TÜRKİYE CUMHURİYETİ'NİN YÜZÜNCÜ YILI

Enerjiden Haberleşmeye Mühendislikte Modern Yaklaşımlar

Editör
Bilal Tütüncü

BİDGE

BİDGE Yayınları

Enerjiden Haberleşmeye Mühendislikte Modern Yaklaşımlar

Editör: Doç. Dr. Bilal Tütüncü

ISBN: 978-625-372-570-9

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 25.12.2024
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

İçindekiler

Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Dağıtım Şebekelerinde Karşılaşılan Zorluklar ve Çözümler 5

Doğan ÇELİK 5

Yusuf Ali YÜCEL 5

Bir Fazlı DA/AA Eviricinin SPWM ile Kontrolü 42

Hasan ÜZMUŞ 42

Çapraz İlişki Yönteminin Türkçe ’de Ünlü / Ünsüz Harflerin Birbirinden Ayrılmasında Kullanılması 64

Nuri İKİZLER 64

Kombine Sarj Sistemleri 87

Okan Dinç 87

Akıllı Tarımda Verimlilik: Toprak Nem Sensörlerinin Rolü ve Uygulamaları 102

Sümeyye ÇARKIT 102

Treyler İçin Askeri ve Sivil Çekici Tarafından Çekilebilecek Yapı Oluşturulması 119

Şuheda GÖKBUDAK 119

OKAN DİNÇ 119

Elektrikli ve Hibrit Araçlarda Lityum İyon Batarya Kaynaklı Yangın Olayları Üzerine Genel Bir İnceleme 138

Taner ÇARKIT 138

Uç Yapay Zeka Tasarımı 148

Mustafa Engin 148

Köprü Katodik Koruma Sistemlerinde Sürdürülebilir Enerji Çözümleri: Off-Grid Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Maliyet Analizi 166

Murat ÇIKAN 166
İşçilik ve Kurulum 177
İşçilik ve kurulum giderleri 177
Tarımda Kullanılan Güneş Enerjisi Uygulamaları 182
Yasin Yücel 182
Ayşe ÇİÇEK 182
Muhsin Uğur DOĞAN 182

BÖLÜM I

Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Dağıtım Şebekelerinde Karşılaşılan Zorluklar ve Çözümler

Doğan ÇELİK[1]
Yusuf Ali YÜCEL[2]

Giriş

Elektrik, insan yaşamının kalitesi ve gelişimi için vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Elektrik enerjisine olan talep gün geçtikçe artarken, bu talep artışı yenilenebilir enerji kaynaklarına (YEK) yönelimi hızlandırmaktadır. Fotovoltaik (FV) sistemlerin dağıtım şebekesine entegrasyonu, enerji arzında çeşitlilik sağlarken, şebeke güvenilirliğini ve devamlılığını artırmaktadır. Ancak, FV santrallerin dağıtım şebekesine entegrasyonu teknik zorluklar da ortaya çıkarabilir. FV sistemleri, dağıtım şebekesine harmonik

[1] Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 65080, Türkiye, dogancelik@yyu.edu.tr
[2] Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 65080, Türkiye, yclyusufali@gmail.com

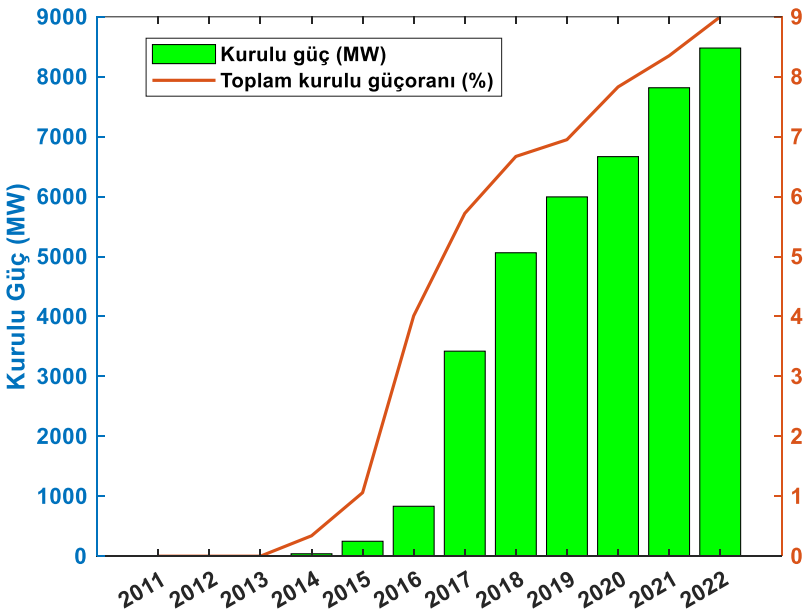
bozunum ve kısa devre akım katkısı getirebilir. Bu katkılar, şebeke kararlılığı, gerilim dengesi ve güç kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Özellikle FV santrallerin neden olduğu harmonik bozunumlar, gerilim dalgalanmalarına yol açarak güç kalitesini düşürebilir. Ayrıca, kısa devre akım katkısının artması, koruma sistemlerinde uyum sorunlarına ve yüksek maliyetli altyapı iyileştirmelerine neden olabilir. Dağıtık üretim (DÜ) olarak adlandırılan bu küçük ölçekli enerji üretim kaynakları, enerji kaybını azaltma ve yerel talebi karşılama gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak, DÜ sistemlerinin entegrasyon sürecinde kısa devre koruma koordinasyonu, aşırı akım röleleri ve topraklama uyumluluğu gibi güvenlik faktörleri dikkatle değerlendirilmelidir. Bu gereklilikler, özellikle dağıtım şebekesine bağlı FV santrallerinin güvenli ve sürdürülebilir şekilde entegrasyonunu sağlamak için kritik öneme sahiptir (Adefarati & Bansal, 2016; Alami & ark., 2022; Khodayar, Feizi, & Vafamehr, 2019).

FV sistemlerinin entegrasyonu, dağıtım şebekesinin koruma ve kontrol planlamalarını da etkilemektedir. Şebeke güvenliği ve kararlılığını sağlamak için, FV santrallerin neden olduğu kısa devre akımları ve harmonik etkiler göz önünde bulundurularak koruma planları güncellenmelidir. Gerilim dengesini korumak ve kısa devre akımlarının artışını kontrol altında tutmak, FV sistem entegrasyonunda önemli adımlardır (Kwan, So, & Chu, 2012). Şekil 1’ de, 2011-2022 yılları arasında Türkiye'deki güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücü ile toplam kurulu güce oranının görsel temsili yer almaktadır. Yeşil sütunlar, megawatt (MW) cinsinden kurulu gücü; turuncu çizgi ise güneş enerjisinin toplam kurulu kapasite içindeki yüzdesel payını göstermektedir. Şekil 1, yıllar

içinde güneş enerjisi kapasitesinin artışını ve Türkiye' nin toplam enerji kapasitesine güneş enerjisinin katkısının büyümesini vurgulamaktadır. Sonuç olarak, FV sistemlerinin dağıtım şebekesi üzerindeki etkilerinin azaltılması ve entegrasyon sürecinin verimli hale getirilmesi için şebeke yönetimi ve koruma koordinasyonuna yönelik yeni stratejiler geliştirilmelidir.

Dağıtım sistemine eklenecek olan yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), özellikle güneş enerjisi hem dağıtım şebekesi hem de kullanıcılar açısından yük profilleri ve gerilim profilini önemli ölçüde etkilemektedir. Olumlu etkiler, genellikle sistemin genel verimliliğini artıracak şekilde gerilim desteği sağlamak, güç kalitesini iyileştirmek, enerji kayıplarını azaltmak ve iletim ile dağıtım kapasitesinin daha bağımsız bir şekilde çalışmasını sağlamak şeklinde sıralanabilir (Pesaran, Huy, & Ramachandaramurthy, 2017). Dağıtım şebekesine entegre edilen üretim birimlerinin, gerilim düzeni, gerilim dalgalanması, harmonik bozunum, topraklama eşik değeri, aşırı akım koruma rölesinin uyumu, kapasite sınırları ve güvenilirlik gibi önemli parametreler açısından dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir. Küçük güçlerde yaygınlaşan DÜ, geleneksel merkezi üretim sistemlerine kıyasla daha güvenilir bir enerji tedarik yöntemi sunmaktadır. Dağıtılmış üretim (DÜ), sadece üreticiler ve sahipleri için ekonomik fayda sağlamakla kalmaz, aynı zamanda enerji kayıplarını azaltır, enerji arzının sürekliliğini artırır ve diğer teknik avantajlar da sunar. Bununla birlikte, DÜ santralleri bağlı oldukları bağlantı noktalarındaki kısa devre akımlarına da katkıda bulunabilir, bu da mevcut koruma sistemlerinin düzgün çalışmasını engelleyebilir. Kısa devre akımı değerinin, dağıtım şebekesine eklenen DÜ

sistemine uyum göstermesi, sistemin tasarım değerlerini aşabilir. Bu durum, enerji ekipmanlarını tehlikeye atabileceği gibi, personel için de ciddi hayati tehlikeler oluşturabilir. Tüm sistem ekipmanlarının bu yeni kısa devre seviyelerine uygun şekilde revize edilmesi, DÜ entegrasyonu için yüksek maliyetlere yol açabilir. Artan arıza akımları, sadece ekipman yerleşimini değil, aynı zamanda koruma uyumunu da etkiler. Şebekeye eklenen DÜ kaynakları, koruma sisteminde değişiklik yapılmasını ve bazı unsurların yeniden değerlendirilmesini gerektirir (Kritsanasuwan, Leeton, & Kulworawanichpong, 2022).



Şekil 1: Türkiye' de GES santralleri kurulu güç bilgileri

Dağıtım sistemine eklenen başka kaynaklar, sadece üretilen enerjinin kalitesini değil, aynı zamanda güç akışını, gerilim

değerlerini ve kısa devre akımlarını da değiştirebilir. Bu tür enerji üretim sistemlerinin entegre edilmesi, koruma planlarındaki teknik zorlukları aşmayı gerektirir. DÜ sistemleri, kısa devre seviyelerindeki değişiklikler nedeniyle aşırı akım rölelerinin koruma koordinasyonu üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Missrani, Nabila, Jufri, Aryani, & Utomo, 2019; Neumann & Erlich, 2012). Aşırı akım röleleri, sistemin sağlıklı kısmını koruyarak gereksiz kesintileri engellemeye çalışırken, güç sisteminin güvenilirliğini sağlamak için önemli bir rol oynamaktadır. Koruma sistemleriyle ilgili sorunlar genellikle korumanın yetersiz erişimi veya yanlış hat açma durumlarından kaynaklanır. Orta gerilim şebekesine büyük bir üretim ünitesi veya birkaç küçük üretim ünitesi bağlandığında, fider koruma rölesinin gördüğü arıza akımı azalabilir ve bu da aşırı akım rölelerinin yanlış çalışmasına yol açabilir. Bu duruma "koruma körlüğü" veya "erişim altındaki koruma" denir. Ayrıca, sağlıklı durumdaki akımların artması, aşırı akım rölelerinin yanlış açılmasına neden olabilir. Bu nedenle, röle koordinasyonunun düzgün çalışıp çalışmadığı yazılım programlarıyla test edilmelidir. DÜ henüz yaygınlaşmamış olsa da bu tür testler, DÜ'nün gelecekteki entegrasyonu hakkında iyi bir öngörü sağlayacaktır. Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin toplam elektrik üretimindeki payı %5,1 civarındadır. Bu da bu tür öngörülerin önemini artırmaktadır. Dağıtım şebekesine DÜ santralinin eklenmesi, ana kaynak fider korumalarının düzgün çalışmasını bozmamalı ve engel oluşturulmamalıdır. Ayrıca, FV sistem santralleri enerjisi kesilmiş bir şebekeyi asla enerjilendirmemelidir. Bir DÜ santrali, ana kaynaktan ayrılmış bir şebekeye bağlı kalırsa veya enerjisi kesilmiş bir şebekeyi beslerse, ada sistemi oluşur, bu da saha çalışanı ve

ekipman için ciddi tehlikeler yaratabilir. Şebekedeki tüm ana kaynak kesicileri açık olduğunda, şebeke içindeki herhangi bir DÜ santrali tüm yükler için kaynak olabilir, ancak bu durumda ilgili frekans ve gerilim sınırları genellikle sağlanamaz. Standart işletme şartlarında FV sistem santrallerinin orta gerilim bağlantı noktasında oluşturduğu en yüksek gerilim artışı %2'yi geçmemeli ve bağlantı noktasında tüm generatörlerin devre dışı kalması sonucu oluşan gerilim değişikliği ise %5'i aşmamalıdır. Türkiye'nin ilgili mevzuatları ve istatistikleri incelendiğinde, DÜ' nün uygulanabilirliği hem şebekenin teknik kapasitesine hem de mevcut mevzuata bağlı olarak belirlenmektedir. Türkiye'deki düzenlemeler, her bir santral başına DÜ bağlantı gücünü 1 MW ile sınırlandırmaktadır. Ancak aynı fiderde birden fazla bağımsız santral bulunabileceği için, şebekenin DÜ gücü üzerindeki sınır bu şekilde belirlenmiştir. Şebeke kapasitesinin belirli bir sınırı aşmaması durumunda bile, DÜ sistemleri röle koordinasyonunu bozabilir ve güvenli bir koruma sağlamak zorlaşabilir (Barradas, Buzo, & Leao, 2018; Shuai, He, Xiong, Lei, & John Shen, 2019; Yuan, Yang, & Zhang, 2022).

DÜ' nün yaygınlaşmasıyla, elektrik şebekelerinin koruma sistemleri, yeni zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu zorlukların başında, dağıtılmış jeneratörler tarafından ağ arızalarına eklenen arıza akımları yer almaktadır. Röle koordinasyonunun arızalanma olasılığı, benzetim çalışmalarıyla test edilmelidir. Gelecekte güvenli ve sürekli büyümeyi sağlamak için, artan arıza akımı seviyeleri ve çift yönlü güç akışına dair zorluklar önceden değerlendirilmelidir. Türkiye'deki dağıtım fiderlerinin tek fazlı kısa devre akımı 1 kA, üç fazlı fiderlerin ise 16 kA ile sınırlıdır. Bu, tek fazlı kısa devre

akımına ilişkin röle koordinasyonunun DÜ tesislerinin katkısının olumsuz etkilerini daha erken yaşanmasına yol açabilir (Cristaldi & ark., 2023; Rezvani, Mehraeen, Ramamurthy, & Field, 2022). Türkiye'deki mevzuat, alçak gerilim (AG) yerine orta gerilim (OG) düzeyinde elektrik üretimini teşvik etmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar ve Türkiye'deki istatistikler, şebekede FV santrallerinin hâkim olduğu bir DÜ yapısını göstermektedir. Bu nedenle, en yaygın DÜ' nün FV sistemlerden sağlanması beklenmektedir. FV sistemlerinin OG düzeyindeki tek fazlı kısa devre katkısı, DÜ için önemli ve spesifik bir konu olarak ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, FV sistemlerinin dağıtım şebekesine entegrasyonu sonucu oluşan harmonik bozulumlarının ve diğer etkilerinin de dikkatlice incelenmesi gerekmektedir (Reno, Brahma, Bidram, & Ropp, 2021a, 2021b; Varma, Rahman, Vanderheide, & Dang, 2016; Zhang, Wang, Zhao, Tian, & Li, 2020).

FV Enerji Sistemlerinin Çalışma Prensipleri, Verimlilik Artışı ve Dağıtım Şebekesindeki Rolü

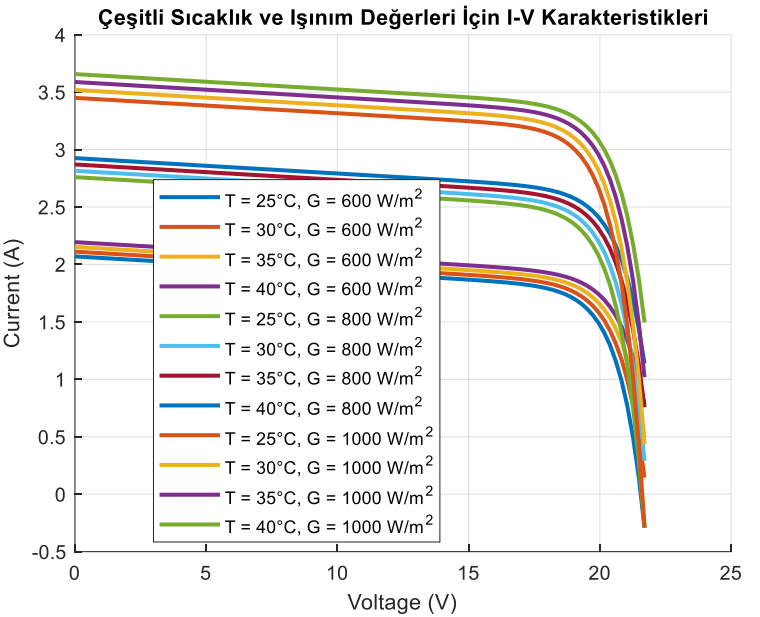
FV enerji sistemleri, hem tüketici abonelerine doğrudan enerji sağlamak hem de dağıtım şebekesine katkı sağlamak amacıyla dağıtım şebekesinde bir YEK olarak işlev görmektedir. FV sistemleri, mevcut YEK' ler arasında yer alır ve bu sayede dağıtım şebekesinde DÜ noktası oluşturabilir. FV sistemler, diğer DÜ kaynakları gibi, şebeke ile senkronize bir şekilde çalışabilir, bu da elektrik dağıtım şebekesindeki gerilim durumunu iyileştirerek enerji sürekliliğini sağlar ve temiz enerji üretimi sağlar. Ancak, YEK' lerin enerji üretimi çevresel faktörlere ve iklim koşullarına dayandığı için, üretim kararsızlıkları ve şebekede kısa devre akımlarının artması gibi sorunlara yol açabilmektedir. Özellikle, FV sistemlerde güneş

ışığı etkisi sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı için, kısa devre akımlarının artması mümkündür. FV sistemlerin temel çalışma prensibi, güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu süreç, FV hücresinin ışığı emerek enerjiye çevirdiği fiziksel bir dönüşüm olarak tanımlanabilir. FV sistemleri, çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak öne çıkar. Sistemin ana bileşeni olan FV panelleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren hücrelerden oluşur ve genellikle silikon bazlı malzemeler kullanılır (Kim & ark., 2013). Elektrik üreten FV hücreleri, güneş ışığını emen yarı iletken malzemelerden yapılır ve bu enerji, güneş pilindeki elektronlara aktarılır. Elektrik akımı daha büyük olduğunda, güneş pili daha fazla foton emer. FV hücrelerinin çoğu, düşük sıcaklıklarda yalıtkan, yüksek sıcaklıklarda ise iletken olarak işlev görebilen yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. Galyum arsenit (GaAs) hücreler, silikon hücrelere göre daha yüksek verimlilik sağlar, ancak bu malzemenin üretim maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle, genellikle uzay programlarında ve özel uygulamalarda kullanılır. FV panellerin verimliliğini artırmak amacıyla üretici firmalar, güneş ışınlarının panel yüzeyindeki yansımasını en aza indirgemeye çalışmaktadır. Bu, panelin metal iletken alanını azaltarak gölgelenmeyi ve yansıma kayıplarını en aza indirmeyi içerir (Barbosa & ark., 2024; Farag & ark., 2023).

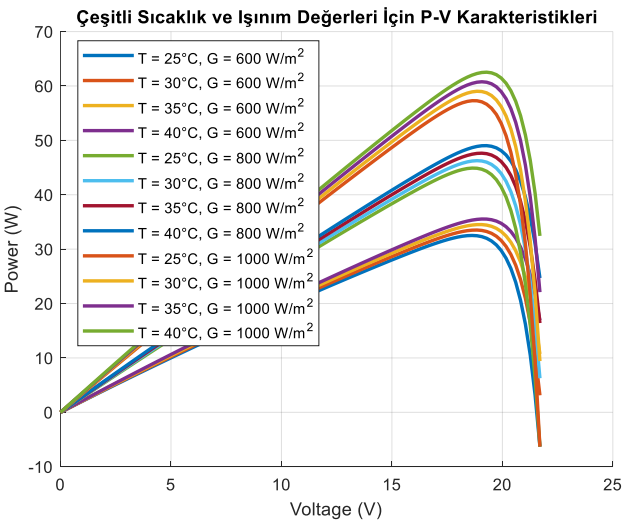
Güneş ışığını emen FV hücresinin verimliliği, gelen fotonların enerjisinin panel kapasitesini aşması durumunda kaybolabilir. Zamanla, kristalin silikon hücrelerinin verimliliği artmış ve %27.6'ya ulaşmıştır, ve bu değerin önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir. Bir güneş enerjisi panelinin akım-gerilim (I-V) karakteristiği, panelin elektriksel çıkışını ve üretim profilini

gösterir. Şekil 2'de ve Şekil 3' de bu karakteristikler özetlenmiştir. Gerilim-akım karakteristiği üzerinden, panel hücresinin ürettiği gerilime göre akım değeri belirlenebilir. Bu veriler, panelin üretim kapasitesinin ve davranışının analiz edilmesini sağlar. Aynı şekilde, elde edilen güç değerlerine bakılarak, panelin potansiyel üretimi hakkında bilgiler edinilebilir.

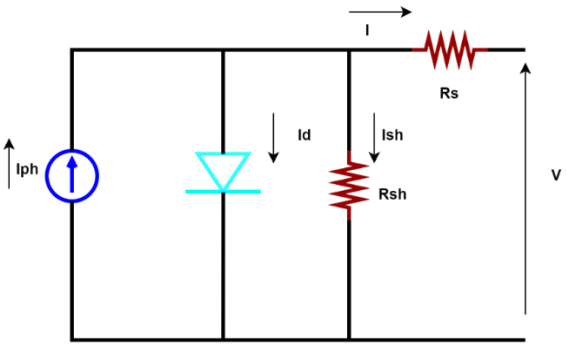
I-V eğrisinde sıcaklık artışı, fotovoltaik hücrelerin verimliliğini olumsuz etkiler. Sıcaklık arttıkça, hücrelerin açık devre gerilimi (V_{oc}) düşer ve kısa devre akımı (I_{sc}) azalır. Bu durum, hücrenin daha düşük verimle çalışmasına neden olur. Diğer yandan, ışınım (güneş ışığının yoğunluğu) arttıkça, hücrenin ürettiği kısa devre akımı ve maksimum güç noktası da artar. Bu, güneş ışığının daha yoğun olduğu koşullarda, FV panelinin daha fazla enerji üretmesi anlamına gelir ve panelin verimliliği artar (Şekil 2). P-V eğrisinde ise sıcaklık artışı, üretilen gücün düşmesine yol açar. Sıcaklık arttıkça, gerilim azalır ve bu da çıkış gücünü olumsuz etkiler. Ancak ışınımın arttığı durumlarda, daha fazla enerji alınır ve maksimum güç artar. Güneş ışığını daha verimli şekilde kullanabilen bir panel, daha yüksek güç üretir. Bu tür karakteristik eğriler, fotovoltaik sistemlerin performansını değerlendirmek ve optimize etmek için oldukça önemlidir. Tasarım ve işletme aşamalarında, sıcaklık ve ışınım gibi çevresel faktörlerin etkilerinin dikkate alınması, sistemin verimliliğini artırmaya yönelik kritik bir adımdır (Şekil 3).



