akım atlama işlemi sırasında buzla kaplı zincir izolatörün yüzey atlamalarının özelliklerinin çıkarılması ve sınıflandırılması için kullanılan GLCM yönteminin dört istatistiksel parametresi (ASM, CON, IDM ve ENT), buzlanma atlaması sürecinin deşarj mekanizmasını ortaya çıkarmak için kullanılmıştır (Liu & ark., 2021). Önerilen model yalnızca piksel yoğunluğu, deşarj görüntüsünün homojenliği ve gri seviyedeki yerel değişiklikler gibi görüntü parametreleriyle ilgili olmuştur. Bu nedenle bu yöntem farklı çevre koşullarında buzlu izolatörlerin atlamasının tahmini için hassas bir yöntem olarak nitelendirilemez. Fakat görüntü işleme tekniklerinin doğrudan buzlu izolatörlerde atlama olayı ile ilişkilerinin az olduğu göz önünde buldurulacak olursa yöntem gelecek çalışmalar için umut vericidir.

İzolatörlerde buzlanma üzerine yapılan çalışmalarda buz türünün önemli bir parametre olduğu düşünülerek kar, kırağı, karışık kırağı, sır ve normal buz türlerini tanımak için zayıf denetimli ve aşamalı transfer öğrenme yöntemi üzerinde durulmuştur (Hao & ark., 2022). Transfer öğrenme yöntemi yapay zekâ alanında çok kullanılsa da izolatörlerde buzlanma durumunda kullanılması bakımından literatüre farklılık katmıştır. Morfolojik benzerlikleri nedeniyle kırağı ve karışık kırağının kolaylıkla karıştırıldığı belirlenmiştir. Bu nedenle görüntülerin ön işleminde kullanılan mozaik yönteminin geliştirilmesi veya farklı yöntemlerin denenmesi doğruluk oranlarının yükselmesi için önemli bir avantaj olabilir. Transfer öğrenimi olmadan eğitilen modele göre doğruluk

oranlarının %8,0 - %15,3 arasında arttığı görülmüştür. Bu durum transfer öğrenme yaklaşımının verilerin eğitilmesinde önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir.

İzolatörlerde buzlanma miktarının önemi üzerine etek aralığı ve etek çıkıntısı parametre olarak kabul edilip GrabCut segmentasyonu uygulanmıştır (Hao & ark., 2018). GrabCut segmentasyon algoritmasına dayalı olarak, etek çıkıntısı ve etek aralığı, dışbükeylik kusur tanıma kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı görüntü işleme yöntemiyle karşılaştırıldığında, GrabCut algoritmasının, buzla kaplı izolatörün dış hatlarını orijinal görüntülerden çıkarma konusunda daha üstün olduğu görülmüştür. Uygulanan yöntem buzlanma miktarı üzerine önemli bir bakış açısı katsa da izolatörlerde buzlanma olayının etkilendiği birçok parametreden sadece birine odaklanması bakımından zayıf kalmıştır.

Elektrik iletim ve dağıtım elemanlarından biri olan izolatörler, elektrik arızalarının en çok yaşandığı malzemelerdir. Arızalar genellikle kirlenme, buzlanma ve izolatör kusurlarından (çatlama, kırılma vb.) kaynaklanmaktadır. Yapay zekâ tekniklerinin izolatörlerde atlama olayı üzerine etkisi incelendiğinde, gerçekleştirilen birçok çalışmanın kirli izolatörler üzerine yapıldığı görülmüştür. Bu bakımdan izolatörlerde buzlanma konusu geri kalmış olup birçok yönüyle araştırmaya muhtaçtır. İzolatörlerde buzlanmanın yapay zekâ ile gerçekleştirilen çalışmalarında genel olarak görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Kullanılan tekniklerde izolatörlerin atlama için kullanılan parametrelerin ancak bir kısmı kullanılmıştır. Bu bakımdan atlama olayının tahmini tamamen çözümlenememiştir. Buzlanmış izolatörlerin

atlama olayını daha derinden incelemek için ilgili parametrelerin arttırılması gereklidir.

Kaynakça

1. Özküçük, M.B., & Gençoğlu, M.T. (2023). İzolatörlerde Buzlanmanın Yüzeysel Kaçak Akımlar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(2), 713–723.

2. Farzaneh, M., & Chisholm, W. (2014). 50 years in icing performance of outdoor insulators. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 30(1), 14–24.

3. Zhu, Y., Zhou, R., Zhang, Y., Dong, X., & Huang, X. (2021). Review on flashover risk prediction method of iced insulator based on icing monitoring technology. *Cold Regions Science and Technology*, 185, 103252.

4. Hu, Y., Jiang, X., Guo, S., Xian, R., Zong, C., Yang, Z., & Han, X. (2020). Influence of snow accretion on arc flashover gradient for various types of insulators. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14(12), 2361–2367.

5. Hu, Y., Jiang, X., Guo, S., & Yang, Z. (2020). Comparison of AC Flashover Performance of Snow-Accreted Insulators Under Natural and Artificial Simulation Environments. *IEEE Access*, 8, 178034–178043.

6. Jiang, X., Dong, B., Zhang, Z., & Shu, L. (2014). Research and development on flashover of ice-covered insulators. *High Voltage Eng.*, 40(2), 317-335.

7. Zhang, Z. J., Jiang, X. L., Hu, J., & Sun, C. (2009). Influence of icing degree on DC icing flashover performance of composite insulator. *High Voltage Engineering*, 35(10), 2545-2550.

8. Zhang, Y., Huang, X., Jia, J., Zhu, Y., Zhao, L., & Zhang, X. (2020). Detection and Condition Assessment of Icicle Bridging for Suspension Glass Insulator by Image Analysis. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(10), 7458–7471.
9. Deng, Y., Jia, Z., Guan, Z., & Zhou, J. (2015). Effects of electric field distribution and water drop ejection on flashover of icicles in plane-to-plane gaps. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 22(2), 775–781.
10. Farzaneh, M. (Ed.). (2008). *Atmospheric icing of power networks*. Springer Science & Business Media.
11. Rizk, F., & Rezazada, A. (1997). Modeling of altitude effects on AC flashover of polluted high voltage insulators. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12(2), 810–822.
12. Han, X., & Jiang, X. (2021). Analysis of critical condition for dry and wet growth icing on insulators. *Electric Power Systems Research*, 192, 107006.
13. Farzaneh, M., & Chisholm, W. A. (2009). *Insulators for Icing and Polluted Environments*.
14. Zhu, Y., Liu, C., Huang, X., Zhang, X., Zhang, Y., & Tian, Y. (2019). Research on Image Recognition Method of Icicle Length and Bridging State on Power Insulators. *IEEE Access*, 7, 183524–183531.
15. Chen, X. (2000). Modeling of electrical arc on polluted ice surfaces.

16. Liu, Y., Li, Q., Du, B., & Farzaneh, M. (2021). Feature extraction and classification of surface discharges on an ice-covered insulator string during AC flashover using gray-level co-occurrence matrix. *Scientific Reports*, 11(1).

17. Ojala, T., Pietikäinen, M., & Harwood, D. (1996). A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions. *Pattern Recognition*, 29(1), 51–59. ,

18. Yang, L., Jiang, X., Hao, Y., Li, L., Li, H., Li, R., & Luo, B. (2017). Recognition of natural ice types on in-service glass insulators based on texture feature descriptor. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24(1), 535–542.

19. Hao, Y., Wei, J., Jiang, X., Yang, L., Li, L., Wang, J., . . . Li, R. (2018). Icing Condition Assessment of In-Service Glass Insulators Based on Graphical Shed Spacing and Graphical Shed Overhang. *Energies*, 11(2), 318.

20. Thanh, P. N., & Cho, M. Y. (2022). Insulator Leakage Current Prediction Using Hybrid of Particle Swarm Optimization and Gene Algorithm-Based Neural Network and Surface Spark Discharge Data. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–14.

21. Thanh, P. N., & Cho, M. Y. (2023). Online leakage current classification using convolutional neural network long short-term memory for high voltage insulators on web-based service. *Electric Power Systems Research*, 216, 109065.

22. Arshad, Ahmad, J., Tahir, A., Stewart, B. G., & Nekahi, A. (2020). Forecasting Flashover Parameters of Polymeric

Insulators under Contaminated Conditions Using the Machine Learning Technique. *Energies*, 13(15), 3889.

23. Taibaoui, L., Zegnini, B., & Mahdjoubi, A. (2022). An Approach To Predict Flashover Voltage on Polluted Outdoor Insulators Using ANN. *2022 19th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*.

24. Salem, A. A., Lau, K. Y., Ishak, M. T., Abdul-Malek, Z., Al-Gailani, S. A., Al-Ameri, S. M., . . . Ghoneim, S. S. M. (2022). Monitoring Porcelain Insulator Condition Based on Leakage Current Characteristics. *Materials*, 15(18), 6370.

25. Pei, S., Liu, Y., Ji, X., Geng, J., Zhou, G., & Wang, S. (2018). UV-flashover evaluation of porcelain insulators based on deep learning. *IET Science, Measurement & Technology*, 12(6), 770–776.

26. Hao, Y., Liang, W., Yang, L., He, J., & Wu, J. (2022). Methods of image recognition of overhead power line insulators and ice types based on deep weakly-supervised and transfer learning. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 16(11), 2140–2153.