Şekil 2: FV panellerin akım-gerilim karakteristiği



Şekil 3: FV panellerin güç- gerilim karakteristiği



Şekil 4: FV panelinin eş değer devresi

FV sistemlerde enerji üretimi, çevresel faktörlere, özellikle atmosferik koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterir. FV panelleri, güneş ışığının yoğun olduğu ve gölge olmayan koşullarda en yüksek verimlilikle çalışır. Güneş ışığının azaldığı veya panelin gölgelendiği durumlarda ise verimlilik düşer. Bu durum, FV sistemlerinin şebekeye etkisini de dolaylı olarak gösterir. FV hücresinin çıkış akımı, Şekil 4' de verilen eşdeğer devresine bağlı olarak aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$I = I_{ph} - I_0\left(exp\left(-\frac{q(V + IR_s)}{nkT_c}\right) - 1\right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \qquad (1)$$

Bu denklemde I_{ph} FV panellerinin ürettiği foton akımını, R_s seri direncini, R_{sh} paralel direncini, n ideallik faktörünü, I çıkış akımını ve V çıkış gerilimini temsil eder. k Boltzmann sabiti, q elektron yükü, I_0 ise diyotun ters doyma akımını ifade eder. Ayrıca, FV hücresine ulaşan ışığın bir kısmı enerjiye dönüşmeden ısı olarak

dışarı aktarılır. FV panel sıcaklığı, aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$T_c = T_{ortam} + \frac{T_{nom} - 20}{0.8} G \qquad (2)$$

Bu denklemde, T_c panelin sıcaklığını, T_{ortam} ortam sıcaklığını, T_{nom} nominal sıcaklık ve G güneş ışınımını (W/m²) temsil eder.

Fotovoltaik hücreler, genellikle düşük sıcaklıklarda ve yüksek ışınım seviyelerinde daha verimli çalışır. FV panellerinin akımı, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$I = \left(I_{ph} - I_0\right)\left(exp\left(-\frac{q(V + IR_s)}{nkT_c}\right) - 1\right) \qquad (3)$$

FV panellerde, paralel bağlanan hücrelerin sayısı akımı artırırken, seri bağlanan hücrelerin sayısı gerilimi artırır. FV hücrede oluşan gerilim, ışığın yoğunluğu ile orantılıdır. FV panelin çıkış akımı ve gerilimi ise aşağıdaki denklemlerle belirlenir:

$$I = \left(N_p I_{ph} - N_P I_0\right)\left(exp\left(-\frac{q(V + IR_s)}{nkT_c}\right) - 1\right) - \frac{1}{N_p}\left(\frac{V + R_s}{R_{sh}}\right) \qquad (4)$$

$$V = \frac{nkT_C}{q} In\left(\frac{I_{ph+}I_0 - 1 + N_p}{I_0} - R_S + I\right) \qquad (5)$$

FV panelinin çıkış gücü ise aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P = V \times I \qquad (6)$$

FV panellerin ürettiği enerji, güneş ışınlarının panel yüzeyine dik veya eğik gelmesine, panelin temizliğine ve hava koşullarına bağlı olarak değişir. Kirli paneller, verimliliği önemli ölçüde azaltır.

Ayrıca, güneş enerjisi sistemlerinin yıldırım gibi dış etkenlerden korunması gereklidir.

Dağıtım Şebekelerinde Yük Akış Analizi ve Newton-Raphson Yöntemi ile Hesaplama Yöntemleri

Son yıllarda elektrik enerjisine olan talebin artmasıyla birlikte, dağıtım şebekelerinde elektrik üretim kaynaklarının sayısında da bir artış gözlemlenmektedir. Ancak, YEK' lerin yaygınlaşması, dağıtım şebekesinin işletme ve topraklama noktalarında karmaşık sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu tür sorunların çözülmesi ve şebeke büyümesinin kontrol altında tutulması için kapsamlı analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, elektrik şebekelerinde yük akış analizi (YAA) önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Yük akış analizi, iletim ve dağıtım şebekelerindeki sürekli hal durumlarına ait karakteristiklerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma ve analizleri ifade eder. Bir şebekede YAA, belirli baralarda güç hesaplaması ve gerilim değerlerinin hesaplanmasını içerir. Bu tür hesaplamalar, güç sistemlerinin dinamik davranışları kadar sürekli hal davranışlarının analizini de sağlamaktadır.

Dağıtım şebekesi topolojisi üzerinde ETAP yazılımı kullanılarak yapılan yük akış analizi, Newton-Raphson yöntemine dayanan AC yük akış analizi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, AC yük akış analizini daha kısa iterasyonlar ve daha hızlı bir şekilde çözer (Tinney & Hart, 1967). YAA, şebekedeki bir baradan dışındaki tüm baraların aktif ve reaktif güçlerini belirlemeyi gerektirir. Net güç (aktif ve reaktif), sisteme giren (pozitif enjekte edilen) güç ile sistemden çıkan (negatif enjekte edilen) güç arasındaki farktır. Yani, baradaki üretim kaynağının sağladığı güç ile

yükün çektiği sabit veya statik güç arasındaki farktır. Eğer sistemde gerilim kontrollü bir bara varsa, bu baradaki gerilim genliği belirlenir ve çözüm sonucunda baraya bağlı reaktif güç üreticisinin üretimi ile bara geriliminin açısı hesaplanır. YAA için gerekli giriş verileri arasında baralar, iletim hatları ve trafoların bilgileri yer alır. Her baranın gerilim genliği, faz açısı, net aktif güç ve reaktif güç değerleri bilinmelidir. Baralar üç tipten birine sınıflandırılır: salınım barası, yük barası ve gerilim kontrollü barası. Salınım barası, genellikle tek bir tane bulunur ve sistemde genellikle 1 numaralı baradır. Bu barada gerilimin genliği ve açısı ($V\angle\delta_i$) belirlenir ve net aktif ve reaktif güç değerleri (p_k, q_k) yük akışından hesaplanır. Yük baralarında giriş bilgileri p_k ve q_k olarak verilirken, v_k ve δ_k değerleri analizle hesaplanır. p_k ve q_k değerleri, aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (Tinney vd., 1997):

$$\begin{aligned} p_k &= p_{Gk} - p_{yk} \\ q_k &= q_{Gk} - q_{yk} \end{aligned} \qquad (7)$$

Bu denklemlerde p_k ve q_k, k. baraya bağlı jeneratörün verdiği aktif ve reaktif güçleri, p_{yk} ve q_{yk} ise k. baraya bağlı yükün çektiği aktif ve reaktif güçleri ifade etmektedir. Şebekedeki baraların çoğunluğu yük barasıdır. Gerilim kontrollü baraların giriş verileri p_k ve v_k olarak verilirken, q_k ve gerilim açısı analiz sonucunda hesaplanır. Yük akış analizi için Newton-Raphson hesaplama yöntemine dayalı olarak aşağıdaki değerler kullanılarak çözüm yapılır (Tinney & Hart, 1967):

$$x = \begin{pmatrix} \delta \\ v \end{pmatrix}, \quad y = \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix}, \quad f_{(x)} = \begin{pmatrix} p_x \\ q_x \end{pmatrix} \qquad (8)$$

Newton-Raphson yöntemiyle yük akışı şu denklemlerle çözülür:

$$\Delta x(i) = \begin{pmatrix} \Delta\delta(i) \\ \Delta V(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta(i+1) - \delta i \\ V(i+1) - Vi \end{pmatrix} \quad (9)$$

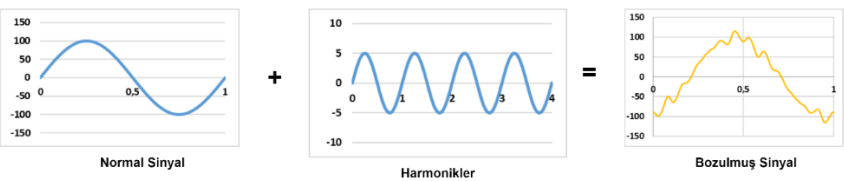
$$\Delta y(i) = \begin{pmatrix} \Delta p(i) \\ \Delta q(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p - p_{x(i)} \\ q - q_{x(i)} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Burada p ve q vektörleri, baralara enjekte edilen net aktif ve reaktif güçleri içerir. Yapılan iterasyonlar sonucu dağıtım baraları üzerindeki yük akış hesaplaması gerçekleştirilebilir (J. Duncan Glover, 2022).

Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Harmonik Bozulma Analizi ve İyileştirme Yöntemleri

Teknolojik ilerlemeler ve elektronik cihazların kullanımındaki artış, güç kalitesi problemlerini her geçen gün daha da artırmaktadır. Özellikle doğrusal olmayan yükler, güç şebekesini etkileyen sinüzoidal olmayan akımlar üretir. Akım ve gerilim dalga formları bozulduğunda, sistemdeki tüm harmoniklerin toplamı, toplam harmonik bozulma (THB) olarak adlandırılır (Smadi, Lei, & Johnson, 2019; Wang & ark., 2024). Doğrusal olmayan yükler, şebeke üzerindeki başlıca harmonik kaynakları arasında yer almaktadır. Bu durum, gerilim, frekans ve genlik gibi çeşitli elektriksel değerlerde değişikliklere yol açabilir. Hem sanayi ve endüstriyel ortamlarda hem de meskenlerdeki sistemlerde harmonik etkiler oluşturabilecek kaynaklar arasında güneş enerjisi invertörleri, değişken frekanslı sürücüler, doğrultucular, enerji tasarruflu ampuller ve floresan lambalar gibi cihazlar bulunmaktadır. Güç doğrultucuları, AC/DC dönüştürücüler, sanayide kullanılan ark kaynağı ekipmanları ve kesintisiz güç kaynakları (UPS) gibi cihazlar, doğrusal olmayan yüklerin tipik örnekleridir.

Harmonik analizinde, iki temel gösterge kullanılmaktadır: THB ve Toplam Talep Bozulması (TTB). THB, şebeke sistemindeki harmoniklerin ne ölçüde bozucu etki yaptığını ifade ederken; TTB, talep edilen akımın yüzdesi olarak harmoniklerin RMS değerini belirtir. Literatürde yapılan incelemeler, harmoniklerin sinüzoidal gerilim veya akım dalgalarının şebeke frekansının katları olarak ortaya çıktığını göstermektedir (Smadi & ark., 2019; Wang & ark., 2024). Bu tanımla birlikte, FV sistemlerin şebeke üzerindeki harmonik etkisi, artan yenilenebilir enerji kaynakları ile daha da önemli bir faktör haline gelmiştir. Literatürde FV sistemlerinin, gün içerisindeki güneş ışığına bağlı olarak harmonik etkilerde değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir (Smadi & ark., 2019; Wang & ark., 2024). FV sistemlerdeki invertörler nedeniyle oluşan harmonikler, dağıtım şebekesi için ciddi bir sorun oluşturmaktadır (Smadi & ark., 2019; Wang & ark., 2024). Ek olarak, doğrusal olmayan yüklerin artması ve güç elektroniği cihazlarının yaygınlaşması, sistemdeki gerilim ve akımın güç kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Yüksek frekanslı bileşenlerin sistemde dolaşması, gerilim ve akım dalga formlarında bozulmalara neden olmaktadır . Şekil 4, harmonik sinyallerin kavramsal bir diyagramını sunmaktadır.



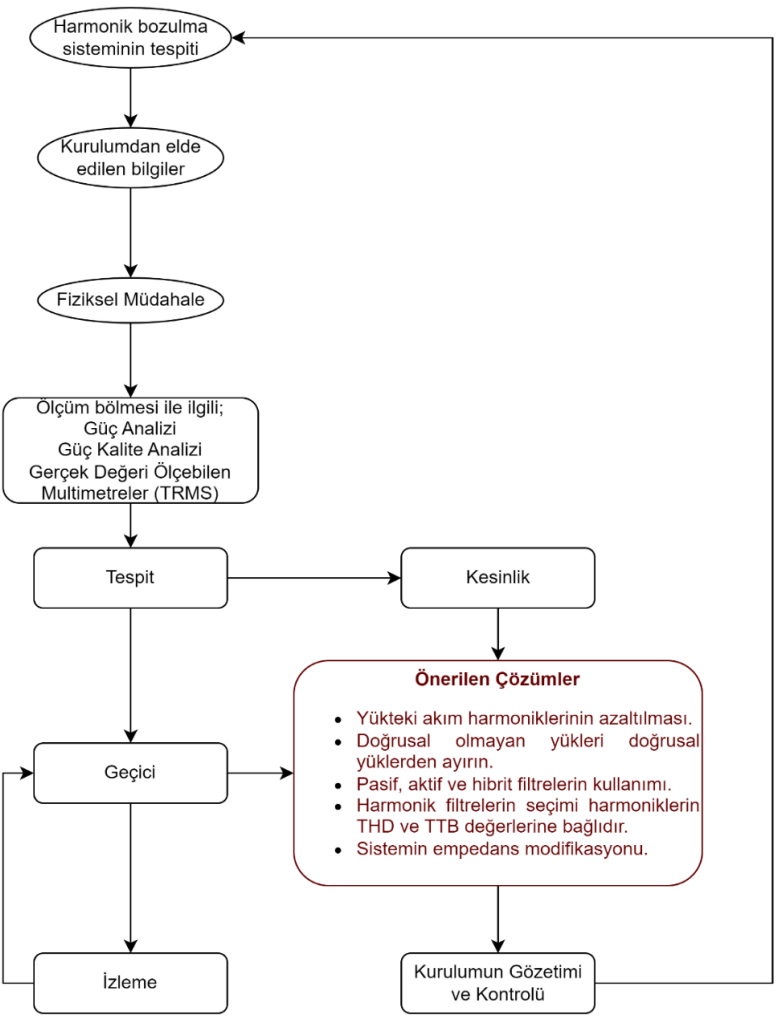
Şekil 5: Harmonik sinyallerin kavramsal diyagramı

Güneş ışığının etkisi ve sıcaklık değişimleri FV sistemlerin harmonik etkilerini doğrudan etkileyebilmektedir. Yüksek güneş ışınımı koşulları, FV sistemlerinde akımdaki THB değerini azaltırken, düşük ışınım koşulları bu değeri artırmaktadır (Kritsanasuwan & ark., 2022; Vinayagam & ark., 2019). Ayrıca, dağıtım şebekesine bağlı invertörlerin harmonik etkileri de önemli bir konudur. Harmonik yayan cihazlar, doğrusal olmayan yükler olarak adlandırılır. Harmoniklerin varlığı, ekipmanların aşırı ısınmasına, güç faktörünün düşük olmasına, elektrikli bileşenlerin performansında düşüşe ve koruyucu cihazların beklenmedik davranışlar sergilemesine neden olabilir. Harmonik akımlar şebekeye yayılarak diğer kullanıcılara beslenen gerilimleri de bozabilmektedir. Güç sistemlerinde harmonik akımların dolaşımı, güç kalitesi sorunlarının birikmesine yol açar. Bu nedenle, dağıtım şebekesindeki harmoniklerin sistematik bir yaklaşımla analiz edilmesi büyük önem taşır. Şekil 6, harmoniklerin kontrol altına alınması için önerilen bir çözüm algoritmasını göstermektedir.

Bilgisayar tabanlı yazılımlar kullanılarak güç sistemi harmonikleri modellenip analiz edilebilir. ETAP yazılımındaki harmonik analiz modülü, güç sistemlerinde doğrusal olmayan davranışları ve frekans bağımlılıklarını incelemek için etkili bir araç sunar. Güç sistemlerinde oluşan harmonik bileşenleri belirlemek için sinyaller Fourier serilerine açılarak akım ve gerilim değerlerine ait harmonikler Eşitlik (11) ve (12) yardımıyla hesaplanır.

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}\, v_n \, sin(n\omega_1 t + \theta_n) \qquad (11)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} i_n(t) = i_n \, sin(n\omega_1 t + \delta_n) \tag{12}$$



Şekil 6: Harmonikleri azaltmak için önerilen çözüm algoritması

Bu eşitliklerde, i_n, $n.$ akım harmoniğinin, i_n, ise $n.$ gerilim harmoniğinin genliğini ifade eder. THB değerini hesaplamak için Eşitlik (11) ve (12) kullanılarak, gerilim ve akım için THB fonksiyonları aşağıdaki gibi elde edilir (Vinayagam & ark., 2019):

$$THD_v = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} v_n^2} \Big/ v_1 \tag{13}$$

$$THD_i = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} i_n^2} \Big/ i_1 \tag{14}$$

Bu formüllerde, v_1 temel gerilim genliğini, i ise temel akım genliğini ifade etmektedir.

Kısa Devre Akımı Hesaplamaları ve Empedans Değerlendirmeleri

Entegrasyon problemlerini incelerken sistemin empedans değerleri ve kısa devre akımı hesaplamaları kritik bir öneme sahiptir. Bu hesaplamalar, Eşitlik 15' de ve 16' da verilmiştir. Alternatif akım bir empedans üzerinden geçtiğinde, akım ve gerilim düşüşü arasında 0° ile 90° arasında bir faz farkı gözlenebilir. Eğer faz farkı sıfırsa empedans yalnızca direnç (rezistif) içerir; 90°'lik bir faz farkı ise empedansın sadece reaktans (indüktif veya kapasitif) içerdiğini gösterir. Empedans "Z" sembolüyle gösterilir ve birimi ohm'dur (Ω).

İdeal bir direnç yalnızca dirençten oluşurken, ideal bir bobin ve kapasitör ise yalnızca reaktans içerir. Ancak, tüm devre elemanları empedans barındırır ve bu empedans hem direnç (R) hem de reaktans (X) içerebilir. Direnç, elektron hareketine karşı

gösterilen bir engeldir ve süper iletkenler hariç tüm iletkenler direnç gösterir. Alternatif akımda, direnç üzerinden geçen akım ve uygulanan gerilim aynı fazdadır. Reaktans ise elektron hareketine karşı gösterilen atalettir ve kapasitörlerde elektrik alan, bobinlerde ise manyetik alan oluşturur. Saf reaktansa alternatif akım uygulandığında, gerilim ve akım arasında 90°'lik bir faz farkı oluşur. Reaktans "X" sembolüyle gösterilir ve birimi ohm'dur (Ω).

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad e = L\frac{d_i}{d_t} \quad x_L = 2\pi f L$$

$$x_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad \varphi = tan^{-1}\left(\frac{x_L - x_L}{R}\right)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}$$

Kısa devre akımı hesabı için düşük empedanslı iki nokta birbiriyle temas ettiğinde yeni bir devre oluşur ve besleme noktalarından kısa devre noktasına yüksek akımlar akar. Bu yüksek akımlar, tesisat elemanlarında termik ve dinamik zorlanmalara yol açar. Bu nedenle, kısa devre olan kısım (arıza yeri) sağlam kısımlardan hızlıca ayrılmalıdır. Üç fazlı kısa devre akımı hesaplanırken kullanılan gerilim katsayısı (c), anma gerilimine göre belirlenir ve Tablo 1' de verilmiştir.

$$I_k = c\frac{U_n}{\sqrt{3}Z}$$

Burada I_k kısa devre akımını, U_n anma gerilimini ve c gerilim katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 1: Gerilim Katsayı Değerleri

Anma gerilimi (U_n)	En büyük kısa devre akımı için c_{max}	En küçük kısa devre akımı için c_{min}
AG	1.05	0.95
1kV<U_n<35kV	1.1	1
35kV<U_n<230kV	1.1	1

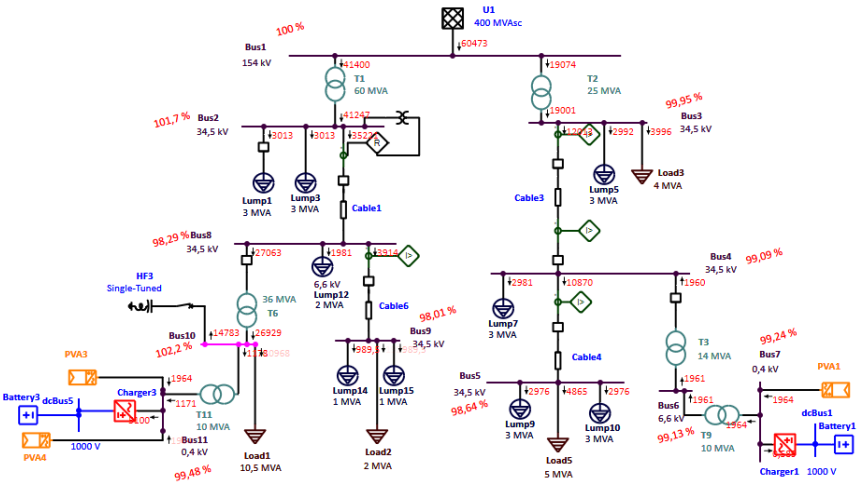
FV Enerji Sistemlerinin Dağıtım Şebekesi Üzerindeki Etkileri: ETAP Programında Bir Analiz

Günümüzde artan enerji ihtiyacıyla birlikte, YEK' lerden olan FV sistemler, dağıtım şebekelerine entegre edilmektedir. FV sistemlerinin dağıtım şebekesi üzerinde oluşturduğu etkileri değerlendirmek amacıyla, bu çalışmada ETAP yazılımı kullanılarak çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, FV sistem entegrasyonunun şebeke performansı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Yük Akış Analizinin İncelenmesi

Yük akış analizi, kararlı durum koşulları altında güç sisteminin özelliklerini belirlemek için yapılan temel bir analiz yöntemidir. Bu analiz, güç sistemindeki akım, gerilim ve güç dağılımını hesaplayarak sistemin verimliliğini ve güvenilirliğini artırmayı amaçlar. Yük Akış Analizi başlığı altında, analiz metodolojisi ve hesaplamalar ayrıntılı olarak sunulmuştur. Analizlerin etkinliğini göstermek amacıyla ETAP benzetim programı kullanılarak Şekil 7' de verilen tek hat şemasına göre 11 dağıtım barası ve 6 transformatörden oluşan bir dağıtım trafo merkezi tasarlanmış ve yük akış analizi yapılmıştır. FV sisteminin elektrik dağıtım şebekesine entegre edildiği ve edilmediği durumlar analiz edilerek sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3' de sunulmuştur. FV sisteminin dağıtım

şebekesine entegre edilmesi bara gerilim profiline olan etkilerini ortaya koyarak, dağıtım şebekesinin FV sistem entegrasyonuna uygunluğunu göstermiştir. Sonuçlar, dağıtım şebekesinde FV sistemlerin güvenli ve verimli kullanımının mümkün olduğunu kanıtlamıştır. FV sistemlerin kurulumu öncesinde bu analizlerin yapılması, şebeke güvenilirliği, stabilitesi ve FV sistem üretiminin verimliliğini artırabilir.