BÖLÜM VII

Yenilenebilir Güç Üretim Sistemlerinin Modellenmesi ve Optimizasyonu

Bahtiyar DURSUN¹
Ercan AYKUT²

1. Giriş

2.HOMER Yazılımının Tanıtılması

HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables), yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu için geliştirilmiş bir simülasyon yazılımıdır. İlk olarak Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilmiştir ve günümüzde HOMER Energy tarafından HOMER Pro olarak lisanslanmış ve ticari olarak satışı yapılmaktadır. Bu

¹ Doç. Dr., İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye, Orcid: 0000-0002-6036-7408, bdursun@gelisim.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye, Orcid: 0000-0001-8639-8408, caykut@gelisim.edu.tr

yazılım, enerji alanında çalışan profesyoneller, mühendisler ve ilgili uzman kişiler tarafından enerji projelerinin fizibilitesini analiz etmek ve en uygun enerji üretim çözümlerini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

HOMER yazılımı, kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir. Grafikselleştirilmiş kullanıcı arayüzü, enerji sistemlerinin görselleştirilmesini ve simülasyon sonuçlarının kolayca anlaşılmasını sağlamaktadır. HOMER yazılımının önemli bir özelliği ise simülasyon sonuçlarını grafikler, tablolar ve raporlar halinde sunmakta, böylece kullanıcıların verileri anlamasını ve analiz etmesini kolaylaştırmaktadır. HOMER yazılımı diğer yazılımlar ve veri kaynakları ile entegrasyonu kolaylaştıran veri içe ve dışa aktarma özelliklerine sahiptir. Geliştiriciler için API desteği sunarak diğer yazılımlar ve sistemlerle entegrasyonunu sağlar. Ayrıca, HOMER Energy tarafından sağlanan kapsamlı destek ve eğitim materyalleri, kullanıcıların yazılımı etkin bir şekilde kullanmalarına yardımcı olmaktadır. Dahası kullanıcılar arasında bilgi paylaşımı ve sorun çözme için aktif topluluk ve forumlar mevcuttur(Khalil et al. 2021).

HOMER yazılımı yeniliklere ve enerji piyasasındaki değişikliklere uyum sağlaması amacıyla düzenli olarak güncellenmektedir. Dahası kullanıcı geri bildirimleri doğrultusunda sürekli olarak geliştirilmekte ve yeni özellikler eklenmektedir. HOMER, adalar, kırsal alanlar, ticari yapılar, askeri üsler ve uzak yerleşim birimleri gibi farklı uygulama alanlarının enerji simülasyonu ve modellenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle enerjiye erişimin sınırlı olduğu ya da elektrik enerjisinin ulaşmadığı bölgelerde, güvenilir ve sürdürülebilir enerji çözümleri sunmak için ideal bir araçtır. Kullanıcıların kendi ihtiyaçlarına ve senaryolarına

göre enerji sistem parametrelerini özelleştirmelerine olanak tanır(Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal 2006).

3.Hibrit Enerji Sistemlerinin Modellenmesi ve Simülasyonu

HOMER yazılımı, hibrit enerji sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonu için kullanılan güçlü bir araçtır. Bu yazılım, farklı enerji kaynaklarını (örneğin, güneş, rüzgar, dizel jeneratörler ve bataryalar) ve enerji tüketim profillerini birleştirerek en uygun enerji sistemlerini tasarlamaya yardımcı olmaktadır. HOMER’da ilk adım sistem mimarisini tanımlamaktır. Bu aşamada hibrit enerji sisteminin modellenmesi sistem bileşenlerinin tanımlanmasıyla başlamaktadır(Bahramara, Moghaddam, and Haghifam 2016; Lambert, Gilman, and Lilienthal 2016). Sistem mimarisini enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri yükler ve diğer bileşenler olmak üzere temelde dört ana unsur oluşturmaktadır. Bunlardan

- Elektrik ve termal yükler, sistemde tüketilen enerjiyi
- Biyokütle jeneratörü, güneş panelleri, rüzgar türbinleri, dizel jeneratörler, şebeke bağlantıları vb. bileşenler enerji kaynaklarını,
- Bataryalar veya diğer enerji depolama sistemleri enerji depolama sistemlerini
- Konvertörler, güç elektroniği vb. elemanlar ise diğer bileşenleri

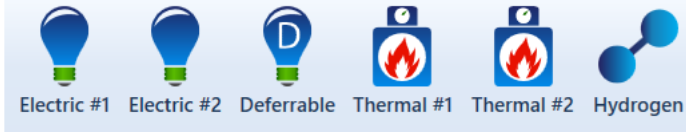
ifade etmektedir.

3.1.Yükün Modellenmesi

HOMER’da elektrik ve termal olmak üzere iki tipte yük türü tanımlanmaktadır. Elektrik yükleri elektrik enerjisi tüketen cihazlar ve sistemler için günlük, mevsimsel veya yıllık olarak değişebilen yük profilleri tanımlanmaktadır. Bu yükler konut, ticari veya endüstriyel kullanım gibi farklı kategorilere ayrılmaktadır. Termal yükler ise ısıtma, soğutma veya sıcak su gibi termal enerji talepleri de yük profili olarak tanımlanmaktadır. Bu yük profillerinin giriş verileri zaman dilimi ve talep şeklinde yapılabilmektedir. Zaman dilimi yüklerin saatlik, günlük, haftalık veya yıllık olarak girilmesi işlemidir. Bu sayede, yüklerin zamanla nasıl değiştiği kolaylıkla modellenebilmektedir. Bir diğeri ise talep şeklinde veri girişi sürecidir. Her zaman dilimi için beklenen enerji talebi (kW veya MW cinsinden) girilir. Bu veri girişi gerçek ölçüm verilerine dayanarak veya tahminler kullanılarak yapılabilir. Yüklerin belirlenmesinde üç farklı durum söz konusudur(HOMER 2018; Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal 2006). Bunlar:

- **Sabit Yükler:** Gün boyunca sabit kalan yüklerdir.
- **Değişken Yükler:** Gün içinde, haftalık veya mevsimsel olarak değişen yüklerdir.
- **Zaman Dilimlerine Göre Yükler:** Belirli saatlerde veya dönemlerde artan veya azalan yüklerdir. Örneğin, gündüz saatlerinde artan ticari yükler veya akşam saatlerinde artan konut yükleri.

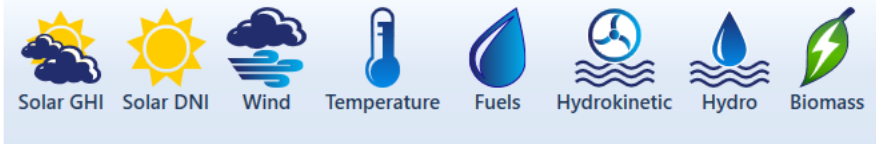
HOMER’da yük modülü altında yer alan ve yük çeşitlerinin Şekil-1’de görülmektedir.



Şekil 1. HOMER yük modülündeki yük çeşitleri

3.2. Enerji Kaynaklarının Modellenmesi

HOMER yazılımı bir veya daha fazla enerji kaynağının birlikte kullanılarak sistem modellenmesine imkan vermektedir. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle, dizel jeneratörler, yakıt hücreleri ve bataryalar gibi farklı enerji kaynaklarını ve teknolojilerini enerji kaynağı olarak modellenebilmektedir. Ayrıca HOMER, farklı enerji kaynaklarını entegre eden hibrit enerji sistemlerini simüle edebilmekte ve kullanıcılar, bu farklı enerji kaynaklarını modelleyerek, sistemin performansını ve maliyet etkinliğini analiz etmektedirler. HOMER’da kaynaklar modülü altında yer alan enerji kaynakları Şekil -2’de görülmektedir (Bahramara et al. 2016; HOMER 2018; Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal 2006).



Şekil -2 HOMER kaynaklar modülü ve içeriği

3.3. Bileşenlerin Modellenmesi

HOMER yazılımında bileşenlerin modellenmesi, hibrit enerji sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu için temel bir adımdır. Bu adımda, sistemde yer alacak tüm bileşenler detaylı olarak tanımlanır ve modellemeye dahil edilir. Şekil -3’de bu bileşenler görülmektedir.

- **Verimlilik:** PV modüllerinin verimlilik oranı.
- **Açıklık Faktörü ve Eğilim Açısı:** Panelin yerleştirilme açısı ve konumu.

Meteorolojik Veriler:

- **Güneş Işıma Verileri:** Saatlik veya aylık güneş ışımasını verileri.

HOMER yazılımı, hibrit enerji sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu için kapsamlı bir simülasyon aracı sağlar. Sistem bileşenlerinin ve parametrelerin doğru tanımlanması, çeşitli senaryoların simüle edilmesi ve sonuçların detaylı analiz edilmesi ve en uygun hibrit enerji sisteminin tasarlanmasına yardımcı olur.

3.4.Simülasyon ve Optimizasyon

HOMER, belirli bir zaman dilimi boyunca (genellikle bir yıl) enerji sistemi performansını simüle etmektedir. HOMER, saatlik veya daha küçük zaman adımlarında simülasyon yaparak enerji üretimi ve tüketimini hesaplamaktadır. Enerji üretiminde hangi kaynaktan ne kadarlık bir enerji sağlandığını da göstermektedir. Her zaman adımında enerji kaynakları ile yükler arasındaki dengeyi sağlamakta, fazlalık veya eksiklik durumlarını belirlemektedir. Enerji kaynaklarının ürettiği enerji, yüklerin talep ettiği enerji ile karşılaştırıldığında fazla enerji varsa depolama sistemlerine yönlendirmekte, enerji açığı varsa depolama sistemlerinden yükü çekmekte veya yedek kaynaklar kullanmaktadır. Bunun yanı sıra başlangıç maliyetleri, işletme maliyetleri, bakım maliyetleri ve yakıt maliyetleri gibi tüm maliyet türlerini de hesaplamaktadır(Bahramara et al. 2016).