Şekil 7: Dağıtım şebekesinde yük akış analizi

Tablo 2: Dağıtım şebekesine entegre edilen FV sistemi ile yük akışı analizi

Bara	Gerilim (kV)	Gerilim analizi %	Güç durumu MW
Bus1	154	100	15.585
Bus2	34.5	100	6.044
Bus3	34.5	99.95	6.998
Bus4	34.5	99.09	2.981
Bus5	34.5	98.64	10.818
Bus6	6.6	99.12	1.961
Bus7	0.4	99.24	1.964
Bus8	34.5	100	2.004
Bus9	34.5	100	4.038
Bus10	6.6	100	15.788
Bus11	0.4	100	5.1

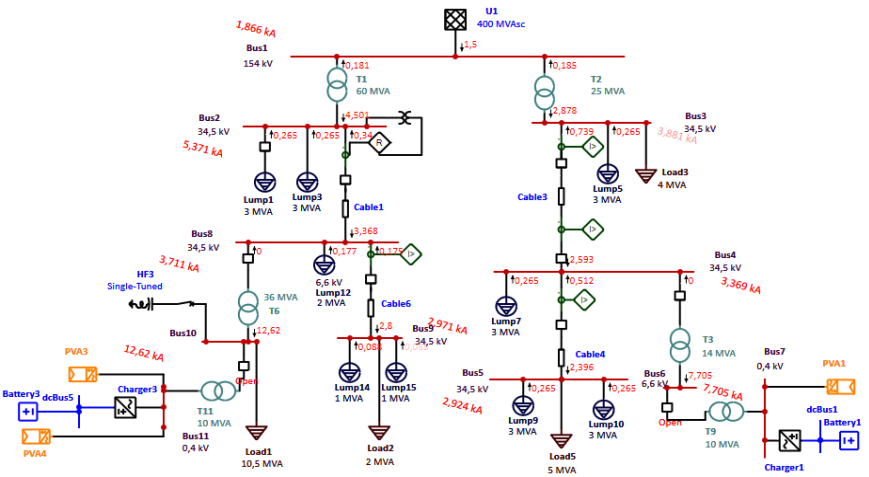
Tablo 3: FV sistemi olmadığı durumda dağıtım şebekesinde yük akışı analizi

Bara	Gerilim (kV)	Gerilim analizi (%)	Güç durumu (MW)
Bus1	154	100.000	33.700
Bus2	34.5	100.000	12.02
Bus3	34.5	99.845	21.046
Bus4	34.5	98.823	20.950
Bus5	34.5	98.375	10.830
Bus8	34.5	99.446	12.010
Bus9	34.5	99.167	3.960
Bus10	6.6	99.446	2.120

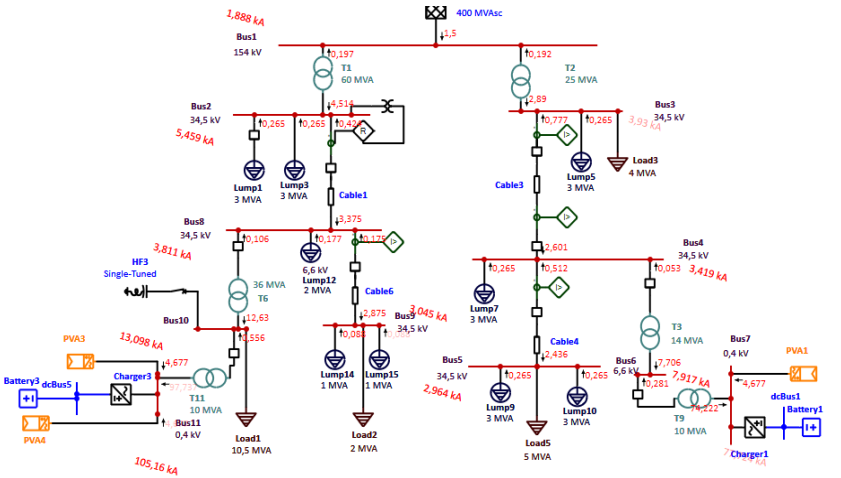
Kısa Devre Analizinin İncelenmesi

Kısa devre analizi, güç sisteminin kararlı durum çözümünün bulunmasına dayanmaktadır. Bu analiz, devre kesicilerinin gerekli kesme kapasitesinin belirlenmesi ve uygun röle sisteminin tasarlanması için kritik öneme sahiptir (Al-Refai, 2016). Benzetim çalışmasında, FV sistemlerinin kısa devre akımları üzerindeki

etkileri incelenmiş ve bu veriler ışığında şebeke bağlantı noktalarında yapılabilecek düzenlemeler ve iyileştirmeler belirlenmiştir. Elde edilen kısa devre sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5' de özetlenmiştir. Ayrıca, kısa devre akım değerleri Şekil 8 ve Şekil 9' da gösterilmiştir. FV sisteminin entegre olduğu durumlarda, dağıtım şebekesindeki kısa devre akımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu etki, on bir (11) adet dağıtım barasında belirgin şekilde görülmüştür. FV sistemlerin bağlı olduğu baralarda meydana gelen kısa devre akımları, tüm şebeke üzerinde etkilerini göstermektedir. Tablo 6 ve Tablo 7' de kısa devre akım bilgileri aktarılmış olup, bu sorunun önlenmesi için şebekedeki iletim hatları üzerinde incelemeler yapılmış ve FV sistemlerinde kullanılan invertörlerin seçimleri gözden geçirilerek müdahale edilmiştir.



Şekil 8: FV enerji sisteminin olduğu durumda kısa devre analizi



Şekil 9: FV enerji sisteminin olmadığı durumda kısa devre analizi

Tablo 4: FV enerji sisteminin olmadığı durumda kısa devre analizi

Kaynak barası	Gittiği bara	Bara gerilimi (%)	Reel (kA)	Hayali (kA)	Reaktans / Direnç	Büyüklük (kA)
Bus1	Tüm Baralar	0,000	0,208	-1,877	9,000	1,888
Bus2	Bus1	8,640	0,035	-0,194	5,500	0,197
Bus3	Bus1	20,200	0,026	-0,190	7,200	0,192
U1	Bus1	110,000	0,147	-1,492	10,200	1,500
Bus8	Bus2	13,100	0,115	-0,379	3,300	0,396
Lump1	Bus2	110,000	0,022	-0,243	11,300	0,244
Lump3	Bus2	110,000	0,022	-0,243	11,300	0,244
Bus4	Bus3	24,970	0,100	-0,633	6,300	0,641
Lump5	Bus3	110,000	0,017	-0,216	12,500	0,217

Tablo 5: FV enerji sisteminin olmadığı durumda kesme ve DC arıza akımı

TD (S)	Ib sym	Ib asym	Idc
0,01	1,866	2,677	1,919
0,02	1,858	2,327	1,401
0,03	1,847	2,111	1,021
0,04	1,829	1,975	0,745
0,05	1,8	1,881	0,546
0,06	1,786	1,83	0,399
0,07	1,772	1,796	0,291
0,08	1,759	1,772	0,212
0,09	1,746	1,753	0,155
0,1	1,733	1,737	0,114
0,15	1,705	1,705	0,024
0,2	1,678	1,678	0,005
0,25	1,653	1,653	0,001
0,3	1,653	1,653	0

Tablo 6: FV enerji sisteminin olduğu durumda kısa devre analizi

Kaynak barası	Gittiği bara	Bara gerilimi (%)	Reel (kA)	Hayali (kA)	Reaktans / Direnç	Büyüklük (kA)
Bus1	Total	0	0.188	-1.856	9.9	1.866
Bus2	Bus1	7.93	0.021	-0.18	8.6	0.181
Bus3	Bus1	19.47	0.021	-0.184	8.9	0.185
U1	Bus1	110	0.147	-1.492	10.2	1.5
Bus8	Bus2	11.3	0.047	-0.312	6.7	0.316
Lump1	Bus2	110	0.023	-0.245	10.5	0.246
Lump3	Bus2	110	0.023	-0.245	10.5	0.246
Bus4	Bus3	23.97	0.073	-0.604	8.2	0.608
Lump5	Bus3	110	0.019	-0.217	11.5	0.218

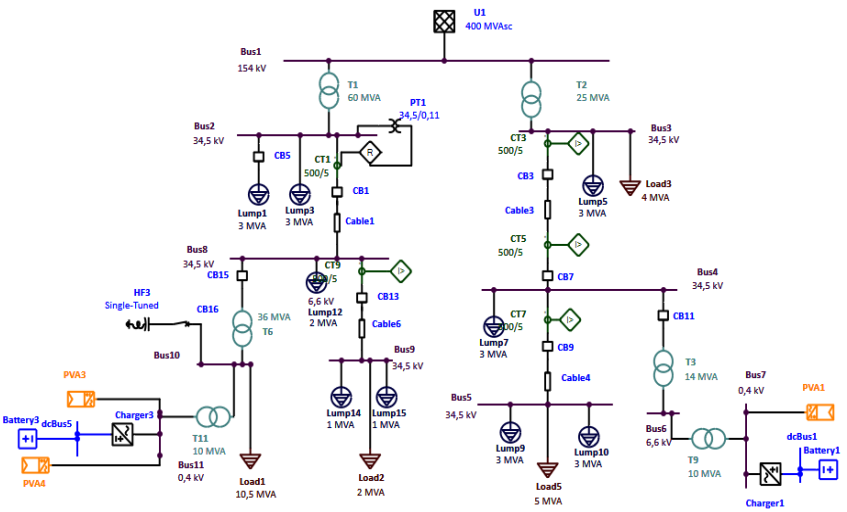
Tablo 7: FV enerji sisteminin olduğu durumda kesme ve DC arıza akımı

TD (S)	Ib sym	Ib asym	Idc
0.01	1.843	2.662	1.921
0.02	1.835	2.31	1.403
0.03	1.824	2.091	1.023
0.04	1.805	1.952	0.746
0.05	1.775	1.857	0.547
0.06	1.76	1.805	0.399
0.07	1.746	1.771	0.291
0.08	1.733	1.746	0.213
0.09	1.719	1.726	0.155
0.1	1.706	1.71	0.114
0.15	1.678	1.678	0.024
0.2	1.651	1.651	0.005
0.25	1.625	1.625	0.001
0.3	1.625	1.625	0

Harmonik Analizin İncelenmesi

FV sistemleri, belirli koşullar altında şebekeye harmonik kaynağı oluşturabilir veya üretilen harmonikler, güneş panellerinin kararsızlıklarından kaynaklanabilir. Bu konu, Elektrik Dağıtım Şebekesinde Harmonik Analizi bölümünde literatür örnekleriyle detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Ancak burada, modern güç çeviricilerinin yüksek güç kalitesi sağladığına dikkat etmek önemlidir. Bu tür invertörler tarafından enjekte edilen harmonikler, genellikle filtrelenebilen yüksek dereceli harmoniklerdir. Şekil 10' da gösterilen elektrik dağıtım şebekesinde, FV sisteminin entegre olduğu ve olmadığı durumlar arasındaki farklar, dağıtım barası 10 üzerinde gözlemlenmiştir. Yapılan analizlerde, FV sisteminin entegre olduğu durumda harmonik etkiler belirgin bir şekilde görülmüştür. Bu kapsamda, özellikle transformatörler üzerinde FV

sisteminin entegrasyonu ile harmonik bozulumların tespiti, şebeke stabilitesini ve güvenilirliğini artıracaktır. Literatürde de vurgulandığı gibi, harmonik analizlerinde etki edebilecek kaynak noktalarının çeşitlilik gösterebileceği dikkate alınarak, yapılan analizler ayrı başlıklar altında incelenmiş ve sonuçlar ilgili başlıklarda sunulmuştur. Elektrik şebekesinde yaşanan bu tür harmonik bozulumlar, istenmeyen durumlara yol açarak ekipmanların aşırı ısınmasına ve şebekenin stabil çalışmasına engel oluşturabilir. Bu bağlamda, IEEE 519 standartları genel olarak kabul görmekte olup, 69 kV altı elektrik şebekelerinde harmonik bozunumların THB oranının %5 veya altında olması gerektiği belirtilmektedir (Blooming vd., 2006). Yapılan benzetim çalışmasında, harmonik filtre devre dışı bırakıldığında, FV sisteminin dağıtım şebekesinde oluşturduğu harmonik etkiler ve dağıtım baralarında oluşan THB oranları Tablo 8'de sunulmuştur.



Şekil 10: Önerilen Dağıtım Şebekesi Topolojisi

Tablo 8: Filtre olmadığı durumda harmonik analizi

İsim	Gerilim (kV)	RMS %	THB %
Bus1	154	100.09	4.94
Bus2	34.5	99.18	12.65
Bus3	34.5	100.03	4.38
Bus4	34.5	99.21	5.53
Bus5	34.5	98.79	6.07
Bus6	6.6	99.31	6.46
Bus7	0.4	99.47	6.76
Bus8	34.5	100.43	16.43
Bus9	34.5	100.40	17.87
Bus10	6.6	100.20	14.97
Bus11	0.4	100.20	13.94

Aynı şekilde, harmonik filtre eklenmesiyle birlikte IEEE-519 standartlarına tam uyum sağlanmış olup, yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler Tablo 9' da detaylı olarak sunulmuştur. Bu filtrelerin etkinliğini belirlemek amacıyla kullanılan parametreler ise Tablo 10' da ayrıntılı bir şekilde yer almaktadır. Bu parametreler, sistemdeki harmonik bozulmaların minimuma indirilmesi ve şebeke performansının iyileştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Tablo 9: Filtre olduğu durumda harmonik analizi

Harmonik analizi incelemesi			
İsim	Gerilim (kV)	RMS %	THB %
Bus1	154.000	100.04	2.46
Bus2	34.500	102.12	4.12
Bus3	34.500	100.01	3.43
Bus4	34.500	99.19	4.44
Bus5	34.500	98.76	4.86
Bus6	6.600	99.32	6.21
Bus7	0.400	99.46	6.71
Bus8	34.500	99.19	5.17
Bus9	34.500	98.97	5.74
Bus10	6.600	100.24	2.78
Bus11	0.400	98.03	3.00

Tablo 10: Harmonik filtre bilgileri

İsim	kVar	Uf	Xl1	Q Factor	kV
HF3	950	3024	0.0008	3	1

Tartışma ve Sonuçlar

Son yıllarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç giderek artarken, insan yaşamının sürdürülebilirliği ve gelişimi için elektrik enerjisi vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Bu durum, YEK' lere olan ilgiyi artırmış ve elektrik enerjisi talebine yanıt verecek sürdürülebilir çözümler sağlamıştır. YEK' lerin mevcut elektrik şebekesine entegrasyonu, daha güvenli, şeffaf ve verimli elektrik enerjisi sağlanması amacıyla büyük önem taşımakta olup, gelecekte akıllı ve otomatik sistemlerin geliştirilmesine de katkıda bulunmaktadır. Bu noktada, YEK'lerin kurulumundan önceki entegrasyon problemlerinin analiz edilmesi, dağıtım şebekesindeki olası sorunların simülasyon programları üzerinden incelenmesi ve çözüm önerilerinin sunulması kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, FV enerji sisteminin elektrik dağıtım şebekesine olan

kısa devre ve harmonik etkileri ile şebekedeki güç akış durumu, ETAP yazılım programı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizler, FV sistemlerinin kurulum aşamasında dağıtım şebekesi üzerindeki etkilerini öngörmek ve kullanılacak devre elemanlarını belirlemek için rehber niteliğindedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında, FV sistemin entegre edildiği ve edilmediği durumlarda şebekenin tepkileri; yük akış analizi, kısa devre analizi ve harmonik analiz başlıkları altında incelenmiştir. Harmonik analizde, FV sistemin şebekeye entegre edilmesiyle birlikte güç elektroniği elemanlarının ve harmonik etkisi üreten devre elemanlarının sisteme dahil olduğu ve bu durumun harmonik bozunumlara yol açtığı gözlemlenmiştir. Simülasyon çalışmalarında, FV sistem entegresi öncesi akım harmoniği %0 iken, entegre sonrası bu değerin %6,940 seviyesine çıktığı; eklenen filtre ile %1,581 seviyesine düşürüldüğü tespit edilmiştir. Statik yük analizinde ise statik yükün gerilim harmoniği üzerindeki etkisi %9,883 iken, filtre eklenmesi ile %1,849 seviyesine indirildiği gözlemlenmiştir.

FV enerji sistemlerinin dağıtım şebekesine entegrasyonu sonucunda oluşabilecek problemler bu kapsamda değerlendirilmiştir. Harmonik bozunumlar şebeke güvenliği açısından bir tehlike unsuru olarak görülmekte olup, simülasyon sonuçlarına dayanarak harmonik filtreleme alternatifleri geliştirilmiştir. Bu filtreleme ile şebekede bulunan harmonik bozunumların kontrol altına alınabileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca, FV sistemlerle daha gerçekçi bir şebeke topolojisi elde edebilmek ve literatüre katkı sağlamak amacıyla aynı şebeke üzerine statik yükler eklenmiş, bu etkenlerin şebekeye olan etkileri de analiz edilmiştir. Bu analizler, şebekenin yük akış analizi üzerinde de etkili olmuş ve

şebeke verimliliğine dair önemli sonuçlar elde edilmiştir. Enerji tedarikinin sürekliliği büyük bir önem taşıdığı için bu sonuçlar önemli bir öngörü sağlamaktadır. Aynı zamanda, şebekenin güvenliği kapsamında kısa devre analizleri yapılmış ve aşırı akım koruma rölelerinin konumlandırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu kapsamda röle bazında yapılabilecek testlerle, arıza durumlarında şebeke ve koruma rölelerinin tepkileri gözlemlenebilecektir. Bu örnekler ve simülasyon çalışmaları göstermektedir ki, FV enerji sistemlerinin elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonu sonucunda kısa devre akımı koruması, harmonik bozunumlar ve enerji tedarik kararlılığı gibi konular, şebekenin güvenilirliği, kararlılığı ve sürekliliği açısından kritik başlıklardır. Bu nedenle, güç şebekesine eklenecek YEK entegrasyon problemlerini değerlendirmek, güç sistemleri açısından önemli bir kaynak oluşturacaktır.

Kaynakça

Adefarati, T., & Bansal, R. C. (2016). Integration of renewable distributed generators into the distribution system: a review. *IET Renewable Power Generation*, 10(7), 873–884. Retrieved from https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0378

Alami, A. H., Rabaia, M. K. H., Sayed, E. T., Ramadan, M., Abdelkareem, M. A., Alasad, S., & Olabi, A.-G. (2022). Management of potential challenges of PV technology proliferation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101942. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101942

Barbosa, E. J., Cavalcanti, M. C., Azevedo, G. M. S., Neto, R. C., Barbosa, E. A. O., & Bradaschia, F. (2024). Hybrid GMPPT Technique for Photovoltaic Series Based on Fractional Characteristic Curve. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 14(1), 170–177. Retrieved from https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2023.3323774

Barradas, H. M., Buzo, R. F., & Leao, F. B. (2018). Analysis of voltage and short-circuit current on photovoltaic generation dominated distribution systems. In *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)* (pp. 1–6). IEEE. Retrieved from https://doi.org/10.1109/SBSE.2018.8395612

Cristaldi, L., Faifer, M., Laurano, C., Ottoboni, R., Petkovski, E., & Toscani, S. (2023). Power Generation Control Algorithm for the Participation of Photovoltaic Panels in Network Stability. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72, 1–9. Retrieved from https://doi.org/10.1109/TIM.2023.3238745

Farag, M. M., Patel, N., Hamid, A.-K., Adam, A. A., Bansal, R. C., Bettayeb, M., & Mehiri, A. (2023). An Optimized Fractional Nonlinear Synergic Controller for Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Array Under Abrupt Irradiance Change. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 13(2), 305–314. Retrieved from https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2023.3236808

J. Duncan Glover, M. S. S. T. J. O. A. B. B. (2022). *Power System Analysis & Design*.

Khodayar, M. E., Feizi, M. R., & Vafamehr, A. (2019). Solar photovoltaic generation: Benefits and operation challenges in distribution networks. *The Electricity Journal*, 32(4), 50–57. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.03.004

Kim, H., Park, S., Kang, B., Kim, S., Tark, S. J., Kim, D., & Dahiwale, S. S. (2013). Effect of texturing process involving saw-damage etching on crystalline silicon solar cells. *Applied Surface Science*, 284, 133–137. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.07.051

Kritsanasuwan, K., Leeton, U., & Kulworawanichpong, T. (2022). Harmonic mitigation of AC electric railway power feeding system by using single-tuned passive filters. *Energy Reports*, 8, 1116–1124. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.276

Kwan, K. H., So, P. L., & Chu, Y. C. (2012). An Output Regulation-Based Unified Power Quality Conditioner With Kalman Filters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(11), 4248–4262. Retrieved from https://doi.org/10.1109/TIE.2012.2193852

Missrani, G., Nabila, N., Jufri, F. H., Aryani, D. R., & Utomo, A. R. (2019). Study on Short Circuit Current Contribution after Photovoltaic Solar Plant Integration in Lombok' s Distribution Network. In *2019 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD)* (pp. 1–5). IEEE. Retrieved from https://doi.org/10.1109/ICIRD47319.2019.9074685

Neumann, T., & Erlich, I. (2012). Short Circuit Current Contribution of a Photovoltaic Power Plant. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(21), 343–348. Retrieved from https://doi.org/10.3182/20120902-4-FR-2032.00061

Pesaran H.A, M., Huy, P. D., & Ramachandaramurthy, V. K. (2017). A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 293–312. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.071

Reno, M. J., Brahma, S., Bidram, A., & Ropp, M. E. (2021a). Influence of Inverter-Based Resources on Microgrid Protection: Part 1: Microgrids in Radial Distribution Systems. *IEEE Power and Energy Magazine*, 19(3), 36–46. Retrieved from https://doi.org/10.1109/MPE.2021.3057951

Reno, M. J., Brahma, S., Bidram, A., & Ropp, M. E. (2021b). Influence of Inverter-Based Resources on Microgrid Protection: Part 1: Microgrids in Radial Distribution Systems. *IEEE Power and Energy Magazine*, 19(3), 36–46. Retrieved from https://doi.org/10.1109/MPE.2021.3057951

Rezvani, M. M., Mehraeen, S., Ramamurthy, J. R., & Field, T. (2022). Dynamic Interaction of Distribution-Connected DER_A

With Transmission System Via Co-Simulation Analysis. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 58(2), 1502–1511. Retrieved from https://doi.org/10.1109/TIA.2021.3137087

Shuai, Z., He, D., Xiong, Z., Lei, Z., & John Shen, Z. (2019). Comparative Study of Short-Circuit Fault Characteristics for VSC-Based DC Distribution Networks With Different Distributed Generators. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 7(1), 528–540. Retrieved from https://doi.org/10.1109/JESTPE.2018.2834542

Smadi, A. A., Lei, H., & Johnson, B. K. (2019). Distribution System Harmonic Mitigation using a PV System with Hybrid Active Filter Features. In *2019 North American Power Symposium (NAPS)* (pp. 1–6). IEEE. Retrieved from https://doi.org/10.1109/NAPS46351.2019.9000238

Tinney, William., & Hart, C. (1967). Power Flow Solution by Newton's Method. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-86(11), 1449–1460. Retrieved from https://doi.org/10.1109/TPAS.1967.291823

Varma, R. K., Rahman, S. A., Vanderheide, T., & Dang, M. D. N. (2016). Harmonic Impact of a 20-MW PV Solar Farm on a Utility Distribution Network. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 3(3), 89–98. Retrieved from https://doi.org/10.1109/JPETS.2016.2550601

Vinayagam, A., Aziz, A., PM, B., Chandran, J., Veerasamy, V., & Gargoom, A. (2019). Harmonics assessment and mitigation in a photovoltaic integrated network. *Sustainable Energy, Grids and*

Networks, 20, 100264. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.segan.2019.100264

Wang, Y., Wang, X., Li, S., Ma, X., Chen, Y., & Liu, S. (2024). Optimization model for harmonic mitigation based on PV-ESS collaboration in small distribution systems. *Applied Energy*, 356, 122410. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122410

Yuan, S., Yang, B.-F., & Zhang, J.-Y. (2022). Experimental study on short-circuit current characteristics of a photovoltaic system with low voltage ride through capability under a symmetrical fault. *Energy Reports*, 8, 4502–4511. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.089

Zhang, Z., Wang, K., Zhao, Q., Tian, Y., & Li, L. (2020). Positive Sequence Current Phase-Based Improved Reverse-Power Protection and a PV Hosting Capacity Assessment Method for Spot Networks. *IEEE Access*, 8, 42529–42539. Retrieved from https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2977323

BÖLÜM II

Bir Fazlı DA/AA Eviricinin SPWM ile Kontrolü

Hasan ÜZMUŞ[1]

1. Giriş

Güç dönüştürme sistemlerinde DA/AA dönüştürücüler evirici olarak isimlendirilirler. Eviriciler, girişlerine uygulanan DA gerilimleri istenilen değerdeki genlik ve frekanstaki simetrik AA gerilime dönüştürmek için kullanılırlar (Rashid, 2015). Özellikle yakıt hücresi ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan dönüştürücü sistemlerinin sahip olduğu DA formundaki çıkış gerilimi AA uygulamalar kullanılabilmesi için DA/AA eviricilere ihtiyaç duyulmaktadır (Üzmuş, 2022). Eviriciler kullanım amacı ve tasarımına göre farklı şekilde sınıflandırılmıştır (Ador & Zaman, 2023). Düşük güç uygulamalarında bir fazlı DA/AA eviricilerin kullanımı uygundur. Orta ve yüksek güç uygulamaları

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültetsi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van/Türkiye, https://orcid.org/0000-0001-7851-0041, hasanuzmus@yyu.edu.tr

içinse üç fazlı DA/AA eviriciler kullanılması tercih edilmektedir. AA yükler veya sistemler için DA/AA eviriciler AA formunda istenilen düzeydeki gerilim ve akım değerine sahip sinyali üretmek için kullanılmaktadır. Eviricilerin çıkışında elde edilen simetrik sinyal her zaman sinüzoidal forma sahip olmayabilir. Bu durum, orta ve düşük güç uygulamaları için sorun teşkil etmezken yüksek güç uygulamalarında büyük bir sorundur. Eviricilerin sahip olduğu güce bakılmaksızın çıkışında elde edilen sinyalin frekans ve genliği darbe genlik modülasyonu (PWM) teknikleriyle düzenlenebilmektedir. DA/AA Eviriciler uygun modülasyon yöntemlerinin kullanıldığı köprü yapısına sahiptirler. Tam köprü DA/AA eviriciler güç sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Batarseh & Harb, 2018).