HOMER’da sistem konfigürasyonları optimize edilmektedir. Amaç fonksiyonu genellikle toplam maliyeti minimize etmek veya kârı maksimize etmek üzere tanımlanmaktadır. Kısıtlar ise kullanılabilir enerji kaynakları ve kapasiteleri, maksimum/minimum üretim kapasitesi, emisyon limitleri, yüklerin karşılanma oranları olarak belirlenmektedir. HOMER senaryo bazlı analiz ve duyarlılık analizi yapmaya imkân vermektedir. Farklı senaryolar (örneğin, yakıt maliyetlerinde değişiklikler, yük artışları) ve parametreler için simülasyonlar yaparak sistemin performansını ve duyarlılığını analiz etmektedir. Sonuç olarak, HOMER, enerji sistemlerinin tasarımını optimize etmek için güçlü bir araçtır. Kullanıcılar, farklı parametreler ve senaryolar altında sistemin nasıl performans gösterdiğini değerlendirebilmektedir. Bu sayede, en düşük maliyetle en yüksek verimi sağlayan enerji sistemi tasarımlarını kolaylıkla gerçekleştirebilmektedir(HOMER 2018; Srivastava and Giri 2016).

3.5.Ekonomik Analiz

HOMER’da başlangıç maliyetleri, işletme ve bakım maliyeti, yakıt maliyeti ve değişim ve yenilenme maliyetleri olmak üzere temelde dört farklı maliyet modellenmektedir. Başlangıç maliyetleri kurulum maliyeti ve inşaat ve bağlantı maliyetlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Kurulum maliyeti her bileşenin (Dizel jeneratör, PV panelleri, rüzgâr türbinleri, jeneratörler, bataryalar vb.) kendi maliyetlerini ve toplamda ise sistem maliyetini de içermektedir. İnşaat ve bağlantı maliyeti ise sistem inşaatı ve şebeke bağlantısı için gereken ek maliyettir. İşletme ve bakım maliyeti kendi içerisinde sabit işletme ve bakım (O&M) maliyetleri ve değişken O&M maliyetleri olmak üzere iki alt bileşene

ayrılmaktadır. Sabit işletme ve bakım (O&M) maliyetleri her yıl sabit olarak oluşan maliyettir. Değişken O&M maliyetleri ise üretilen enerji miktarına bağlı olarak değişen maliyetlerdir. Yakıt maliyetini yakıt fiyatı ve yakıt lojistiği belirlemektedir. Dizel jeneratörler gibi yakıt tüketen bileşenler için yakıt maliyeti en önemli maliyettir. Diğer bir maliyet olan yakıtın temininde ortaya çıkan taşıma maliyetidir. Değişim ve yenileme maliyetini temelde ömrü dolduğunda yenisi ile değiştirilen bileşenler oluşturmaktadır(Ayktut, Dursun, and Görgülü 2023a; Dursun, Ayktut, and Dursun 2021).

Proje için kullanılan sermayenin yıllık faiz oranı, gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değere indirgenmesi için kullanılan oran ve projenin finansmanı için kullanılan kredi koşulları gibi ekonomik parametreleri de HOMER kullanmakta ve bu parametreleri sistem optimizasyonunda dikkate almaktadır. Projenin ömrü boyunca tüm maliyetlerin ve gelirlerin bugünkü değerlerinin toplamını net şimdiki değer olarak bilinen parametre hesaplanmaktadır. Yatırımın kârlılığını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra projenin net nakit akışlarının sıfır olduğu indirgeme oranı olan iç verim oranını hesaplamaktadır. İç verim oranı yatırımın getirisi hakkında bilgi içermektedir. Yatırımın geri kazanıldığı süre geri dönüş süresi olarak adlandırılır. Bu süre, başlangıç maliyetlerinin geri kazanılması için gereken süreyi göstermektedir(Ayktut, Dursun, and Görgülü 2023b).

Sistemin ürettiği birim enerji başına düşen maliyete toplam maliyet denir. Projeyi diğer enerji kaynakları ile karşılaştırmakta kullanılır. Ayrıca kurulum maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, yakıt maliyetleri gibi ekonomik faktörleri dikkate

olarak enerji sisteminin toplam maliyeti yaşam döngüsü maliyetini oluşturmaktadır(Dursun et al. 2021).

HOMER, enerji projelerinin çevresel etkilerini de analiz edebilir. Karbon ayak izi hesaplamaları yaparak, kullanıcıların sürdürülebilir ve çevre dostu enerji çözümleri geliştirmelerine yardımcı olur(Aykut et al. 2023b).

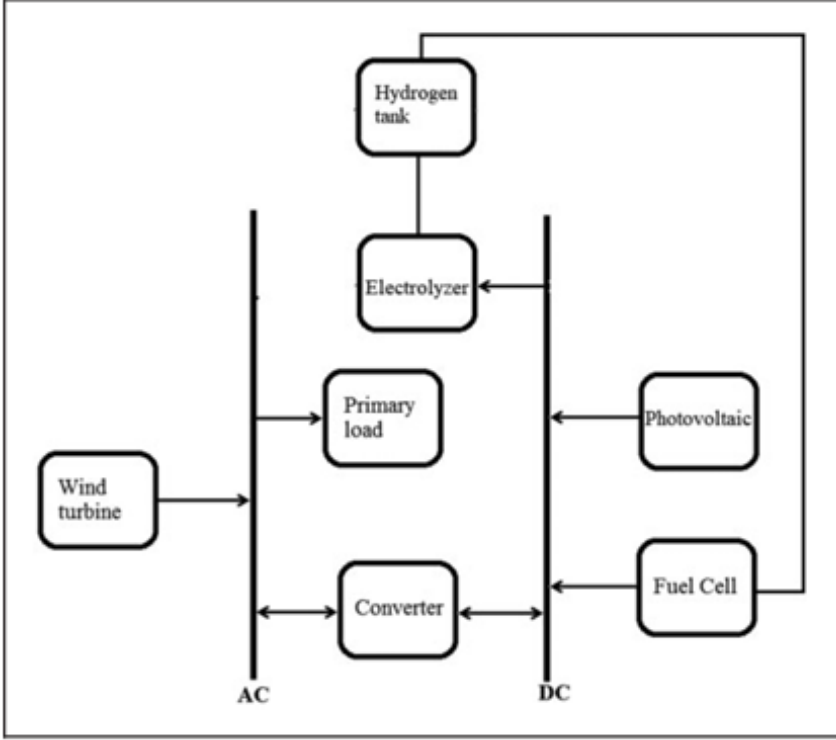
4. HOMER Yazılımıyla Yapılan Bazı Uygulamalar

HOMER yazılımı ile yapmış olduğumuz uygulamalardan bazıları

- Huzur evi enerji ihtiyacının karşılanması,
- Somali’de bulunan bir hastanenin enerji analizi

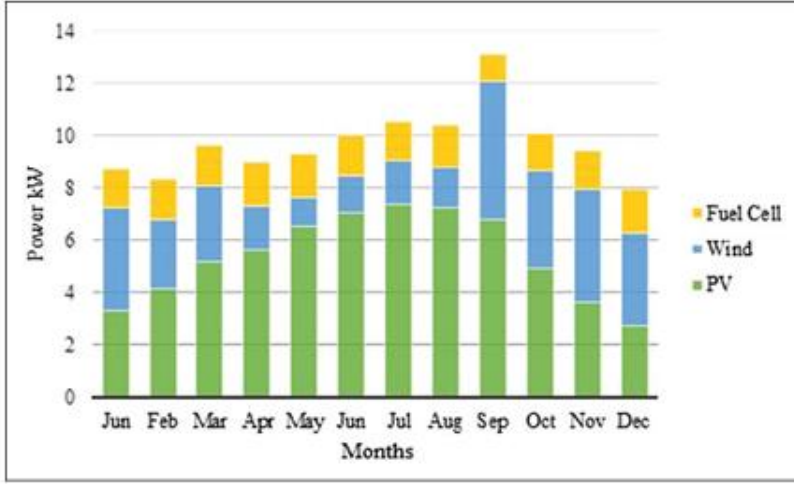
4.1. Huzur Evinin Enerji ihtiyacının Analizi

HOMER yazılımı kullanılarak yapılan bu analizde Güneş paneli, rüzgar türbini, yakıt hücresi, hidrojen tankı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının optimum kullanımını ele alınmıştır. Sistemin bileşenleri Şekil 5’te görülmektedir.



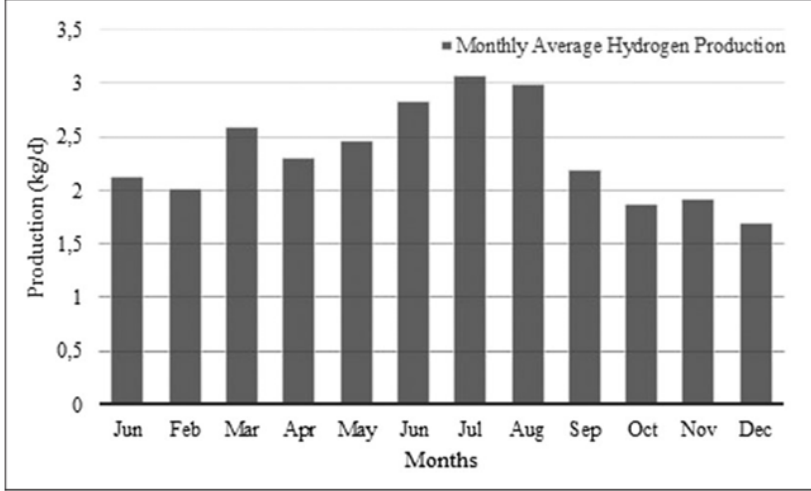
Şekil-5 Sistemin bileşenleri

Yapılan analizden en fazla güneş paneli ve rüzgar türbininden faydalandığı, yakıt hücresi kullanımının daha az olduğu görülmektedir. Enerji kaynaklarının aylık bazda güç üretimi Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil-6 Kaynakların aylık güç üretim miktarları

En düşük maliyete sahip optimum sistem 30kW PV panel, 20kW rüzgar türbini, 20kW yakıt hücresi, 20kW güç konverteri, 20kW doğrultucu, 50kW Elektrolizör ve 100kg Hidrojen tankına sahiptir. Elektrolizör tarafından üretilen hidrojen miktarı Şekil 7’de görülmektedir.