PWM teknikleri ile eviricilerin çıkış gerilimini kontrolü yapılmaktadır. Bu teknikler genelde sabit bir DA giriş gerilim değerine sahip DA/AA eviriciler için kullanılmaktadır. Değişken DA giriş gerilimleri ve çıkış yüklerine sahip eviriciler için PWM tekniğinden yeni bir teknik olan sinüzoidal darbe genlik modülasyonu (SPWM) kullanılmaktadır. SPWM yönteminde evirici üzerindeki yarı iletken anahtarlama devre elemanlarının kontrolü için kHz bandındaki üçgen bir taşıyıcı sinyal ve istenilen frekans değerine sahip bir sinüzoidal referans sinyali ile karşılaştırarak istenilen AA formundaki çıkış gerilimini sağlayacak tetik sinyalleri üretilir. SPW modülasyon tekniğinin modülasyon indeksinin birden küçük olmasın doğrusal çıkış gerilim kontrollü DA/AA eviricilerin kullanımı arttırmıştır. Ayrıca sahip olduğu düşük toplam harmonik bozulması (THB) onu cazip hale getirmiştir. Temel frekansın küçük

ve anahtarlama elaman sayısını yüksek olması bu yöntemin tespit edilen dezavantajlarıdır (Al-Jafeary ve Tan, 2020).

DA/AA eviricinin temel frekansı, çıkış gerilimin etkin (RMS) değeri ile referans çıkış geriliminin etkin değeri karşılaştırılarak elde edilen hata sinyalinin uygun katsayılara sahip PI kontrolcüyle elde edilen sinyalin sinüzoidal sinyal ile çarpılarak elde edilir. PI kontrolcünün çalışma şekli Yalduz'un (2015) yaptığı çalışmada tedaylı olarak verilmiştir.

DA/AA eviricinin çıkışındaki elde edilen gerilimin sinüzoidal forma sahip olması gerekir. Bunun sağlanabilmesi için eviricinin çıkışında uygun filtrelere ihtiyaç vardır. Farklı yapılara sahip (L, LC, LCL) filtreler geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Rasekh ve Hosseinpour, 2020). Bu filtreler THB'yi IEC61000 veya IEEE519 standartlarına uygun hale getirirken verimini düşürmeyecek şekilde tasarlanmalıdır (Kim & Kim, 2019).

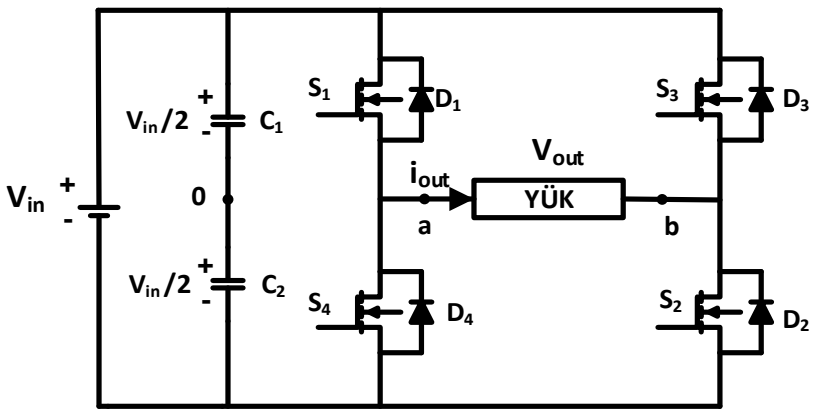
Bu çalışmada, değişken giriş gerilimleri ve çıkış yüklerine sahip bir fazlı tam köprü DA/AA eviricinin çıkışında istenilen formdaki ve seviyedeki AA gerilimin elde edilebilmesi için PI kontrolcü, SPWM yöntemi ve uygun filtre tasarlanmıştır. Benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde bir fazlı tam köprü DA/AA evirici ve filtre tasarımı, MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan PI kontrolcü, SPWM blokları hakkında bilgi verilmiştir.

2.1 Bir Fazlı Tam Köprü DA/AA Evirici ve Filtre Tasarımı

Bir fazlı tam köprü DA/AA evirici Şekil 1' de verilmiştir. Bu eviricide her bacakta iki olmak üzere toplamda dört anahtarlama elemanı (S_1, S_2, S_3, S_4) mevcuttur. Eviricinin çıkış geriliminin etkin değeri Eşitlik 1 ile hesaplanır.



Şekil 1. Bir fazlı tam köprü DA/AA evirici devre şeması.

$$V_{out} = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{\frac{T_o}{2}} {V_{in}}^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

S_1 ve S_2 anahtarları beraber iletime geçtiğinde yük uçlarında giriş gerilimi (V_{in}) ölçülürken Q_3 ve Q_4 anahtarları beraber iletime geçtiğinde ise terslenen giriş gerilimi ($-V_{in}$) ölçülür. Bir fazlı tam köprü DA/AA evirici anahtarlama durumları Tablo 1'de sunulmuştur. Eviricinin Tablo 1'de verilen ilk iki durumda çalışması arzu edilir ve ona göre kontrolü yapılır (Rashid, 2015).

Tablo 1. Önerilen eviricinin anahtarlama durumları.

Durum	V_{ao}	V_{bo}	V_o	İletimdekiler
S_1 ve S_2 ON S_3 ve S_4 OFF	$-V_{in}/2$	$-V_{in}/2$	V_{in}	Eğer $i_o > 0$ ise S_1 ve S_2 Eğer $i_o < 0$ ise D_1 ve D_2
S_1 ve S_2 OFF S_3 ve S_4 iletimde	$-V_{in}/2$	$V_{in}/2$	- V_{in}	Eğer $i_o > 0$ ise D_3 ve D_4 Eğer $i_o < 0$ ise S_3 ve S_4
S_1 ve S_3 iletimde S_2 ve S_4 OFF	$V_{in}/2$	$V_{in}/2$	0	Eğer $i_o > 0$ ise S_1 ve D_3 Eğer $i_o < 0$ ise D_1 ve S_3
S_1 ve S_3 OFF S_2 ve S_4 iletimde	$-V_{in}/2$	$-V_{in}/2$	0	Eğer $i_o > 0$ ise D_4 ve S_2 Eğer $i_o < 0$ ise S_4 ve D_2
S_1, S_2, S_3 ve S_4 OFF	$-V_{in}$ 2 $V_{in}/2$	$V_{in}/2$ $-V_{in}/2$	$-V_{in}$ V_{in}	Eğer $i_o > 0$ ise D_3 ve D_4 Eğer $i_o < 0$ ise D_1 ve D_2

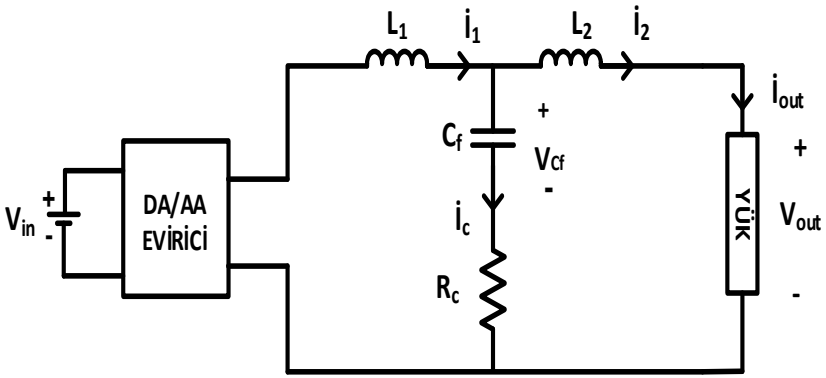
Modülasyon indeksi M, referans (Ar) ve taşıyıcı (Ac) sinyal genliklerinin kıyaslanmasıyla elde edilir, Eşitlik 2'de verildiği gibi. V_{out}'in frekansının referans sinüzoidal sinyali belirler.

$$M = \frac{A_r}{A_c} \tag{2}$$

Tablo 2. LCL pasif filtre parametreleri ve değerleri

LCL pasif filtre parametreleri	**Değerleri**
Evirici tarafı endüktansı (L_1)	0.724 mH
Yük/ Şebeke tarafı endüktansı (L_2)	6.75 µH
Sönümleme direnci (R_c)	0.28 Ω
Filtre kapasitör (C_f)	9 µF

Tablo 2'de pasif filtre parametreleri Karaca'nın (2020) yaptığı tez çalışmasında detaylı bir şekilde verilmiştir. Tasarlana filtre Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Tasarlanan LCL pasif filtre.

2.2 PI Kontrolcü

Ziegler ve Nichols yöntemi ile elde edilen Tablo 3 sayesinde PI kontrolcünün katsayıları (oransal (Kp) ve integral (Ki) katsayıları) hesaplandı (Hauge & Lie, 2013). Ku ve Tu sırasıyla ana (ultimate) kazancı ve periyodu ifade etmektedir. Tablo 3 kullanılarak PI kontrolcünün parametreleri belirlenmiştir (Üzmuş, 2016).

Tablo 3. Ziegler ve Nichols yöntemi ile elde edilen değerler

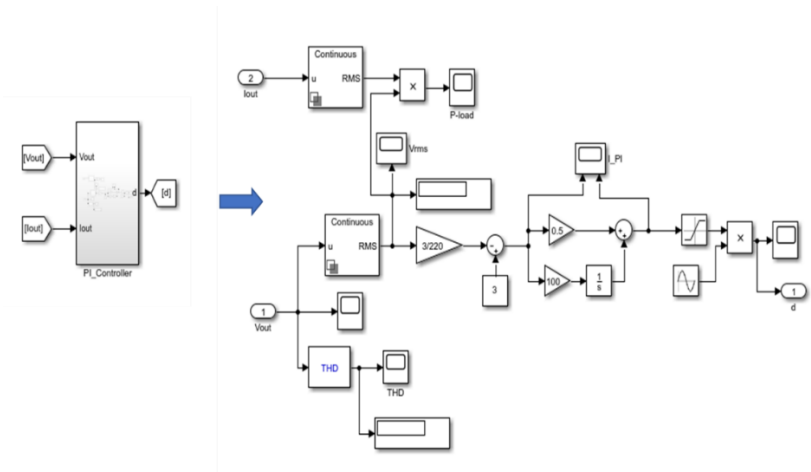
Tipi	**K_p**	**K_i**	**K_d**
P	0.5Ku		
PI	0.45Ku	0.54Ku/Tu	
PID	0.6Ku	1.2Ku/Tu	0.6KuTu/8

Önerilen PI kontrolcü için belirlenen değerler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Önerilen PI kontrolcü için Kp ve Ki değerleri

Katsayılar	**Değerler**
Oransal (K_p)	0.5
Integral (K_i)	100

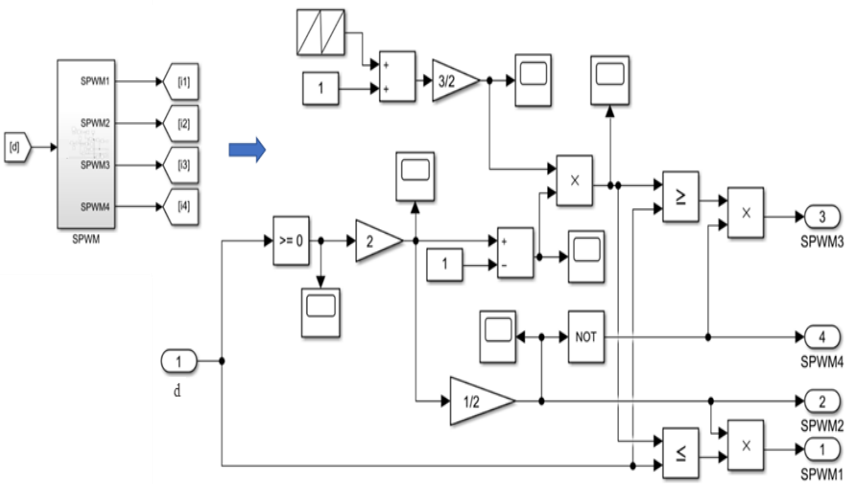
MATLAB/Simulink ortamında yapılan benzetim çalışmaları için kullanılan PI bloğu Şekil 3'de verilmiştir. PI bloğunda referans gerilim değeri etkin 220 V olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca PI bloğundaki elde edilen değer 50 Hz'lik bir sinüzoidal bir sinyal ile çarpıldıktan sonra SPWM bloğuna gönderilmiştir. Böylece eviricinin çıkışında tepeden tepeye genlik değeri 622 V, etkin değeri 220 V olan 50 Hz'lik bir sinyal elde edilir. Yani şebeke gerilimi elde edilmişti.



Şekil 3. PI kontrolcü bloğu.

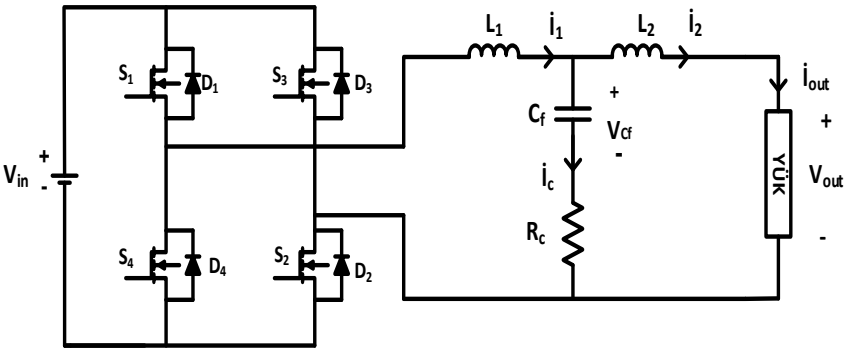
2.3 SPWM

Etkin referans ve eviricinin çıkış gerilimlerinin etkin değerlerinin birbiriyle kıyaslanması sonucunda elde edilen hata sinyali PI kontrolcü bloğunda işlendikten sonra, eviricinin çıkışında istenilen formdaki ve değerdeki çıkış gerilimini elde edilebilmesi için bir referans sinüzoidal bir sinyal ile çarpılmıştır, Şekil 3'de görüldüğü gibi. Bu yeni sinüzoidal sinyal uygun SPWM bloğu için referans sinyali gibi çalışmaktadır. Bu yeni sinüzoidal SPWM bloğu içinde taşıyıcı bir üçgen sinyal ile karşılaştırılarak anahtarlama elemanları için gerekli tetikler üretilmiştir. Evirici için tasarlanan SPWM bloğu Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Evirici için SPWM bloğu.

SPWM bloğunda üretilen tetikleme sinyalleri Şekil 5'de devre şeması verilen tam köprü DA/AA evirici devresine MATLAB/Simulink benzetim ortamında uygulanmıştır.

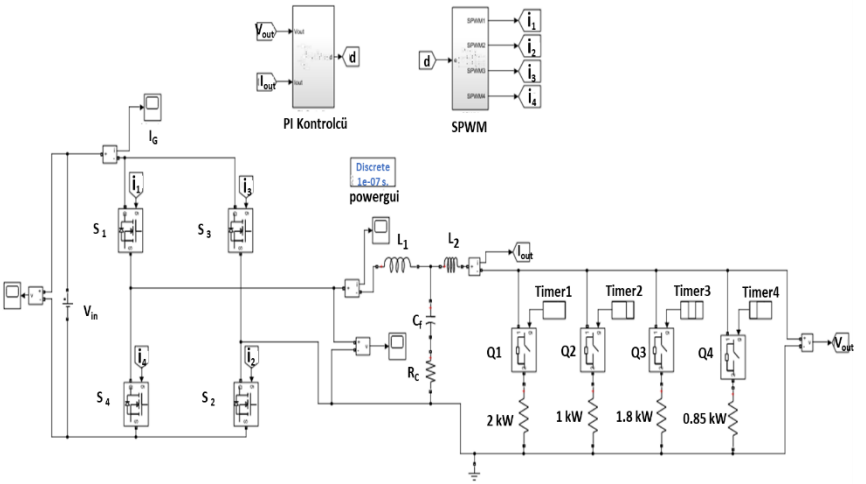


Şekil 5. Önerilen eviricinin devre şeması.

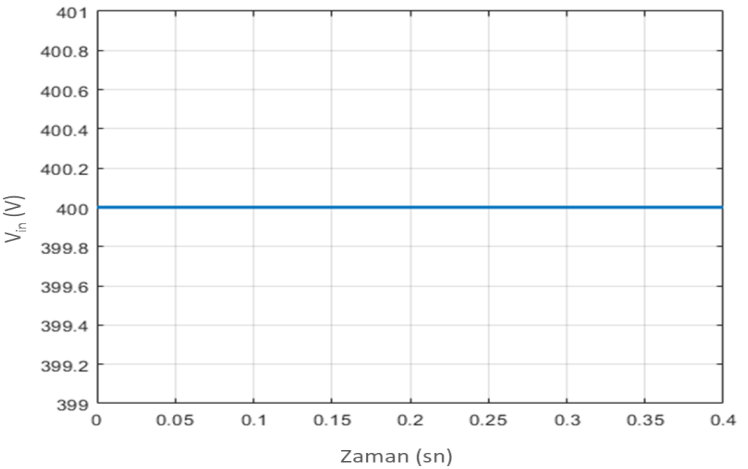
3. Benzetim çalışmaları

Önerilen evirici, filtre ve kontrolcüden tasarlanan sistem değişen giriş gerilimleri ve çıkış yükleri için benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Şekil 6'da verilen devrede V_{in} sabit 400 V DA iken çıkış güçleri sırasıyla 2 kW, 1 kW; 1.8 kW ve 0.85 kW olacak şekilde ayarlanmıştır. LCL pasif filtre için parametre değerleri Tablo 2'de verilmiştir. PI kontrolcünün kazanç katsayıları Tablo 4'deki gibi hesaplanıp ayarlanmıştır.

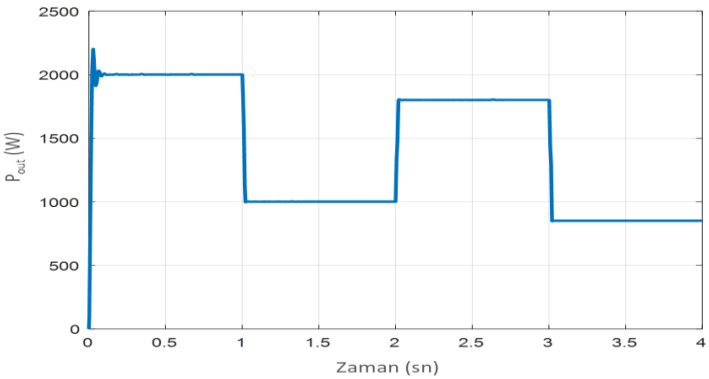


Şekil 6. Değişen yükler için önerilen sistem.



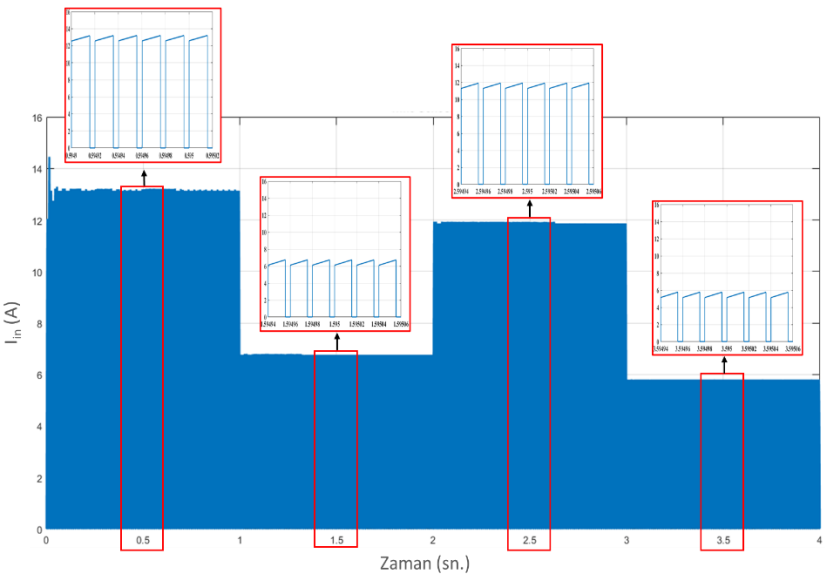
Şekil 7. Değişen yükler için önerilen sistem giriş gerilimi (V_{in}).

Sabit 400 V DA değerine sahip V_{in} Şekil 7'de ve sırayla değişen çıkış yükleri Şekil 8'da verilmiştir.



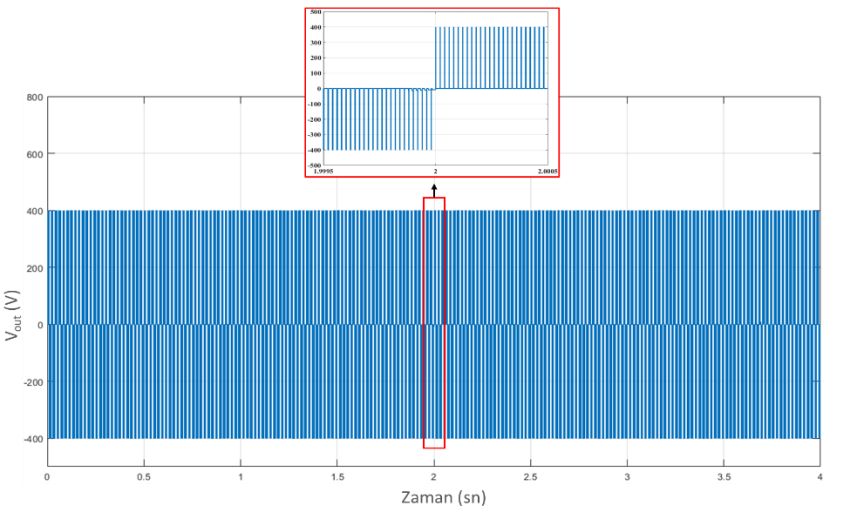
Şekil 8. Değişen çıkış yükleri.

V_{in} sabit olduğundan dolayı değişen yükler birlikte giriş akımı (I_{in}) değişmiştir (Şekil 9).

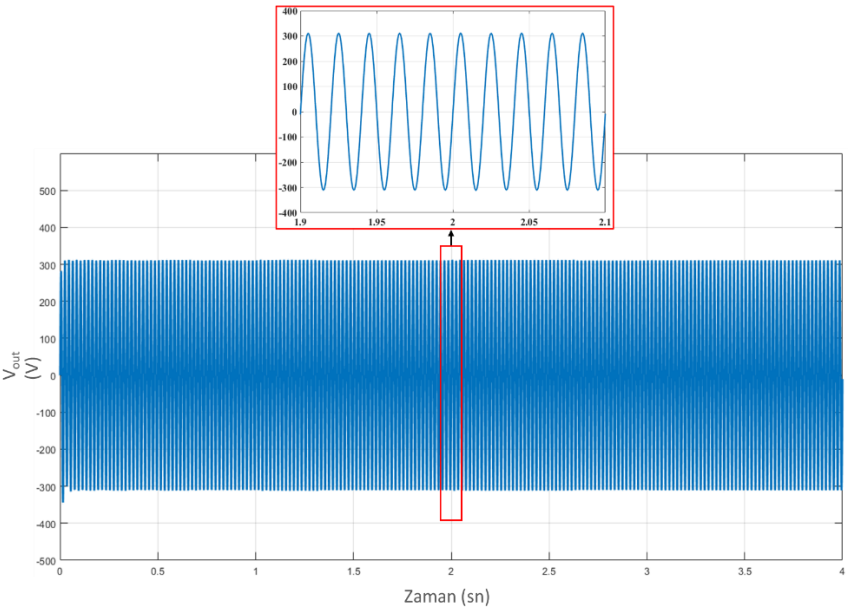


Şekil 9. Değişen yükler için giriş akımı (I_{in}).

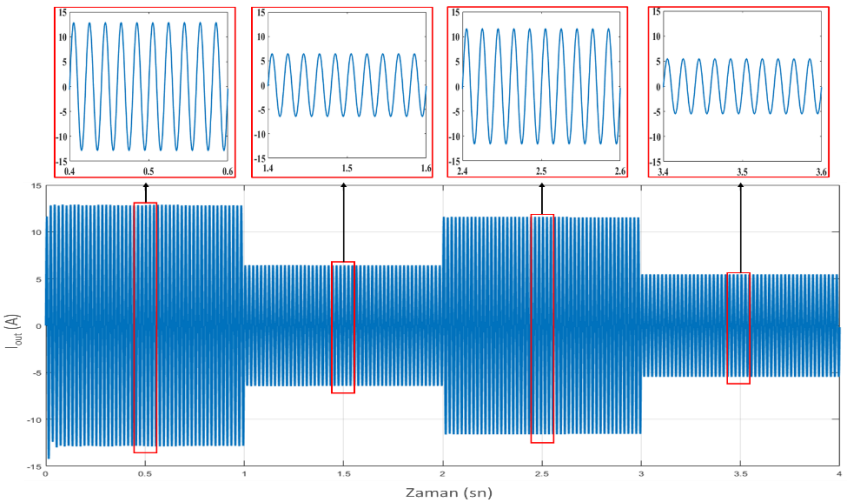
Tasarlana LCL pasif filtrenin giriş ve çıkışında ölçülen gerilim değerleri sırayla filtrelenmemiş ve filtrelenmiş V_{out} olarak isimlendirilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü üzere giriş gerilimi sabit olduğu için + V_{in} ve -V_{in} genliğe sahip bir kare dalga elde edilmiştir. Bu kare dalga, eviricinin doğru bir şekilde anahtarlama yaptığını göstermektedir. Filtre, Şekil 10'da verilen kare sinyali Şekil 11'deki sinüzoidal V_{out} sinyaline dönüştürmüştür. Böylece istenilen formdaki ve genlikteki V_{out} elde edilmiştir. Çıkışta ölçülen akım değerleri Şekil 11'de verilmiştir



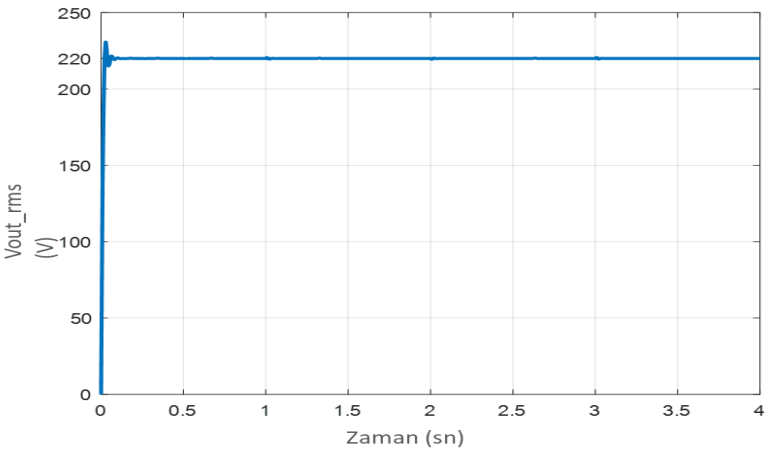
Şekil 9. Değişen yükleri için filtrelenmemiş V_{out}.



Şekil 10. Değişen yükler için filtrelenmiş V_{out}.

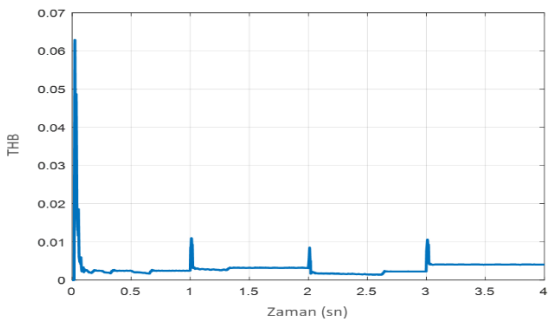


Şekil 11. Değişen yükler için filtrelenmiş çıkış akımı (I_{out}).



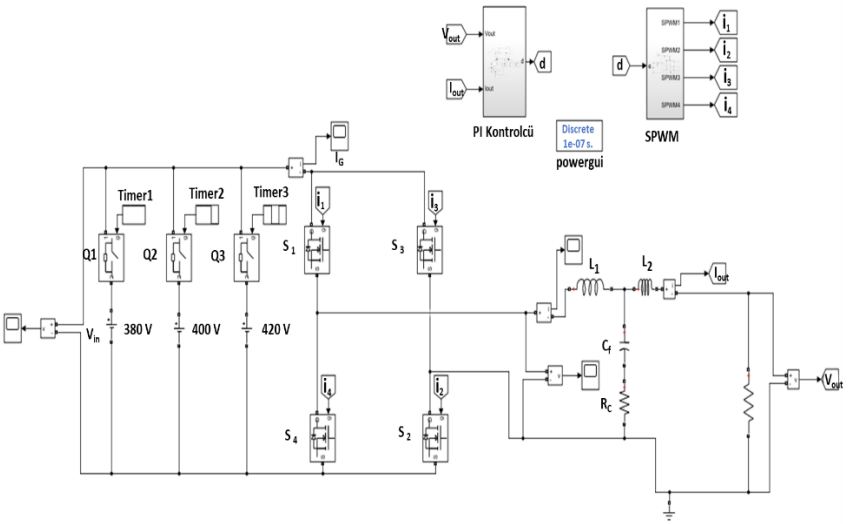
Şekil 12. Değişen yükler için çıkış geriliminin etkin değeri.

Şekil 12'de çıkış gerilimin etkin değeri verilmiştir ve bu değer değişen çıkış güçlerine rağmen neredeyse sabit kalmıştır. Önerilen eviricinin benzetim çalışmalarında değişen yükler için elde edilen THB değeri Şekil 13'de verilmiştir. Bu değer IEEE519 standartlarına uygunluk göstermektedir.

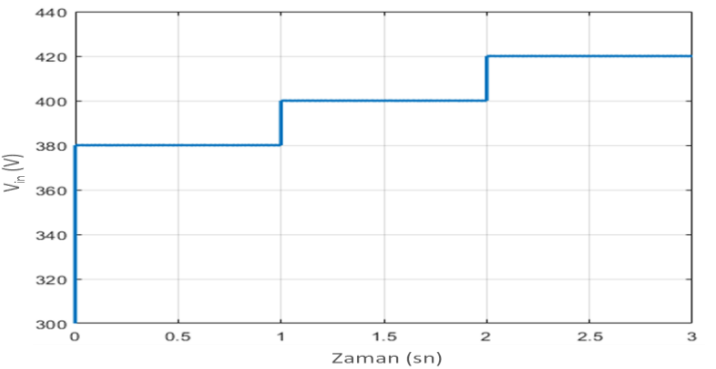


Şekil 13. Değişen yükler için çıkış geriliminin THB.

Aynı sistem sabit bir yük için değişen V_{in} değerleri altında çalıştırılmıştır (Şekil 14).

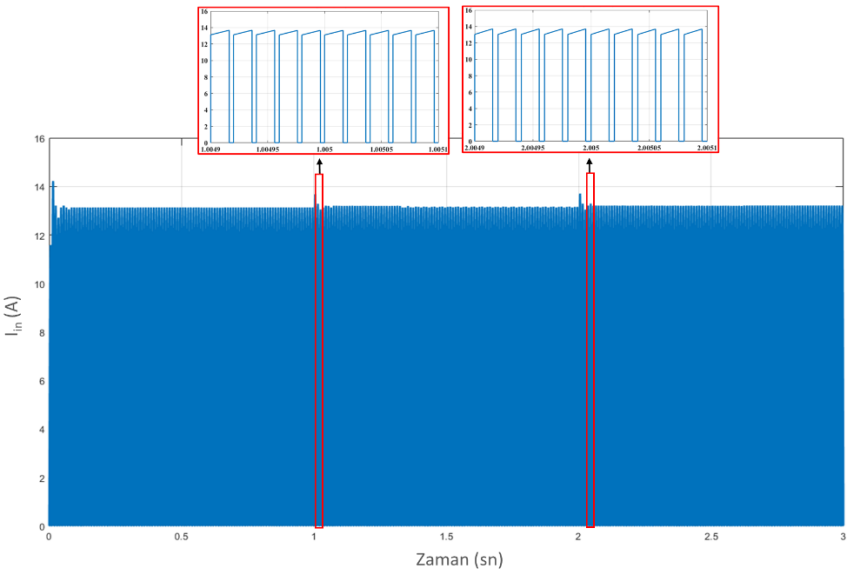


Şekil 14. Değişen V_{in} için önerilen sistem

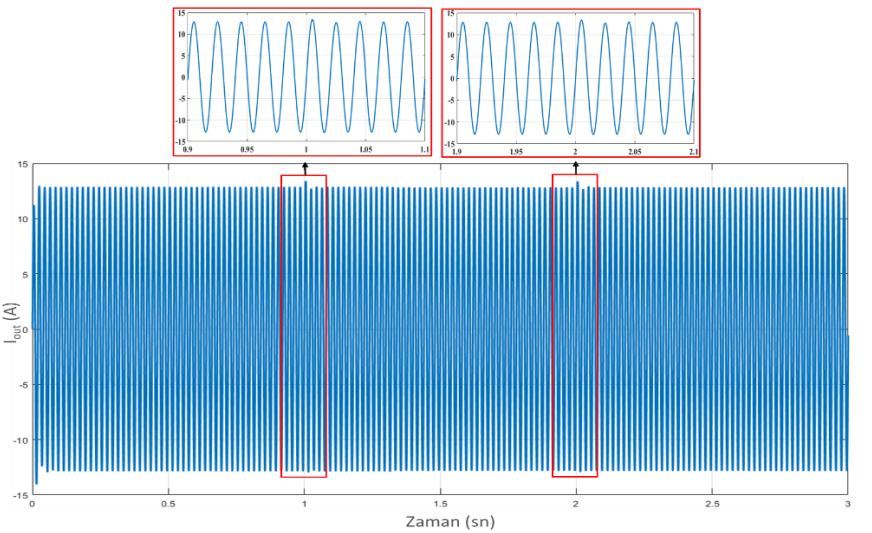


Şekil 15. Değişen V_{in} değerleri.

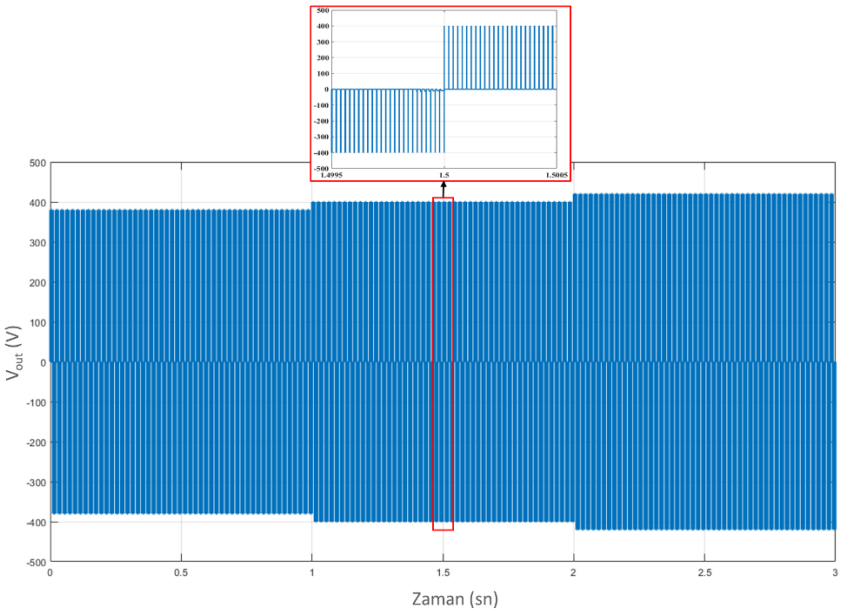
Önerilen sistemin girişine sırasıyla 380 V, 400 V ve 420 V DA gerilim uygulanmıştır (Şekil 15). Sistemin çıkışındaki yük sabit ve çıkış geriliminin etkin değeri 220 V olmasından dolayı değişen V_{in} değeri ile giriş akımı (I_{in}) değişirken I_{out} sabit kalmaktadır (Şekil 16-17).



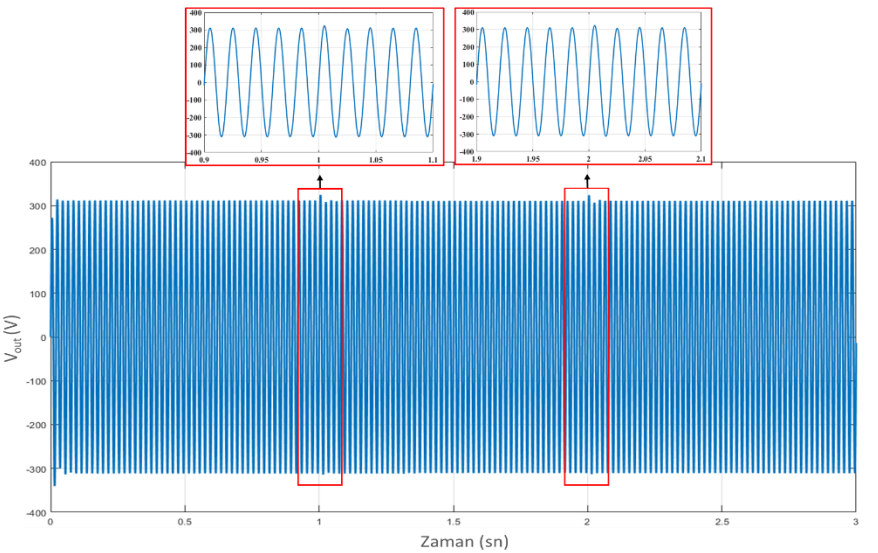
Şekil 16. Değişen I_{in} değerleri.



Şekil 17. Değişen V_{in} için sabit I_{out}.

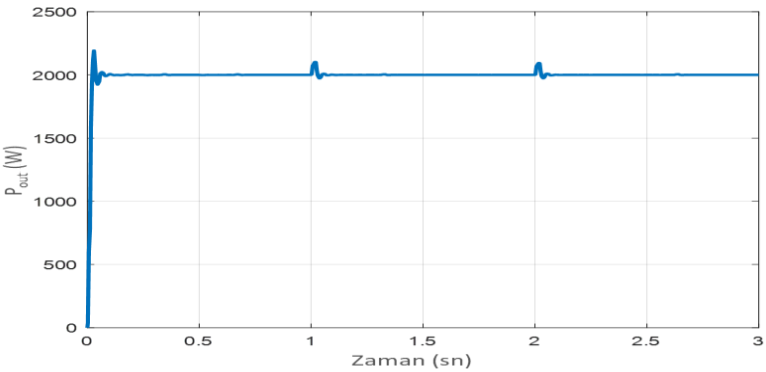


Şekil 18. Değişen V_{in} için filtrelenmemiş V_{out}



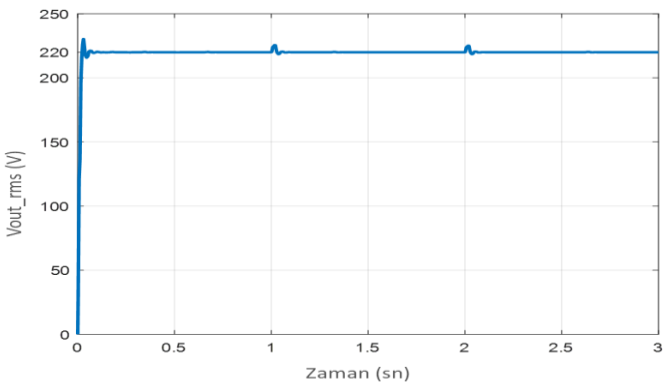
Şekil 19. Değişen V_{in} için filtrelenmiş V_{out}

Önerilen sistemin değişen V_{in} değerleri için elde edilen filtrelenmemiş ve filtrelenmiş V_{out} sırasıyla Şekil 18 ve 19 'da verilmiştir. Sistemin çıkış gücü (P_{out}) ise şekil 20'de verilmiştir.

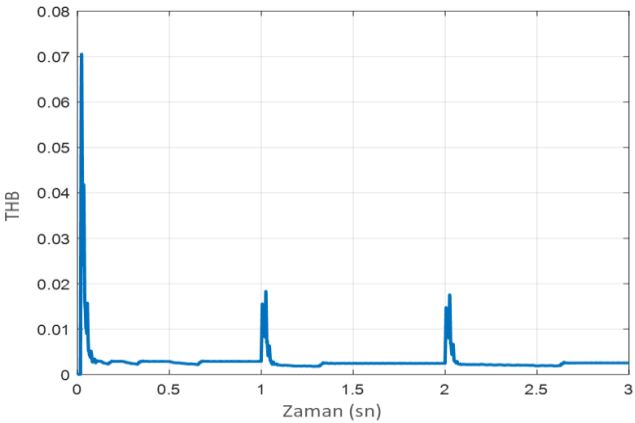


Şekil 19. Değişen V_{in} için P_{out}.

Çıkış gerilimini etkin değeri ve THB sırasıyla Şekil 20 ve Şekil 21'de verilmiştir.



Şekil 20. Değişen V_{in} için V_{out}'nin etkin değeri.



Şekil 21. Değişen V_{in} için V_{out}'un THB'si.

4. Sonuç ve Yorum

DA formda çıkış gerilime sahip olan kaynaklar DA/AA eviricilerin kullanılmasıyla AA uygulamalar için kullanılabilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi günümüz teknolojisi ile sadece DA formda depolanabilmektedir batarya sistemleri sayesinde. Depolana elektrik enerjisinin AA uygulamalarda kullanılabilmesi için DA/AA eviricilerin kullanılmasına ihtiyaç vardır (Bouzguenda & Selmi, 2021).

Bu çalışmada, MATLAB/Simulink benzetim programında bir fazlı tam köprü DA/AA eviricinin çıkışında değişen koşullar altında ihtiyaç duyulan 50 Hz'lik frekansa sahip etkin değeri 220 V olan bir gerilim elde edebilmek için PI kontrolcü ve SPWM yöntemi kullanılmıştır. Eviricinin çıkış gücü 2 kW, 1 kW; 1.8 kW ve 0.85 kW olacak şekilde ayarlandığında ve giriş gerilimi 380V, 400V ve 420 V DA olacak şekilde iki farklı durumda çalıştırılan eviricinin çıkışında istenilen düzeyde değerler elde edilmiştir. Kullanılan evirici çeşidi ve kontrol yöntemi sayesinde her iki durumda da

Prabaharan & Palanisamy (2017) yaptığı çalışmada verilen IEEE519-1999 standartlarına uygun daha düşük gerilim ve akım THB'leri elde edildi. Kullanılan yük rezistif olduğu için akım ve gerilim THB'si neredeyse eşit çıkmıştır.

Önerilen sistem yenilebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı fotovoltaik panel ve yakıt hücresi gibi DA çıkış gerilime sahip olan dönüştürücü sistemlerin AA gerilim kullanan uygulamalarda kullanımı etkili bir şekilde arttırabilir.

REFERANSLAR

Ador, B. A., & Zaman, M. T. (2023). A Review of the DC-AC Inverters Used in Photovoltaic Systems. In 2023 IEEE 9th International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE) (pp. 13-18). IEEE.

Al-Jafeary, I.M.K., & Tan, N.M. (2020). Design of a novel spwm based on bat-like reference signal technique for ev applications. IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 7-8 Aralık 2020, Penang, Malaysia. 71-76.

Batarseh, I., & Harb, A. (2018). Review of switching concepts and power semiconductor devices. Power Electronics: Circuit Analysis and Design, 25-91.

Bouzguenda, M., & Selmi, T. (2021). Review of DC-AC converters for photovoltaic conversion chains. International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 12 (2), 886.

Hauge, F., & Lie, B. (2013). Relaxed Ziegler-Nichols closed loop tuning of PI controllers. Modeling. Identification and Control, 34 (2), 83-97.

Karaca, M. (2020). Değişken Frekansli Evirgeç Tasarimi Ve Uygulamasi (yüksek lisans tezi, basılmamış). Van YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.Van.

Kim, Y.J., & Kim, H. (2019). Optimal design of LCL filter in grid-connected inverters. IET Power Electronics, 12 (7), 1774–1782.

Prabaharan, N., & Palanisamy, K. (2017). A comprehensive review on reduced switch multilevel inverter topologies, modulation

techniques and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews,76, 1248-1282.

Rasekh, N., & Hosseinpour, M. (2020). LCL filter design and robust converter side current feedback control for grid-connected Proton Exchange Membrane Fuel Cell system. International Journal Of Hydrogen Energy, 45 (23), 13055–13067.

Rashid, M. H. (2015). Güç Elektroniği Yarıiletken Elemanlar, Devreler ve Uygulamaları. 4.Basım. Florida, USA.

Üzmuş, H. (2016). Çift-Katli Yükselten (Cascade Boost) Dönüştürücünün Kayan Kip (Sliding Mode) Yöntemiyle Kontrolü (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.

Üzmuş, H. (2022). Fotovoltaik (FV) Sistemler İçin Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ) Yöntemi Geliştirilmesi ve Uygulanması (Doktora tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.

Yalduz, H. (2015). DA-DA Düşüren Dönüştürücü Tasarımı ve PI Kontrolü (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.

BÖLÜM III

Çapraz İlişki Yönteminin Türkçe ’de Ünlü / Ünsüz Harflerin Birbirinden Ayrılmasında Kullanılması

Nuri İKİZLER[1]

1.Giriş

Ses tanıma sistemlerinde yapılan çalışmalarda karşılaşılan en büyük zorlukların başında, içinde barındırdığı iç disiplinlerin fazlalığı gelmektedir. Sinyal işleme, akustik, örüntü tanıma, haberleşme ve bilgi teorisi, dilbilim, fizyoloji ve bilgisayar bilimleri bu disiplinler arasında sayılabilir. Bu disiplinler içerisindeki birçok araştırma, ses tanıma teknolojisinin gelişmesine öncülük etmektedir. Ancak bu alanların herhangi birinde ortaya çıkabilecek hatalı bir yaklaşım, ses tanıma sisteminin performansını doğrudan olumsuz yönde etkileyecektir. Ses tanıma sistemlerinin yüksek doğrulukta tanıma elde etmesindeki en kritik rollerden biri, ifade edilmek istenen kelimeyi oluşturan seslerin birbirinden ayrılmasıdır. Her

[1] Dr.Öğ.Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Akçaabat-Trabzon/TÜRKİYE, Orcid 0000-0002-7632-1973, nikizler@ktu.edu.tr

dilde kelimeleri oluşturan sesler farklı yapıdadır. Türkçe ’de ise kelimeleri oluşturan hece gurupları ve heceleri oluşturan ünlü / ünsüz harf yapıları mevcuttur. Heceler içerisinde yer alan bu ünlü / ünsüz harflerin doğru bir şeklide bölümlenmesi Türkçe ses tanıma sistemlerinin başarısını doğrudan etkilemektedir.

Sesin bölümlenmesi, sürekli bir konuşma sinyalini kesin sınırları olan ayrı birimlere bölmeyi içerir. Ardışık olarak konuşulan çok sayıda kelimeyi doğru bir şekilde tanımak için, bir konuşma tanıma sistemi temel alt kelime birimlerini tanımlayacak şekilde eğitilmelidir. Bu, öncelikle konuşma ifadesini bu temel alt kelime bileşenlerine ayırmak için bir bölümleme yöntemi gerektirir. Orta ve büyük kelime dağarcığı ile konuşma tanıma (Lee & ark., 1993), (Rotovnik, Maucec & Kacic, (2007), (Bamberg & Mandel, 1991) ve (Ko & Un, 1992), konuşmacı tanıma (Sharma & Mammone, 1996), (Doddington & ark., 2000) ve (Fokotakis, Tsopanoglu & Kokkinakis, 1993), dil tanımlama (Rouas & ark., 2005) ve (Nagarayan & Murthy, 2006) gibi mevcut konuşma işleme sistemlerinin çoğu, akustik alt kelime birimlerine dayanır.