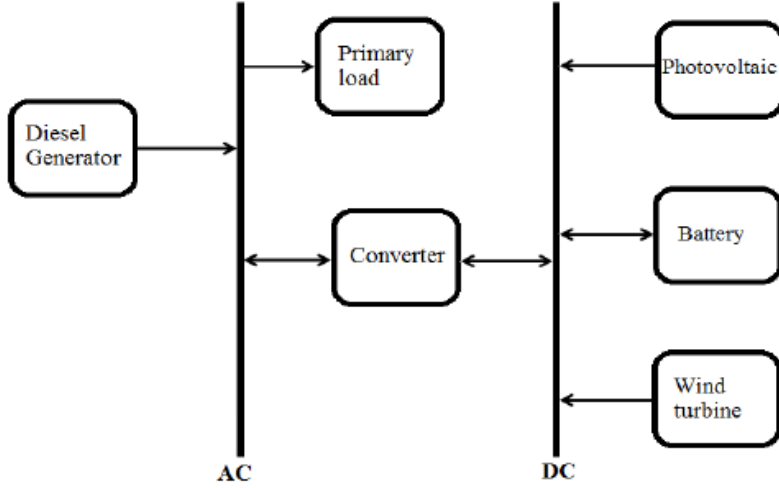
Şekil-7 Elektrolizör tarafından üretilen hidrojen miktarı

Sistemin bugünkü net maliyeti 607,298 dolar ve birim enerji maliyeti 1.30 dolar/kWh olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca HOMER ile yapılan çevresel analiz sonucunda da yıllık 5,44 kg carbon dioksit, 3,46kg karbon monoksit, 30,9kg azot oksitlerin atmosfere salındığı sonucuna ulaşılmıştır.

4.2. Somali'deki Bir Hastanenin Enerji ihtiyacının Analizi

HOMER yazılımı kullanılarak yapılan bu çalışmada bir hastanenin enerji ihtiyacının rüzgar, güneş, jeneratör ve depolama ile en uygun şekilde karşılanması amaçlanmaktadır. Şekil 8'de sistemin bileşenleri görülmektedir.



Şekil-8 Hastanenin sistem bileşenleri

4.2.1. Yalnız Dizel Jeneratör İle Güç Üretimi

Bu sistem diğerleri arasında en yüksek maliyetli sistemdir. Enerji 350kW'lık iki adet jeneratör tarafından sağlanır. Sistemin bugünkü net maliyeti 9,608,750 dolar olup birim enerji maliyeti 0,36 dolar/kWh tir. Yıllık 2,436,836 kWh enerji üretilmektedir.

4.2.2. Depolamasız Rüzgar/Dizel Güç Üretimi

En düşük maliyet bakımından depolamalı Rüzgar/Dizel sisteminden sonra gelmektedir. Toplam bugünkü net maliyeti 5,663,186 dolar olup birim enerji maliyeti 0.213 dolar/kWh tir. Sistem 750kW rüzgar türbini ve 350kW dizel jeneratöre sahiptir. Sistemin yenilenebilir oranı %56'dır. Yıllık 1,508,223 kWh enerji dizel jeneratör tarafından üretilmekte olup 1,016,096 kWh enerji rüzgar türbini tarafından üretilmektedir.

4.2.3. Depolamalı Rüzgar/Dizel Güç Üretimi

Bugünkü net maliyet ve birim enerji maliyeti bakımından en iyi sistemdir. Toplam bugünkü net maliyeti 5,418,316 dolar olup birim enerji maliyeti 0.208 dolar/kWh tir. Sistem 330kW rüzgar türbini, 350kW dizel jeneratör, 200kW inverter ve 300 adet aküye sahiptir. Sistemin yenilenebilir oranı %34'tür. Yıllık 1,657,653 kWh enerji dizel jeneratör tarafından üretilmekte olup geri kalan enerji rüzgar türbini tarafından üretilmektedir.

4.2.4. Depolamasız Güneş/Dizel Güç Üretimi

Toplam bugünkü net maliyeti 7,989,642 dolar olup birim enerji maliyeti 0.308 dolar/kWh tir. Sistem 250kW güneş paneli, 200kW inverter ve 350kW dizel jeneratöre sahiptir. Sistemin yenilenebilir oranı %16'dır. Yıllık 1,997,114 kWh enerji dizel jeneratör tarafından üretilmekte olup geri kalan enerji güneş panelleri tarafından üretilmektedir.