Türkçede 8 ünlü (a, e, ı, i, o, ö, u, ü) ve 21 ünsüz (b, c, ç, d, f, g, ğ, h, j, k, l, m, n, p, r, s, ş, t, v, y, z) vardır. Ünlüler dilin, dudakların ve ağzın pozisyonuna göre sınıflandırılırken, ünsüzler ses tellerinin titreşimine göre belirlenir. Türkçe heceler genellikle ünsüz-ünlü, ünlü-ünsüz, ünlü, ünsüz-ünlü-ünsüz, ünlü-ünsüz-ünsüz veya ünsüz-ünlü-ünsüz-ünsüz gibi kalıpları izler. Bu hecelerin belirli kalıplara göre düzenlenmesiyle Türkçe’de kelimeler oluşturulur.

Bir kelimedeki ünsüz ve ünlülerin doğru şekilde bölümlenmesi, hece tabanlı bir konuşma tanıma sisteminde akustik

alt kelime birimlerinin tanınmasını kolaylaştırır (İkizler, Çavdar & Ekim, 2005). Enerji ölçümü, sıfır geçiş oranı sayımı ve ses perdesi bilgisi analizi dahil olmak üzere ünsüz-ünlü bölümleme noktalarını tespit etmek için çeşitli teknikler mevcuttur (İkizler, 2002), (Wang & ark., 1991), (Stephen & ark., 1996). Sıfır geçiş oranı ve enerji ölçümü yöntemlerinde uygun bir seviye belirlemesi yapılmalıdır. Yanlış bir belirleme bu tekniklerde hatalara yol açabilir. Ek olarak, enerji ölçümleri yüksek sinyal seviyelerine karşı çok hassastır ve bu da sinyal enerjisinde örnekten örneğe büyük değişimleri ortaya çıkarabilir. Öte yandan, konuşma için sıfır geçiş ölçümlerini yorumlarken, konuşma seslerinin geniş frekans spektrumu nedeniyle hata olasılığı fazladır. (Wang & ark., 1991) ve (Stephen & ark., 1996) sunulan diğer ünsüz-ünlü bölümleme algoritmalarında, ünlü kısımdaki tepe genliklerinden, hece boyunca geriye doğru ses perdesi bilgilerini tahmin etmeye dayanır. Her ses perdesi periyodunda bir tepe genliği görüneceği için, ünsüz-ünlü bölümleme noktası bir ses perdesi periyodu içinde ancak keskin bir enerji düşüşü olduğunda tespit edilir. Ses perdesi pozisyonlarını ve geriye doğru izleme sürecini tahmin etmek için, bu algoritmaların hesaplama süreçleri oldukça karışıktır. Ayrıca, geçici bölgede yanlış ses perdesi pozisyonu göründüğünde, yanlış ünlü/ünsüz bölümleme noktası belirlenebilir.

(Tolba & ark., 2005) tarafından sunulan başka bir bölümleme algoritması, dalgacık dönüşümü ve spektral analize dayanmaktadır. Bu algoritma, konuşma ifadesindeki her bir ünlü harfin başlangıcını ve sonunu tespit etmektedir. Dalgacık paketi ayrıştırmasından belirli seviyelerde ünsüz ve ünlü harf bölümleri arasındaki geçişi belirlemeye odaklanmak için dalgacık dönüşümü ve spektral analizi

kullanmaktadır. Bu yöntem, bölümleme için yaklaşık %88,3 oranında bir doğruluk elde etmiştir.

Ses tanıma için ünlü-ünsüz birimlerini tespit etmeye yönelik diğer bir yaklaşım ise, uygun sınıflandırıcılar kullanılarak bağlantı noktalarının tanımlanması ve bu bağlantı noktalarının etrafındaki bölgelerin etiketlenmesi mantığına dayanmaktadır (Suryakanth & ark., 2005). Bu yaklaşımda, ünlü harf başlangıç noktaları bağlantı noktası olarak kullanılmıştır. Sürekli konuşmada ünlü harf başlangıç noktalarını tespit etmek için oto-ilişkisel sinir ağı modellerinin dağıtım yakalama yeteneği araştırılmıştır. Bu sınıflandırma yönteminin %74,63'lük bir bölümleme doğruluk oranına ulaştığı görülmektedir.

Ses işaretlerinin bölümlenmesiyle ilgili araştırmalar içinde (Hanes, 1994), (Beng, 1996), (Dumrongpati, 1999) ve (Jarungpronsawad, 2000) tarafından yapılan çalışmalarda gösterilebilir. (Hanes, 1994), formant frekans ve çevresi eşlemesi kullanan bir teknik önermiştir. Bu yöntem bir sesin her bir bölümünü tanıyabilmesine rağmen, ünsüzleri ünlülerden tamamen ayıramaz. (Beng, 1996), örneklenmiş sürekli dalgacık dönüşümü kullanarak ünsüzleri ayırmak için bir yöntem önermiştir. (Dumrongpati, 1999), ayrık dalgacık dönüşümü kullanarak ünsüzleri ünlülerden ayırmak için yine farklı bir yöntem üzerinde çalışmıştır. Her iki yöntem de uzun işlem sürelerine sahiptir. O. (Jarungpronsawad, 2000), sıfır geçişine dayalı yarı periyodik yeniden değerlendirme kullanarak sürekli konuşmayı hecelere ayırmaya çalışmıştır. Bu yöntemin, hızlı ve sürekli konuşmalarda heceleri ayırmada etkileyici sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Ancak, bir hece içindeki ünlü ve ünsüz

harfleri ayırmadaki düşük doğruluk oranı, bu yöntemi Türkçe dili için elverişsiz hale getirir.

Burada, Türkçe ünlü-ünsüz bölümlenmesi için uygun bir yöntemden bahsedilecektir. Ayrıca, önerilen yöntem daha önce bölümleme için herhangi bir dile uygulanmamıştır. Algoritmanın temel amacı, konuşma ifadesindeki her ünlünün başlangıcını ve sonunu tespit etmek ve bir Türkçe hecedeki ünlüleri ünsüzlerden ayırmaktır.

Önerilen hece bölümleme algoritması akış diyagramı Şekil 1.'de verilmiştir. Önerilen algoritmanın çalışmasını ve sonuçlarını değerlendirmeden önce, akış diyagramında yer alan iki önemli bölüm olan Doğrusal Öngörümleme Kodlama ve Çapraz İlişki yöntemlerinin detaylı ele alınmasında fayda vardır.

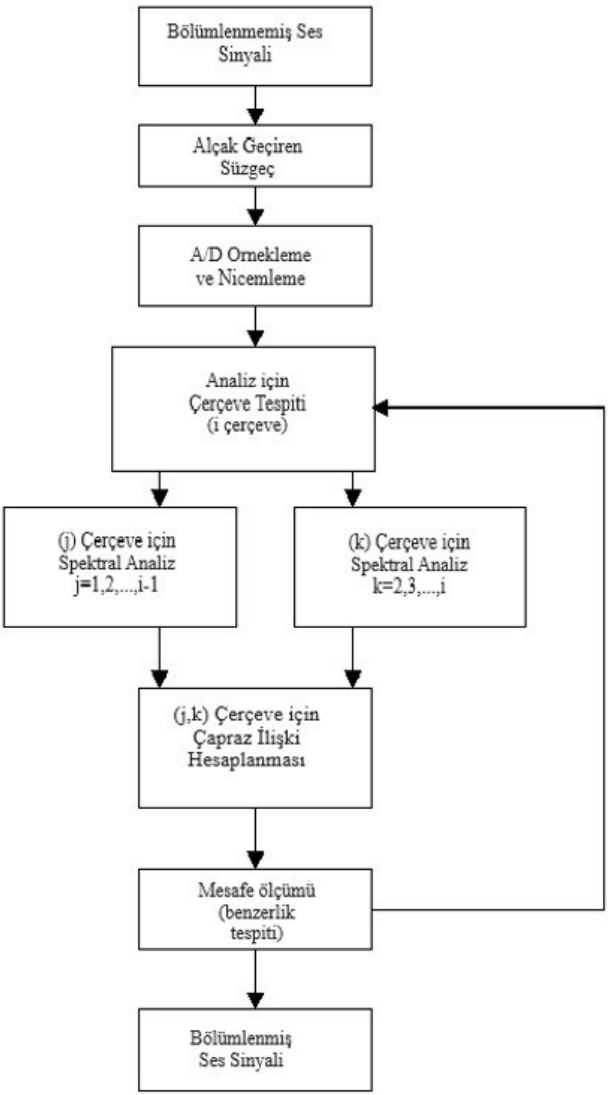
2. Kullanılan Yöntemler

Konuşma sinyalinin özellikleri, tipik olarak 10-30 msn olan kısa zaman aralıklarında sabittir. Örneğin, sesli bir aralıkta, konuşma sinyali periyodikliğe yakın bir davranış sergilerken, sessiz bir aralıkta, periyodiklikten uzaktır. Bir kısa zaman analiz yönteminde, konuşmanın uzun zaman aralıklarında durağan olmadığı ancak yeterince kısa zaman aralıklarında durağan olduğu kabul edilir. Bu nedenle, kısa bir konuşma bölümünün Fourier dönüşümü veya doğrusal öngörümü, o belirli zaman aralığında konuşmanın güvenilir bir spektral temsilini sağlar.

2.1. Doğrusal Öngörümleme Kodlama (DÖK) Analizi

Doğrusal öngörümlemenin önemi, çok az sayıda parametre kullanarak konuşma dalgasının ve spektrumunun özelliklerini etkili

ve doğru bir şekilde temsil etmesidir. Ayrıca, bu parametreler nispeten basit hesaplamalar yoluyla elde edilebilir (Sadoki, 1985).



Şekil 1. Önerilen ünlü-ünsüz bölümleme algoritması akış diyagramı

Ayrık konuşma sinyali x_t'nin mevcut örnek değeri ile önceki p örnek değerleri arasında birinci dereceden doğrusal bir kombinasyon olduğunu varsayabiliriz.

$$x_t + \alpha_1 . x_{t-1} + ... + \alpha_p . x_{t-p} = \varepsilon_t \quad (1)$$

burada ε_t, 0 ortalama değere ve σ^2 varyansa sahip ilişkisiz bir istatistiksel değişkendir. Bu denklem, mevcut örnek değeri x_t'nin önceki örnek değerleri kullanılarak doğrusal olarak tahmin edilebileceği anlamına gelir. x_t için doğrusal olarak tahmin edilen değer x_t', aşağıdaki şekilde gösterilirse

$$x_t^{'} = -\sum_{i=1}^{P} \alpha_i . x_{t-i} \quad (2)$$

ve aşağıdaki denklem (1) ve (2)'den elde edilebilir

$$x_t - x_t^{'} = \varepsilon_t \quad (3)$$

Denklem (1), α_i doğrusal öngörümleme katsayıları ile doğrusal tahmin modeli olarak kabul edilir. ε_t, kalıntı hatası olarak adlandırılır. Doğrusal öngörümleme katsayıları α_i 'yi tahmin etmek için, denklem (3)'e en küçük ortalama karesel hata yöntemi uygulanır. α_i katsayılarını belirlemek için, x_t'nin örnek değerleri ile doğrusal olarak tahmin edilen x_t' değerleri arasındaki hata olan ε_t 'nin karesel toplamı önceden belirlenmiş bir $[t_0,t_1]$ süresi boyunca en aza indirilir. Daha sonra, toplam karesel hata şu şekilde belirlenir:

$$\beta = \sum_{t=t_0}^{t_1} \varepsilon_t^2 \quad (4)$$

Burada α_0=1. c_{ij} ise şu şekilde tanımlanır.

$$c_{ij} = \sum_{t=t_0}^{t_1} x_{t-i}.x_{t-j} \qquad (5)$$

α_j 'ye göre β'nın kısmi türevini sıfıra ayarlamak (j=1,2,..,P) ve çözmek, β'nın en aza indirilmesini sağlar. Böylece, tahmin katsayıları α_i, aşağıdaki p doğrusal eşzamanlı denklem kümesini çözerek elde edilebilir.

$$\frac{\partial\beta}{\partial\alpha_j} = 2.\sum_{i=0}^{P} \alpha_i.c_{ij} \qquad (6)$$

(6) eşitliği,

$$c_{ij} = \sum_{t=p}^{N-1} x_{t-i}.x_{t-j} \qquad (7)$$

kullanılarak çözülür. Öz ilişki yöntemi $t_0=-\infty$, $t_1=\infty$, ve $x_t=0$ için $t < 0$ ve $t \geq N$ kabul edilerek tanımlanır. Bu kısıtlamalar c_{ij} aşağıdaki şekilde basitleştirilmesine olanak tanır;

$$c_{ij} = r_{|i-j|} \qquad (8)$$

Böylece, α_i aşağıdaki denklem çözülerek bulunabilir.

$$\sum_{i=0}^{P} \alpha_i.r_{|i-j|} = 0 \qquad (j = 1,2,..., p) \quad (9)$$

Burada,

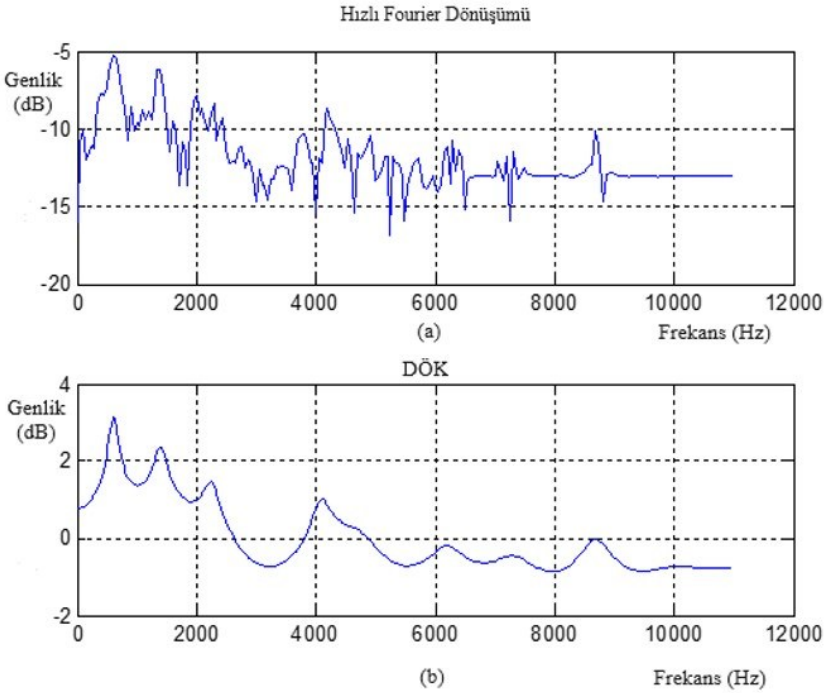
$$r_\tau = \sum_{t=0}^{N-1-\tau} x_t.x_{t+\tau} \qquad (\tau \geq 0) \qquad (10)$$

Bu denklemin matris temsili ise aşağıdaki şekildedir.

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \dots & r_{p-1} \\ r_1 & r_0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & r_1 \\ r_{p-1} & \dots & r_1 & r_0 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_p \end{bmatrix} \qquad (11)$$

Bu denkleme Yule-Walker denklemi denir ve α_i bu denklemi çözerek elde edilebilir. Herhangi bir konuşma sinyalinin güç spektrumu bu α_i değerleri kullanılarak hesaplanabilir.

“AŞÇI” kelimesine ait güç spektrumu Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu şekilde konuşma sinyalinin güç spektrumu, kısa süreli Fourier analizini uygulamak için yaygın olarak kullanılan DÖK yöntemi ve FFT yöntemi ile hesaplanmıştır.



Şekil 2. a) AŞÇI kelimesinin Hızlı Fourier Dönüşümü yöntemi kullanılarak elde edilmiş güç spektrumu. (Örnekleme frekansı 22kHz, analiz çerçeve süresi: 30msn). b) AŞÇI kelimesinin Doğrusal Öngörümle Kodlama (DÖK) yöntemi kullanılarak elde edilmiş güç spektrumu. (Örnekleme frekansı 22kHz, DÖK derecesi: 20, analiz çerçeve süresi: 30msn)

2.2. Çapraz İlişki Analizi

İlişki analizinde, ilişki katsayısı adı verilen tek bir sayı kullanarak iki değişken arasındaki ilişkinin büyüklüğü ölçülür. Çapraz ilişki analizi ise, iki dalga şekli veya iki seri arasındaki ilişkiyi değerlendirir. Bir seriye ait gözlem değerleri, çeşitli gecikmelerde başka bir serinin gözlem değerleriyle ilişkilendirilir.

Çapraz ilişki, diğer değişkenlerin öncü göstergeleri olan değişkenleri belirlemeye yardımcı olur ve bir değişkenin diğer değişkene göre ne kadar değişeceğinin tahmin edildiğini belirler (Wolpole, Myres & Myers, 2002).

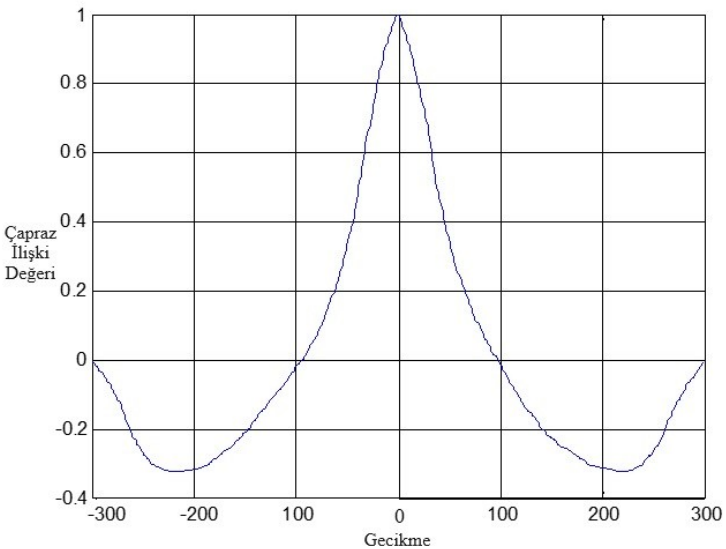
İki zaman serisi veri kümesinin çapraz ilişki testi, bir veri kümesini diğerine göre zamanın kaydırılarak ilişki katsayısının sayısız hesaplamasını içerir. Her kaydırmaya "gecikme" denir ve gecikme süresi iki zaman serisi veri kümesinin örnekleme periyoduna karşılık gelir. Tipik bir çapraz ilişki grafiği, iki veri kümesi arasındaki döngüsel ilişkiyi göstermek için hem negatif hem de pozitif yönlerde yeterli gecikmeler gösterir.

Çapraz ilişki analizinde, birbirleriyle aynı fazda olmayan dalga şekilleri negatif bir ilişki sergilerken, aynı fazda olan dalga şekilleri pozitif bir ilişkiye sahiptir. İki dalga şekli arasındaki ilişkinin gücü ±1'de mükemmeldir ve ilişki azaldıkça sıfıra doğru azalır.

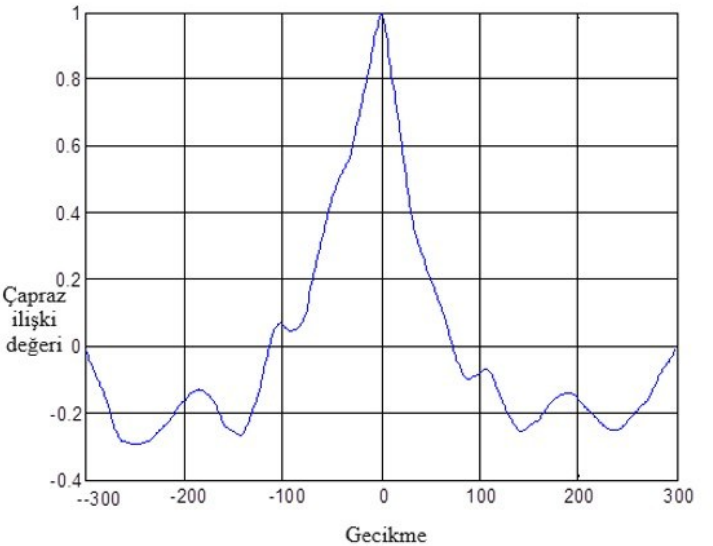
x ekseni boyunca yüksek derecede simetri veya kararlılık, iki dalga şekli arasında kararlı bir ilişki olduğunu gösterir. Ancak, dalga şekilleri arasındaki ilişki değiştiğinden ve sıfır gecikmenin ötesinde azalan ilişki değerleri oluşturduğundan, bu ilişkide daha az kararlılık olduğunu gösterir. x(i) ve y(i) serilerini ele alalım, burada i=0,1,2,...,N-1, çapraz ilişki katsayısı ϕ_{xy} şu şekilde tanımlanır:

$$\phi_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} \frac{x_i . y_{i+k}}{N-k} - \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{N}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{x_i^2}{N} - \left(\sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{N}\right)^2} . \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{y_i^2}{N} - \left(\sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{N}\right)^2}} \qquad (12)$$

Şekil 3'de iki özdeş konuşma dalga şeklinin çapraz ilişkisi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, y ekseninin merkezi -1000'den 0 gecikme değerine kaydırılırsa, [0,300] ile [-300,0] gecikme değerleri arasında mükemmel bir simetri olacaktır. İki dalga formu özdeş olduğundan, kaydırılmış y ekseninin her iki tarafı arasında bu mükemmel simetriye veya başka bir deyişle mükemmel benzerliğe ulaşmak oldukça normaldir. Normalde ses işaretlerinde,



Şekil 3. İki benzer ses çerçevesinin güç spektrumlarının Çapraz ilişki grafiği.



Şekil 4. İki farklı ses çerçevesinin güç spektrumlarının Çapraz İlişki grafiği.

Seçilen dalga şekilleri aynı kişi aynı kelimeyi seslendirse bile özdeş olmayacaktır. Şekil 4.'te ise özdeş olmayan iki dalga şeklinin çapraz ilişkisi gösterilmiştir. Çapraz ilişki derecesi, iki dalga şekli arasındaki benzerliği göstermektedir.

2.3. Benzerlik Ölçümü

Çok boyutlu uzaydaki nesneler arasındaki mesafeler, birçok çok değişkenli veri analizi yönteminin temelini oluşturur. "Mesafe" terimi matematiksel anlamda kullanılsa da "benzerlik" terimi anlamı uygulamada kullanılır. Genel olarak, n x n boyutlu uzaydaki herhangi iki nokta arasındaki d_{ij} mesafesi, Minkowski tarafından verilen denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$d_{ij} = \left[\sum_{i=1}^{n} \left| x_{ik} - x_{jk} \right|^{p} \right]^{\frac{1}{p}} \qquad (13)$$

Burada k, koordinatların indeksidir, p ise mesafenin türünü belirler. Minkowski mesafesinin özel durumları vardır. p = 1 durumunda bu mesafe ölçüsüne Manhattan mesafesi denir. p = 2 Euclidean mesafesi olarak bilinir (Dattoro, 2005).

İki sayısal veri noktası arasındaki mesafeyi belirlemek için kullanılan diğer benzerlik ölçüleri arasında Öklid mesafesi, normalize edilmiş Öklid mesafesi, Bray-Curtis mesafesi, Canberra mesafesi, ilişki mesafesi ve kosinüs mesafesi yer alır (Dattoro, 2005).

3. Önerilen Bölümleme Algoritması

Konuşma dalga şeklinde yaklaşık 10-30 msn süreli rastgele bir bölüm seçersek, dalga şeklinin özelliklerinin o aralıkta değişmez kalması oldukça olasıdır. Bu zaman periyodunda, seçilen bölüm ait olduğu ünlü veya ünsüzün özelliklerini yansıtır. Bu nedenle, ünsüz ile ünlü veya ünlü ile ünsüz arasında bir geçiş noktası yoksa, bitişik bölümlerin güç spektrumları arasında önemli farklılıklar olmamalıdır. Sonuç olarak, iki bitişik bölümün güç spektrumlarının çapraz ilişki katsayıları arasındaki mesafe, ünsüz-ünlü veya ünlü-ünsüz arasındaki geçiş noktalarını göstermelidir.

Sisteme giriş olarak verilen konuşma sinyalleri ilk olarak alçak geçiren filtreden geçirilmelidir. Bunun amacı çevresel gürültünün etkilerini ortadan kaldırmaktır. Şekil 1'de verilen sistemin akış diyagramında gösterildiği gibi, öncelikle bölümlenmemiş konuşma sinyaline alçak geçiren bir filtre uygulanır. Burada filtrenin kesim

frekansı için 10 kHz kabaca bir değerdir. İnsan sesine ait spektral bileşenler genelde 200 Hz-8 kHz arasında sesin tam olarak temsil edilmesine olanak tanır. Bu nedenle seçilen frekans değeri en az 8 kHz olmalıdır. Bölümlenmemiş konuşma sinyali, Türkçe hecelerinin biçimleri olan ünsüz-ünlü, ünlü-ünsüz, ünlü, ünsüz-ünlü-ünsüz, ünlü-ünsüz-ünsüz veya ünsüz-ünlü-ünsüz-ünsüz yapıları dahil olmak üzere ünlü ve ünsüz harflerinin kombinasyonlarını içerir.

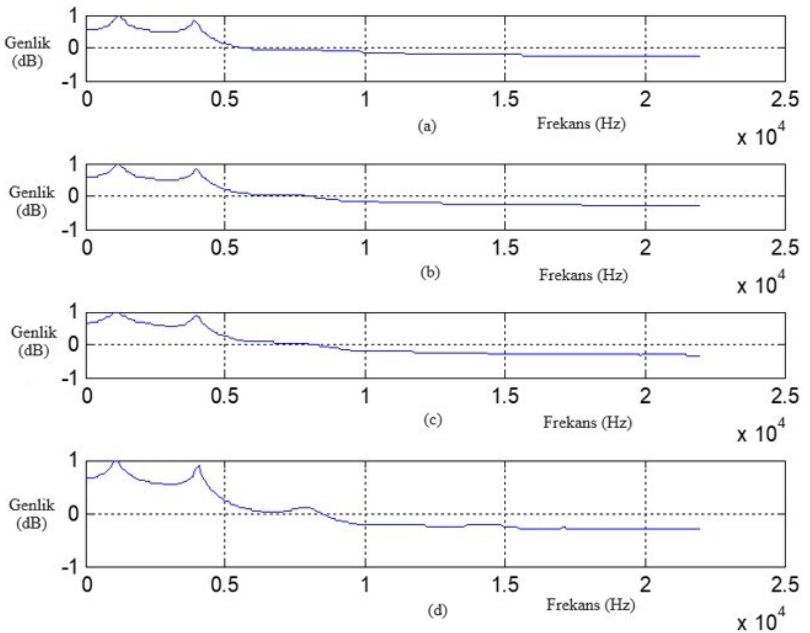
Ses, zaman içinde akustik basınçtaki bir dalgalanma olarak tanımlanabilir. Sayısal hesaplama aygıtları tarafından işlenebilmesi için sesin, her bir örneğinin sonlu sayıda ikili sayı dizisi kullanılarak temsil edildiği ayrı örnekler dizisine indirgenmesi gerekir. İlk işleme örnekleme, ikincisine ise nicemleme denir. Önerdiğimiz algoritma için yapılan deneylerde, 22 kHz örnekleme hızı ve 64 bit nicemleme seviyesi kullanılmıştır (İkizler, 2002).

Konuşma dalga formlarının özelliklerinin 10-30 msn'lik bir süre boyunca durağan olması nedeniyle her çerçeve uzunluğu bu aralıkta seçilmelidir. Çerçeve sayısı daha sonra konuşma sinyalinin toplam süresinden hesaplanabilir. Bu çerçeve uzunluğuna yalnızca sesle etkinleştirilen sürenin dahil edildiği unutulmamalıdır. Sürekli konuşma tanıma sistemlerinde, konuşma ifadelerini sessizlikten ayırmak için ses etkinleştirme seviyeleri kullanılmalıdır. Buda enerji ölçüm yöntemleri kullanılarak, sessizlik anlarının, çevresel hafif gürültü kaynaklarının yarattığı düşük düzeydeki seslerden veya sessizlik anlarından ayrılmasını sağlayacaktır.

Çerçeve algılama ve ayırma işleminden sonra, her bir çerçevenin güç spektrumu doğrusal öngörümleme kodlama yöntemi kullanılarak belirlenir. Önerdiğimiz algoritmaya göre, bitişik

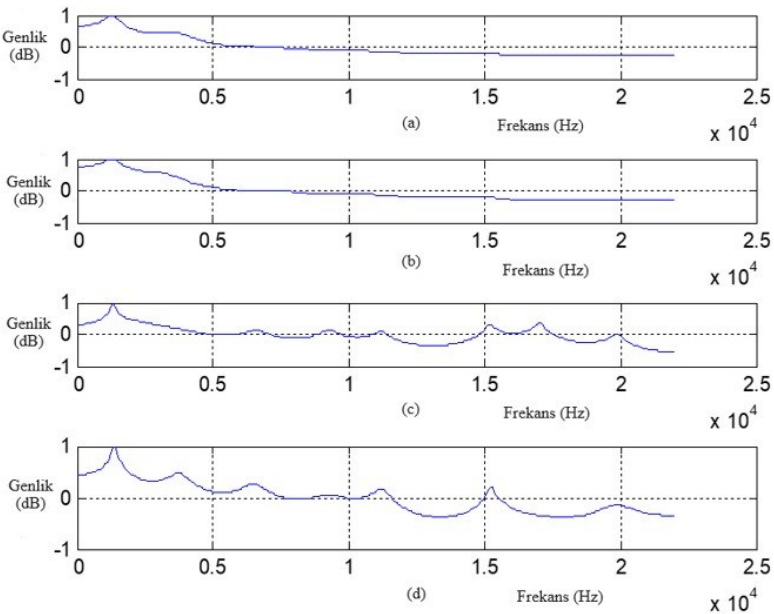
çerçevelerin güç spektrumları bir ünlü veya ünsüz harfin süresi boyunca yaklaşık olarak aynıdır. Bu yaklaşıma dayanarak, bitişik çerçevelerin güç spektrumlarının ünsüz-ünlü veya ünlü-ünsüz geçiş noktalarında dalgalanması gerektiği sonucuna varılabilir.

Şekil 5'te görüldüğü gibi, a ünlü harfi için dört bitişik çerçevenin güç spektrumları neredeyse aynıdır. Şekil 6'da ise ünlü-ünsüz geçiş noktasındaki güç spektrumları gösterilmiştir. Şekil değerlendirildiğinde (b) ve (c) şekillerindeki güç spektrumları arasında arasındaki farklılık, ünsüz-ünlü harf bölümleme noktasının bir oluşumu olarak yorumlanmaktadır.



Şekil 5. "a" ünlü harfi boyunca komşu çerçevelerin DÖK güç spektrumları

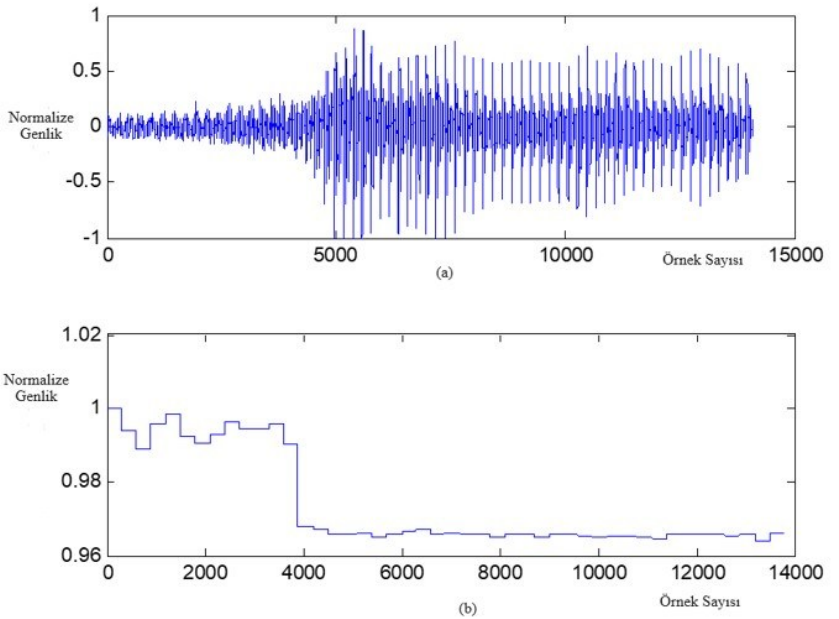
Bitişik çerçeveler arasındaki ilişkiyi belirlemek için ardışık çerçevelerin güç spektrumlarına çapraz ilişki uygulanır. Benzer spektral özelliklere sahip çerçeveler için beklenen çapraz ilişki grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir. Çerçeveler arasındaki çapraz ilişki azaldıkça, [0, 300] ve [-300, 0] aralıklarındaki gecikmeler için kaydırılmış y eksenleri arasındaki benzerlikte Şekil 4'te gösterildiği gibi azalır. Bu nedenle, bu benzerliği tüm konuşma sinyali boyunca Öklid mesafesini kullanarak ölçmek ve benzerlikteki değişiklikleri belirlemek, ünlüden ünsüze veya ünsüzden ünlüye geçiş noktalarını gösterir.



Şekil 6. "E-mel" kelimesinde e-m ünlü-ünsüzleri arasındaki bölümleme noktasındaki komşu çerçevelerin DÖK güç spektrumları.

4. Sonuçlar ve Öneriler

"ze" hecesi için benzerlik ölçüsü Şekil 7'de gösterilmiştir. Türkçe "ze" hecesi z ünsüzü ve e ünlüsünden oluşur. Şekil 7'nin (b) şeklinde görüldüğü gibi, z ve e arasındaki ayrım 3980. örnekte gerçekleşir. Şekil 7'nin üst kısmında gösterilen "ze" hecesinin dalga şekli elle analiz edilirse, z ve e arasındaki segmentasyon noktası çok dikkatli bir göz değerlendirmesi ile 3965. örnekte bulunur. %0.37'lik bir hata, konuşma bölümleme için oldukça etkileyici bir sonuçtur.



Şekil 7. a) "z-e" hecesinin genlik-zaman dalga şekli. b) "z-e" hecesinin komşu çerçevelerinin güç spektrumları arasındaki benzerlik değeri

Türkçe hecelerde farklı ünlü-ünsüz kombinasyonları görülür. Elle yapılan bölümleme sonuçlarının çeşitli heceler için önerilen

algoritmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir. Ortalama hata oranı yaklaşık %2,3'tür, bu da yaklaşık %97,7'lik bir doğruluk oranı anlamına gelir. Orijinal konuşma sinyaline 5 dB beyaz Gauss gürültüsü eklendiğinde doğruluk oranı yaklaşık %2,5 azalır. Tablo 2'de gösterildiği gibi, 5 dB beyaz Gauss gürültüsüne rağmen ortalama %95,26'lık bir doğruluk oranı elde edilmiştir.

Tablo 1. Bölümlenmiş hecelerde hata oranı.

Hece	Manuel Bölümleme (Örnek #)	Sunulan Algoritma (Örnek #)	Fark (Örnek)	Hata Oranı (%)
a-n	3645	3702	57	1.56
y-a-k	2330-6745	2380-6883	50-138	2.14-2.04
p-a-rk	1220-5545	1292-5501	72-56	5.9-1.01
t-e	2430	2371	59	2.42
d-i	1955	2072	117	5.98
k-a-p	2120-6225	2204-6274	84-49	3.96-0.78
m-e-k	3210-7235	3276-7278	66-43	2.05-0.59
s-e-t	2920-5990	2943-5875	23-115	0.78-1.91
a-k	4240	4205	35	0.82
t-ü-rk	1640-4210	1692-4327	52-127	3.17-3.01
u-s	4885	4937	52	1.06

Bu çalışmada, bir hecedeki bir ünlüyü bir ünsüzden ayırmak için farklı bir yaklaşım sunulmuştur. Bu yaklaşım, bitişik ses çerçeveleri için güç spektrumlarının çapraz ilişkisinin benzerliğine dayanmaktadır. Dalgacık dönüşümü ve spektral analize dayanan (Tolba & ark., 2005) tarafından sunulan bölümleme algoritması %88,3'lük bir doğruluk oranına ulaşmıştır. Oto-ilişkisel sinir ağı modellerini kullanan başka bir segmentasyon algoritması (Suryakanth & ark., 2005), %74,63'lük bir doğruluk oranına

ulaşmıştır. Önerdiğimiz algoritmadan elde edilen doğruluk oranı %97,7'dir. Bu yaklaşım yalnızca Türkçe diline uygulanmış olsa da genel doğruluk oranı oldukça tatmin edicidir.

Algoritma ayrıca fazla hesaplama süresi gerektirmemektedir. Deneyler sırasında, eklenen beyaz Gauss gürültüsü 5 dB'yi aştığında, yarı ünlü ünsüzler olan y, l, m ve n'yi ünlülerden ayırmanın zorlaştığı gözlemlenmiştir. Öte yandan, önerilen bu yöntem ünlüleri ünsüzlerden ayırmak için etkilidir. Ancak deneyler, p-a-r-k hecesindeki r'yi k'den ayırmak gibi ünsüzleri diğer ünsüzlerden ayırmada zayıf sonuçlar göstermektedir. Bu sınırlamalara rağmen, önerilen bu yöntem geniş kelime dağarcığı ve sürekli konuşma tanıma sistemleri için uygundur.

Tablo 2. Bölümlenmiş hecelerde 5 dB Gauss gürültüsü eklenmiş durumda hata oranı

Hece	**Manuel Bölümleme (Örnek #)**	**Sunulan Algoritma (Örnek #)**	**Fark (Örnek)**	**Hata Oranı (%)**
a-n	3645	3822	177	4.85
y-a-k	2330-6745	2457-6913	127-168	5.45-2.49
p-a-rk	1220-5545	1371-5421	151-124	12.37-2.23
t-e	2430	2313	117	4.81
d-i	1955	2181	226	11.56
k-a-p	2120-6225	2293-6356	173-131	8.16-2.10
m-e-k	3210-7235	3391-7313	181-87	5.63-1.20
s-e-t	2920-5990	2998-5825	78-165	2.67
a-k	4240	4138	102	2.40
t-ü-rk	1640-4210	1766-4382	136-172	8.29-4.08
u-s	4885	5005	120	2.45

Kaynakça

Lee,C.H, & Gaurain, J.L. & Pieraccini, L. & Rabiner, R., (1993), Large Vocabulary Speech Recognition Using Subword Units, Speech Communication, Vol. 13, 263-279.

Rotovnik, T. & Maucec, M., S. & Kacic, Z., (2007), Large Vocabulary Continuous Speech Recognition of an Infected Language Using Stem and Endings, Speech Communication, vol. 49, 437-452.

Bamberg, P. & Mandel, M. (1991), Adaptable Phone-Based Models for Large Vocabulary Speech Recognition, Speech Communication, vol 10, 437-451.

Koo, J. & Un, C. (1992), A recognition Time Reduction Algorithm for Large Vocabulary Speech Recognition, Speech Communication, vol 11, 45-50.

Sharma M. & Mammone, R. (1996), Sub-word Based Text Dependent Speaker Verification System with User Selectable Passwords, In Proceedings of ICASSP, 93-96.

Doddington, G. & Przybocki, M. & Martin, A. & Reynolds, D., (2000), The NIST Speaker Recognition Evaluation-Overview, Methodology, Systems, Results, Persepective, Speech Communication, vol 31, 225-254.

Fakotakis, N. & Tsopanoglou, A. & Kokkinakis, G. (1993), A text Independent Speaaker Recognition System Based on Vowel Spotting, Speech Communication, vol.12, 57-68.

Rouas, J. & Farinas, J. & Pellegrino, F. & André-Obrecht, R. (2005), Rhythmic Unit Extraction and Modelling for Automatic Language Identification, Speech Communication, vol 47, 436-456.

Nagarajan, T. & Murthy, H. (2006), Language Identification Using Acoustic Log-likelihoods of Syllable-like Units, Speech Communication, vol. 48, 913-926.

İkizler, N. & Çavdar, İ. & Ekim, G., (2005), Türkçe'de Konuşmacıdan Bağımsız Ayrık Hece Tanıma Sistemi, IEEE SIU, Kayseri, Cilt I 55-59.

İkizler, N. (2002), Türkçe'de Konuşmacıdan Bağımsız Hece Tanıma Sistemi, Phd. Thesis, KTÜ, Trabzon, Turkey.

Wang, J. & Wu, C. & Chang, S. & Lee, J. (1991), A Hierarchical Neural Network Model Based on a C/V Segmentation Algorithm for Isolated Mandarin Speech Recognition, IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 39, 2141-2146.

Stephen, W. & Fu, K. & Lee, C. & Clubb, O. (1996), A Robust C/V Segmentation Algorithm for Cantonese, IEEE TENCON, 42-45.

Tolba, M. & Nazmy T. & Abdelhamid A. & Gadallah M. (2005), A Novel Method For Arabic Consonant/Vowel Segmentation Using Wavelet Transform, IJICIS, Vol. 5, 25-43.

Suryakanth, V. & Gangashetty, C. & Chandra, S. & B. Yeknanarayana, B. (2005) Spotting Multilingual Consonant-Vowel Units of Speech Using Neural Network Models, International Conference on Non-Linear Speech Processing, 303-317.

Hanes, M. (1994), Acoustic-to-phonetic Mapping Using Recurrent Neural Networks," in Proceedings of Neural Networks, 659-662.

Beng, T (1996), The Use of Wavelet Transform in Phoneme Recognition, In Proceeding of International Conference on Spoken Language, 2431-2434.

Dumrongpati, K. (1999), Thai Speech Segmentation to Phoneme Using Wavelet Transform, In Proceedings of the 1999 National Computer Science and Engineering Conference, 357-363.

Jarungpronsawad, O. (2000), Speech Segmentation Using Quasi-periodic Reconsidering Based on Zero-crossing, In Proceedings of International Conference on Intelligent Technologies, Assumption University, Thailand, 244-247.

Sadaoki F. (1985), Digital Speech Processing, Synthesis, and Recognition, Tokai University Press, Tokyo.

Wolpole, R. & Myers, R. & Myers, S. (2002), Probability and Statistics, Prentice Hall, Sixth Edition, New Jersey.

Dattorro J. (2005), Convex Optimization & Euclidean Distance Geometry, Meboo Publishing, California.

BÖLÜM IV

Kombine Sarj Sistemleri

Okan Dinç[1]

Giriş

Otomotiv sektörü tarihsel olarak tekerleğin icadıyla başlamıştır; ancak gelişmeler 19. yüzyılda buhar gücünün enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla ivme kazanmıştır. Malların ve insanların taşınmasını büyük ölçüde kolaylaştıran bu buluş, sektörün hızla büyümesinin temel nedenlerinden biridir. Buhar gücüyle çalışan motorlar taşımacılıkta önemli bir dönüm noktası olmuş ve sektörü ileriye taşımıştır. Bu yenilikler otomotiv sektörünü teknolojik olarak ilerletmiş ve toplumun ulaşım ihtiyaçlarının karşılanmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu kolaylık sayesinde otomotiv sektörü insan hayatında önemli bir yer edinmiş ve sürekli gelişen bir endüstri haline gelmiştir. Günümüzde sektörün gelişimi

[1] Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş, Ar-Ge Bölümü, Mersin/Türkiye, Orcid: 0009-0002-6880-8412 ,okan.dinc@koluman.com

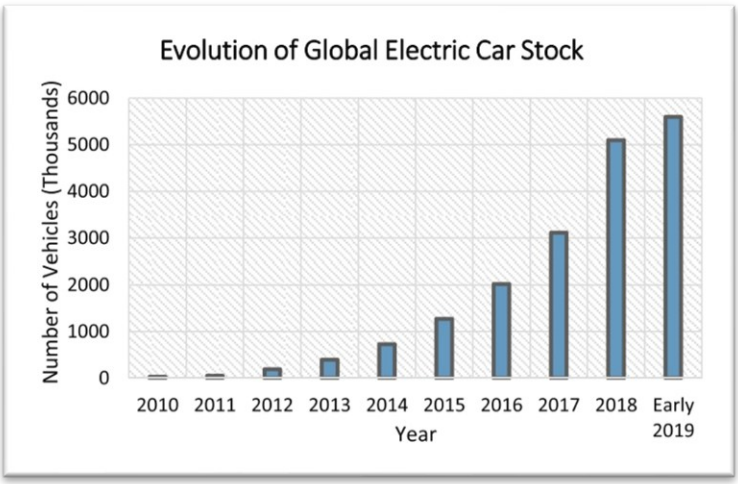
çeşitli enerji kaynaklarının kullanımı ile devam etmektedir. Özellikle araçlarda kullanılan enerji türünde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Enerji kaynaklarının kullanımı teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli ilerleme eğilimindedir. Bu da otomotiv sektörünün gelecek potansiyelinin ve sürdürülebilirliğinin artmasında önemli rol oynamaktadır.

Tarihteki ilk otomobillerin insan gücüyle çalıştığı bilinmektedir. Ancak buhar gücünün keşfi ve kullanımıyla birlikte otomotiv endüstrisinde devrim niteliğinde bir değişim yaşanmıştır. Yine de araç ağırlığı ve performansı arasındaki denge sorunu buhar gücüyle çalışan motorların sınırlarını göstermiş ve bir süre sonra çıkmaza girmişlerdir. Gelişen yaşam koşullarıyla birlikte içten yanmalı motorların ve petrolün kullanımı yaygınlaşmaya başladı. İçten yanmalı motorun ilk prensibi barutun ısıtılması ile çalışan bir süreçti. Bu sistem zaman içinde geliştirilerek elektrikle ateşlenen ve suyla soğutulan bir türev oluşturuldu. Bu motorlarda başlangıçta gazyağı kullanılırken daha sonra petrol kullanımına geçildi.

Teknolojik ilerlemeyle birlikte bilim insanları araçlar için çeşitli alternatif yakıtlar ve motor tipleri geliştirmişlerdir. Bu alternatifler arasında elektrik motorları, hibrit elektrik sistemleri, biyodizel, doğal gaz ve LPG yer almaktadır (Situ, 2009). Yeni keşfedilen ve geliştirilen yakıt türleri otomotiv sektöründe ilerleme kaydetmeye başlamıştır; ancak dünya genelinde olumsuz çevre koşullarının artması ve petrol rezervlerinin hızla tükenmesi farklı yakıt türlerine olan ihtiyacı ön plana çıkarmıştır. Bu olumsuz etkileri azaltmak için elektrik enerjisine geçiş süreci başlatılmıştır. Elektrikli otomobiller içten yanmalı motorlardan daha önce geliştirilmiş olmasına rağmen, petrol rezervlerinin keşfi ve bol miktarda

bulunması nedeniyle bu yöntem göz ardı edilmiş ve gelişim sürecinde geri planda kalmıştır. Ancak son yıllarda çevresel kaygılar ve sürdürülebilirlik konuları nedeniyle elektrikli araçlar yeniden önem kazanmıştır. Elektrikli araçlar sıfır veya çok düşük emisyona sahip olduklarından, çevresel etkileri neredeyse yok denecek kadar azdır. Ayrıca, diğer yakıt türlerine kıyasla maliyet açısından çok daha ekonomiktirler (Rnstvik,2024).

Elektrikli araçların yaygınlaşması, elektrikli şarj istasyonlarının yaygın olarak kurulmasına yol açmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, elektrikli araçların kullanımı önemli ölçüde artmıştır.



Şekil 1: Yıllara Göre Elektrikli Araç Büyüme Grafiği

Elektrik enerjisi, elektrikli araçları şarj etmek için kullanılır. Evlere veya halka açık yerlere kurulan şarj istasyonları tipik olarak dört farklı mod seçeneği içerir. Bu istasyonlar farklı araç modellerine uygun konektörlere sahip olabilir. Elektrikli araçların

yaygınlaşmasıyla birlikte daha yüksek gerilim ve akımlarda çalışan ekipmanlara olan ihtiyaç da artmaktadır. Üretilen araçlara bağlı olarak ya alternatif akım (AC) ya da doğru akım (DC) ile şarj olan araçlar bulunmaktadır. Bazı araçlar sadece DC ile şarj edilebilirken, bazıları sadece AC ile şarj edilebilmektedir. Bu nedenle, aynı anda hem AC hem de DC şarjına izin veren kombine şarj sistemleri geliştirilmektedir. Bu gelişmeler, elektrikli araçların daha da yaygınlaşmasına ve sektördeki potansiyelin artmasına yönelik önemli bir adımı temsil etmektedir. Bu makale, kombine şarj sistemlerinin ayrıntılarına ve otomotiv endüstrisine katkılarına odaklanacaktır (Pareek ve Ratra, 2020) .