4.2.5. Depolamasız Güneş//Rüzgar/Dizel Güç Üretimi

Sistem 250kW güneş paneli, 200kW inverter, 330kW rüzgar türbini ve 350kW dizel jeneratöre sahiptir. Sistemin yenilenebilir oranı %45'tir. Toplam bugünkü net maliyeti 6,836,281 dolar olup birim enerji maliyeti 0.258 dolar/kWh tir. Yıllık üretilen gücün %16'sını PV, %35'ini rüzgar türbini ve geri kalanını dizel jeneratör oluşturmaktadır.

4.2.6. Depolamalı Güneş//Rüzgar/Dizel Güç Üretimi

Sistem 250kW güneş paneli, 200kW inverter, 330kW rüzgar türbini, 300 adet akü ve 350kW dizel jeneratöre sahiptir. Sistemin yenilenebilir oranı %49'dur. Toplam bugünkü net

maliyeti 6,302,950 dolar olup birim enerji maliyeti 0.238 dolar/kWh tir.

4.2.7 Hastane İçin Önerilen Sistemlerin Çevresel Analizi

HOMER yazılımı tarafından yapılmış olan çevresel parametreler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Sistemlerin çevresel parametreleri

Sistem	Karbon dioksit (kg)	Karbon monoksit (kg)	Azot Oksitler (kg)
Dizel	3,044,463	7,515	67,055
Depolamasız Rüzgar/Dizel	1,699,208	4,194	37,426
Depolamalı Rüzgar/Dizel	1,536,476	3,793	33,841
Depolamasız Güneş/ Dizel	1,960,666	4,840	43,184
Depolamasız Rüzgar/Güneş/Dizel	1,513,318	3,735	33,331
Depolamalı Rüzgar/Güneş/Dizel	1,282,406	3,165	28,245

Tablodan da görüldüğü gibi atmosfere en az salınım yapan sistem depolamalı rüzgar güneş dizel sistemidir.

Değerlendirme ve Sonuç

HOMER yazılımı özellikle yenilenebilir enerji sistemlerinin modellenmesi, analizi, optimizasyonu, duyarlılık analizi gibi kullanımı yanında ekonomik analiz ve çevresel analiz de yapabilmektedir. Sistemin yük profiline göre enerji ihtiyacını belirlenen kaynak veya kaynaklarla hangi adet ve miktarda kullanılacağını belirlemede yardımcı olur. Literatürde birçok uygulamada kullanılmaktadır. Ayrıca girilen konum bilgisine göre rüzgar ve güneş radyasyon verilerini NREL ve NASA veri tabanından çekmesi de uygulamaları hem daha güvenilir hem de daha kolay hale getirmektedir. Proje ömrü boyunca yapılan tüm harcamalar ve maliyetler de ekonomik analiz ile belirlenmektedir.

Bunlardan dolayı HOMER yazılımının enerji sektöründeki kullanımı hızla artmaktadır.

KAYNAKLAR

Aykut, Ercan, Bahtiyar Dursun, and Sertaç Görgülü. 2023a. “Comprehensive Environmental and Techno-Economic Feasibility Assessment of Biomass- Solar on Grid Hybrid Power Generation System for Burdur Mehmet Akif Ersoy University Istiklal Campus.” *Heliyon* 9(11):e22264. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22264>.

Bahramara, S., M. Parsa Moghaddam, and M. R. R. Haghifam. 2016. “Optimal Planning of Hybrid Renewable Energy Systems Using HOMER: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2016.05.039.

Dursun, Sibel, Ercan Aykut, and Bahtiyar Dursun. 2021. “Assessment of Optimum Renewable Energy System for the Somalia–Turkish Training and Research Hospital in Mogadishu.” *Journal of Renewable Energy and Environment* 8(3):54–67. doi: 10.30501/jree.2021.245232.1140.

HOMER. 2018. “HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) Microgrid Software,.” Retrieved March 3, 2019 (<https://www.homerenergy.com/products/index.html%0D>).

Khalil, Linta, Kamran Liaquat Bhatti, M. Arslan Iqbal Awan, Mughees Riaz, Kiran Khalil, and Nashitah Alwaz. 2021. “Optimization and Designing of Hybrid Power System Using HOMER Pro.” *Materials Today: Proceedings* 47:S110–15. doi: 10.1016/J.MATPR.2020.06.054.

Lambert, Tom Gilman Paul Lilienthal, Peter. 2006. “Micropower System Modeling with HOMER.” Pp. 379–418 in

Integration of Alternative Sources of Energy, edited by G. M. Farret, Felix A. Simoes. John Wiley & Sons, Inc.

Srivastava, R., and V. K. Giri. 2016. "Optimization of Hybrid Renewable Resources Using HOMER." *International Journal of Renewable Energy Research*.