Kombine sarj sistemleri ekipmanları ve çalışma mantığı

Kombine Şarj Sistemi (CCS) elektrikli araçların şarj edilmesine yönelik bir standarttır. Bu standart dört farklı konnektör tipi içerir. Tip 1 ve Tip 2 konnektörler tipik olarak AC güç kaynağından yavaş şarj için kullanılırken, CCS ve CHAdeMO DC güç kaynağından hızlı şarj için kullanılır. Konnektör seçimi genellikle uygun coğrafi bölgeye göre yapılır. Avrupa'da Tip 2 ve CCS konnektörleri kullanılırken, Amerika ve Asya'da Tip 1 ve CHAdeMO tercih edilmektedir. Bazı şirketler, Asya'da üretilen bir aracı Avrupa pazarına daha uygun hale getirmek için hibrit kombinasyonları tercih etmektedir. Doğru konnektörlerin seçilmesi, araçların verimli bir şekilde şarj edilmesi için çok önemlidir (Hemavathi ve Shinisha, 2022)

Tip 1 tek fazlı bir konnektördür. Amerika ve Asya'da elektrikli araçların AC şarjı için kullanılan bir standarttır. SAE J1772 ve IEC 62196-3 standartları ile uyumludur. Şebeke kapasitesine ve aracın şarj gücüne bağlı olarak, yaklaşık 7,4 kW'a kadar bir hızda şarj

edilmesine izin verir. Tip 1 konektörün erkek ucu elektrikli aracın şarj portuna takılır. Şekil 2. Tip 1 konektörü göstermektedir (Rachid ve Fadil, 2022)

Şekil 2 : Tip 1 Konektör

Tip 2 üç fazlı bir konnektördür. Akımın geçmesine izin veren üç ek kabloya sahiptir. Bu sebeple araç daha hızlı şarj edilebilir. IEC 62196-3 standardı ile uyumludur. Şebeke kapasitesine ve aracın şarj gücüne bağlı olarak yaklaşık 43 kW'a kadar hızda şarj imkanı sağlar. Tip 2 konektörün erkek ucu elektrikli aracın şarj portuna takılır (Pavić ve Pandžić, 2016) . Şekil 3 de Tip 2 konektörü göstermektedir.

Şekil 3 : Tip 2 Konektör

CHAdeMO şarj sistemi çok yüksek bir şarj kapasitesi ve çift yönlü şarj imkanı sağlar. Japonya'da geliştirilmiştir. Özel bir elektrik konnektörü sayesinde 62,5 kW'a kadar yüksek voltajlı DC akım sağlar. Konektörün erkek ucu elektrikli aracın şarj portuna takılır [9]. Şekil 4 de CHAdeMO konektörünü göstermektedir (GRAHN, 2014)

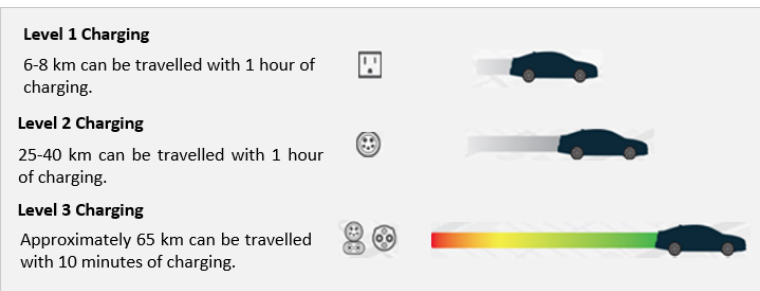
Şekil 4 : Chademo Konektörü

CCS konnektörü, araçların hızlı şarjı için tasarlanmış iki ek güç kontağı içeren Tip 2 fişin geliştirilmiş bir versiyonudur. Bu versiyon Avrupalı ve Amerikalı araç üreticileri tarafından geliştirilmiştir. Hem AC hem de DC şarjı destekler. Şebeke kapasitesine ve mevcut şarj gücüne bağlı olarak, yaklaşık 350 kW'a kadar şarj hızlarına izin verir. Şekil 5. CCS konektörünü göstermektedir (Schey ve Smart, 2012).

Şekil 5 : CCS Konektörü

Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, elektrikli araçların şarj ihtiyaçlarının çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması için CCS (Combined Charging System) adı verilen bir sistem geliştirilmiştir. Bu gelişme, enerji tüketimi ve doğal kaynakların korunması üzerinde olumlu etkilere sahiptir. CCS, elektrikli araç sektöründeki teknolojik ilerlemelerin bir yansıması olarak düşünülebilir. Günümüzde dünya çapında birçok elektrikli araç şarj istasyonu mevcuttur ve CCS bu istasyonlarda hem alternatif akım (AC) hem de doğru akım (DC) ile farklı araçları şarj etme olanağı sağlamaktadır. Bu istasyonlar otoyollar, evler, işyerleri ve alışveriş merkezleri gibi çeşitli yerlerde bulunmakta, geniş bir kullanım alanı, maliyet verimliliği ve kullanım kolaylığı sunmaktadır (Rachid ve Fadil, 2022).

Elektrikli araçları şarj etmek için üç farklı teknik kullanılmaktadır: batarya değiştirme (QuickDrop), kablosuz şarj ve kablolu şarj yöntemleri. Kablolu şarj yöntemi ayrıca üç alt kategoriye ayrılır: Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3. Şekil 6 da kablolu yöntem kullanılarak şarj edildiğinde bir aracın ne kadar mesafe kat edebileceğini göstermektedir (Narasipuram ve Mopidevi, 2021).



Şekil 6 : Kablo Şarjlı Araçlarla Kat Edilen Mesafe

Seviye 1 Kablolu Şarj Tipi genellikle konutlarda kullanım için tasarlanmıştır ve genellikle “yavaş şarj” olarak bilinir. Bu yöntem yaklaşık 120 volt güç sağlar ve aracı tamamen şarj etmek için 5 ila 12 saat arasında bir süre gerekebilir. Şarj cihazı, gerekli şarj bileşenlerini kendi içinde barındırır (Narasipuram ve Mopidevi , 2021).

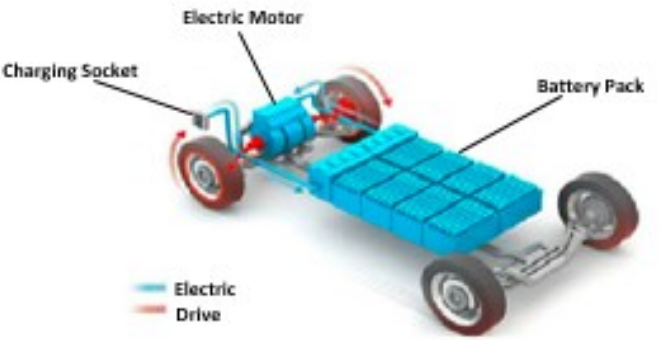
Seviye 2 Kablolu Şarj Tipi şehirlerarası yollarda, otoyollarda, okullarda ve diğer yoğun kullanılan alanlarda bulunur. Orta hızda şarj sağlar ve genellikle “kentsel şarj” olarak adlandırılır. Yaklaşık 240 volt güç sağlar ve aracı tamamen şarj etmek için gereken süre 1 ila 4 saat arasında değişebilir. Bu tür bir şarj cihazı, gerekli şarj bileşenlerini kendi içinde barındırır (Narasipuram ve Mopidevi , 2021).

Seviye 3 Kablolu Şarj Şarj türü, hızlı şarj talebinin yüksek olduğu bölgelerde bulunur ve genellikle “hızlı şarj” olarak bilinir. Hem AC (alternatif akım) hem de DC (doğru akım) modellerini içerir. Yaklaşık 400 ila 600 volt güç sağlar ve aracı tamamen şarj etmek için gereken süre 30 dakika kadar kısa olabilir. AC modelinde, şarj bileşenleri araca monte edilirken, DC modelinde araca monte edilmez (Narasipuram ve Mopidevi , 2021).

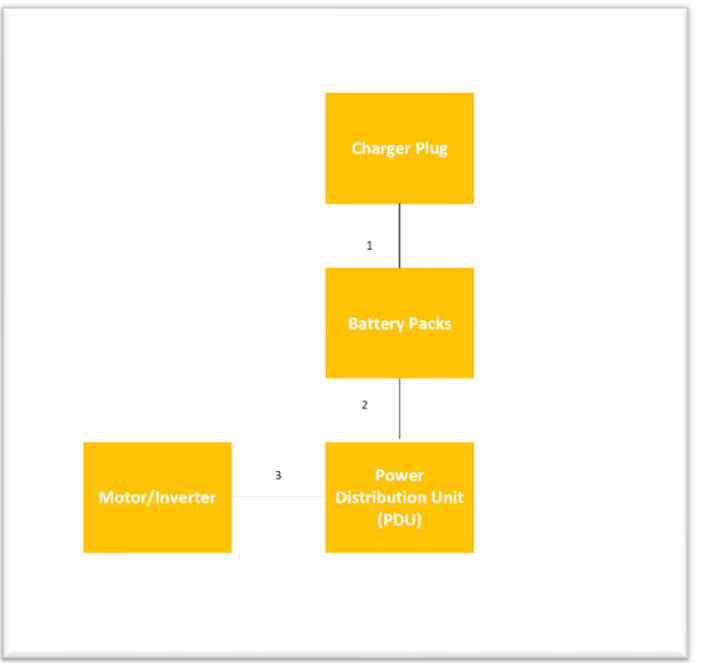
Kablolu şarj türleriyle karşılaştırıldığında, kablosuz şarj türü bir dizi avantaj sunar. Bu avantajlar arasında yıpranmış kablo ve priz gibi sorunların ortadan kalkması yer alıyor. Kablosuz şarj, kullanıcıları kablo karmaşasından ve kirliliğinden kurtaran bir sistemdir. Bu yöntem, gücün birincil bir kaynaktan ikincil bir cihaza fiziksel temas olmadan aktarılması prensibine dayanmaktadır (Ahmad ve Alam ,2018).

QuickDrop yöntemi tamamen akü değiştirme kavramına dayanmaktadır. Aracın bitmiş aküsünün sökülüp yerine tam şarjlı yeni bir akünün takılmasıyla uygulanan bir sistemdir (Ahmad ve Alam ,2018).

Kombine Şarj Sistemi (CCS) ve Wallbox şarj cihazı, elektrikli araçların şarj edilmesini kolaylaştıran iki farklı teknolojidir. CCS hem AC (alternatif akım) hem de DC (doğru akım) şarj özelliği sunan bir sistemdir. Öte yandan, Wallbox şarj cihazı yalnızca AC şarjı destekler. Sonuç olarak, CCS genellikle hızlı şarj istasyonlarında kullanılırken, Wallbox şarj cihazı evlerde ve işyerlerinde daha yaygındır. CCS, elektrik şebekesinden elde edilen enerjiyi bir Güç Dağıtım Ünitesine (PDU) ileten bir sistemdir. PDU sistemi, alınan elektrik enerjisini birden fazla çıkışa sahip bilgisayar rafları ve ağ ekipmanları gibi çeşitli cihazlara dağıtmak üzere tasarlanmıştır. PDU'dan gelen enerji çıkışı batarya paketlerine doğru yönlendirilir. Batarya sistemi tipik olarak lityum-iyon bataryalardan oluşur ve elektrikli aracın hareketi için gereken enerjinin depolanmasını sağlar. Araç menzili, batarya ömrü ve şarj süresi gibi faktörler genellikle bataryaya bağlıdır. Bataryadan elde edilen enerji elektrik motoruna güç sağlamak için kullanılır ve bu enerji tipik olarak doğru akıma (DC) dönüştürülür. Motor tarafından tüketilen enerji bir kontrol ünitesi aracılığıyla izlenebilir. Şekil 7 de elektrikli bir aracın bataryası ve motoru arasındaki ilişkiyi gösterirken, Şekil 8 de CCS ile şarj edilen bir aracın enerjisinin iletim alanlarını göstermektedir.

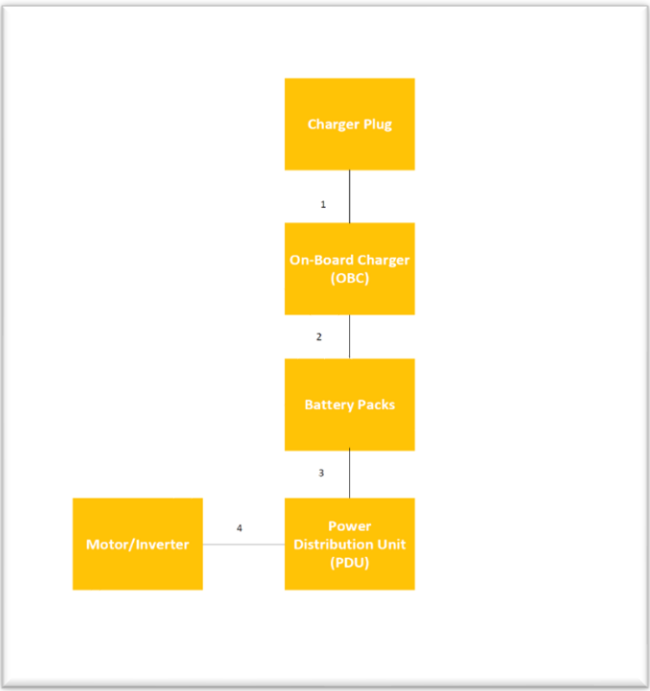


Şekil 7 : Batarya Paketi Ve Elektrik Motoru Arasındaki İlişki



Şekil 8: CCS İle Şarj Edilmiş Elektrikli Aracın İletim Şekli

Elektrikli bir aracın şarjının yönetilmesi açısından Wallbox şarj cihazı ile CCS arasındaki tek fark, Wallbox şarj cihazının yerleşik bir şarj cihazı (OBC) kullanmasıdır. Bu sistem, harici bir kaynaktan gelen enerjinin uygun akım ve gerilim değerlerine dönüştürülmesini ve ardından aracın içinde bulunan bataryaya aktarılmasını sağlar. Şekil 9 da Wallbox şarj cihazı ile şarj edilen bir aracın enerjisinin iletim alanlarını göstermektedir.



Şekil 9 : Aracın Wallbox Sarj Cihazı İle Sarj Edilmesi Diyagramı

Günümüzde otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan birçok yakıt türünün yenilenemez ve çevreye zararlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, insanların alternatif yakıt türlerine yönelmesinin temel nedenlerinden biridir. Bu geçiş sürecinde

elektrik enerjisinin kullanımı büyük önem kazanmıştır. Elektrik enerjisi yenilenebilir bir kaynak olduğu için gelecekte yakıt tüketimi sorunlarına çözüm getireceği öngörülmektedir. Ayrıca, çevre dostu olması ve egzoz emisyonu içermemesi çevrenin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Elektrikli araçların Kombine Şarj Sistemine (CCS) doğru kayması maliyet açısından avantajlı bir seçenektir. CCS, kurulumu ve bakımı kolay, basit ancak sağlam bir yapıya sahiptir. Bu sistemdeki aktüatör kilitleme özelliği, araç şarj olurken enerji kesintisi olasılığını azaltarak güvenliği artırır. Ayrıca, hassas sıcaklık ölçümleri gerçekleştirerek elektrik arızası riskini azaltır. CCS'nin tercih edilme nedenlerinden biri de hızlı şarj özelliğidir. Bu özellik sayesinde araçlar daha kısa sürede şarj edilebilmekte ve daha uzun menzillere ulaşabilmektedir. CCS, farklı araç ve şarj istasyonu marka ve modelleriyle uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır ve kullanımda geniş esneklik sunar.

Kombine Şarj Sistemi (CCS) çeşitli ekipmanlar içeren bir sistemdir. Bu sistem iki farklı aracı aynı anda şarj etme kapasitesine sahip olduğu için iki farklı konnektör ucu ile donatılmıştır. Konnektörler CCS'ye dış etkilere dayanıklı uzun kablolar ile bağlanır. Her şarj sistemi farklı bir yapıya sahip olduğu için uygun konnektör ve kablo seçimi önemlidir. CCS, her türlü hava koşulunda çalışabilmesi için belirli bir sıcaklık aralığında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem her zaman topraklama içerir. Kullanıcı arayüzü bağlantısı, Autel Charge APP, Autel Charge Cloud 4G, Wi-Fi veya Ethernet gibi çeşitli şekillerde yapılandırılabilir. Sistem, kullanıcı kimlik doğrulaması için bir ekran sağlar ve bu ekran, tamamen kullanıcının takdirine bağlı olarak bir uygulama, RFID kartı veya kredi kartı gibi çeşitli yöntemleri kullanacak şekilde

yapılandırılabilir. Konektör araca bağlandığında, şarj işlemi tamamlanana kadar kendini araca kilitleyerek güvenliği artırır. Şarj işlemi tamamlandıktan sonra konnektör araçtan çıkarılmadığı sürece enerji aktarımı yapmayacaktır. Çoğu CCS yapısı uzaktan güncelleme özelliğine sahiptir ve iletişim protokolleri tipik olarak üreticiye bağlıdır.

Sonuç

Elektrikli araçların artan popülaritesi ile Kombine Şarj Sistemleri (CCS) pazarda önemli bir ilgi görmektedir. CCS, farklı araçları destekleme kabiliyeti ve geniş uygulama yelpazesi sayesinde çeşitlilik sağlamaktadır. Bu makale, CCS'de kullanılan avantajları, çalışma prensiplerini, donanım ve konnektör tiplerini ayrıntılı olarak incelemektedir. Geçmişten günümüze otomotiv endüstrisinin çeşitli gelişim süreçlerini tartışarak elektrik enerjisine geçişi araştırmaktadır. Ayrıca, yüksek verimlilik ve uygun şarj yerleri için uygun konnektörlerin seçilmesinin önemi vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, CCS elektrikli araçlara geçişte çok önemli bir rol oynamaktadır ve otomotiv endüstrisi geliştikçe CCS'nin de kendini sürekli olarak yenilemesi beklenmektedir.

Referanslar

A comprehensive review of wireless charging technologies for electric vehicles. (2018, March 1). IEEE Journals & Magazine. Retrieved from https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8101562

Electric Vehicle charging Station Challenges and Opportunities: A Future perspective. (2020, February 1). IEEE Conference Publication.

Electric Vehicle development: The past, present & future. (2009, May 1). IEEE Conference Publication.

Grahn, P. (2014). Electric vehicle charging modeling. DIVA. Retrieved from https://kth.divaportal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A749480&dswid=-4017

Hemavathi, S., & Shinisha, A. (2022). A study on trends and developments in electric vehicle charging technologies. Journal of Energy Storage, 52, 105013. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105013

Narasipuram, R. P., & Mopidevi, S. (2021). A technological overview and design considerations for developing electric vehicle charging stations. Journal of Energy Storage, 43, 103225. https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103225

Norway's electric vehicle deployment success. A historical review including plans for fast charging stations covering all of the country — By 2015. (2013, November 1). IEEE Conference Publication.

Pavić, I., Pandžić, H., & Capuder, T. (2020). Electric vehicle-based smart e-mobility system – definition and comparison to the existing concept. Applied Energy, 272, 115153. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115153

Rachid, A., El Fadil, H., Gaouzi, K., Rachid, K., Lassioui, A., El Idrissi, Z., & Koundi, M. (2022). Electric vehicle charging systems: Comprehensive review. Energies, 16(1), 255. https://doi.org/10.3390/en16010255

Schey, S., Scoffield, D., & Smart, J. (2012). A first look at the impact of electric vehicle charging on the electric grid in the EV project. World Electric Vehicle Journal, 5(3), 667–678. https://doi.org/10.3390/wevj5030667

BÖLÜM V

Akıllı Tarımda Verimlilik: Toprak Nem Sensörlerinin Rolü ve Uygulamaları

Sümeyye ÇARKIT[1]

Giriş

Su ve tarım doğası gereği iç içe geçmiştir. Su mahsul üretiminde temel belirleyicilerden biridir (Kashyap & Kumar, 2021), ve su kaynaklarının %70'inden fazlası tarımda kullanılmaktadır (Campbell vd., 2017). Gıda, su ve enerji; insanlığın varlığını ve genişlemesini sağlayan temel kaynaklardır. Bu kaynaklara yönelik küresel talep artmaktadır ve bu talebin artmaya devam etmesi beklenmektedir (Çarkıt vd., 2024). Artan gıda ihtiyacıyla tarımda verimlilik ve sürdürülebilirlik, bugüne kadar hiç bu kadar önemli

[1] Kırklareli Üniversitesi, Gıda Arzı Güvenliği ve Dijitalleşme Ortak Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kırklareli, Türkiye, Orcid ID: 0000-0002-5236-4813, scarkit@klu.edu.tr

olmamıştır. Tarımda verimliliği artırmak ve sürekliliği sağlamak için geleneksel tarım yöntemleri yetersiz kalmaktadır.

Geleneksel tarım yöntemlerinin yetersiz kaldığı yerleri iyileştirmek için PLC (programlanabilir mantıksal denetleyici), SCADA (gözetleyici kontrol ve veri toplama sistemi) (Gür vd., 2024), sensör teknolojisi ve daha birçok teknolojiyi içinde barındıran akıllı tarım sistemleri geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Akıllı tarım sistemleri hem ekonomik hem de çevresel hedefleri destekleyen daha hassas ve verimli tarım uygulamalarına olanak tanımaktadır. Bu sistemlere; kaynak kullanımını optimize etmek, üretkenliği artırmak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmek örnek olarak verilebilmektedir. Akıllı tarım sistemlerinde toprak sağlığı, verimli üretim için önemli bir kriterdir. Toprak sağlığını etkileyen parametrelerin başında ise toprak nemi gelmektedir. Toprakta optimum nem miktarı tohumların çimlenmesi, bitki büyümesi, besin döngüsü ve topraktaki biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi gibi çeşitli biyofiziksel süreçler için esastır (Kashyap & Kumar, 2021).Toprak nemi, gelecekteki ürün veriminin iyi bir göstergesi olmasının yanı sıra tarımsal su güvenliğine de önemli bir katkıda bulunur (Tian vd., 2019). Toprak nemini ölçmenin birçok yolu vardır. Bu yöntemlerden azıları şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Laboratuvarda toprak nemi ölçümü,
- Yerinde toprak nemi algılama yöntemleri,
- Uzaktan toprak nemi algılama yöntemleri,
- Yakın alan toprak nemi izleme,

- Diğer toprak nemi algılama yöntemleri (Kashyap & Kumar, 2021).

Laboratuvar yöntemi olan gravimetrik toprak nemi ölçüm yöntemi en doğru olanıdır, ancak gerçek zamanlı veya büyük ölçekli saha çalışmaları için uygun değildir (Mane vd., 2024). Bu nedenle, tarımsal uygulamalar için anlık toprak nemini ölçen elektronik sensörler gibi alternatif modern yöntemler daha iyi bir çözüm sunmaktadır.

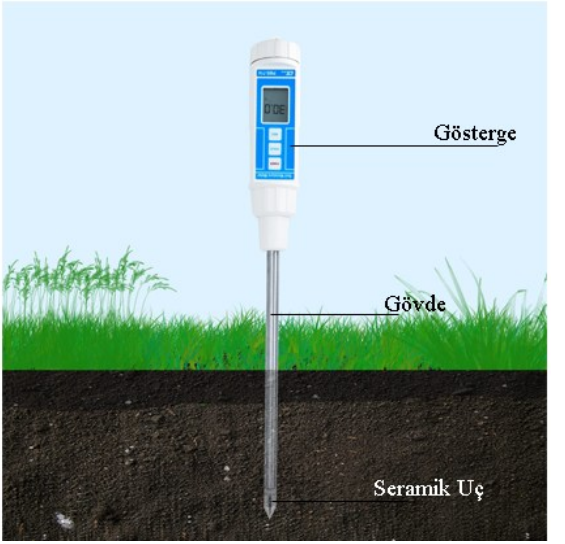
Toprak Nem Sensörleri ve Çeşitleri

Akıllı tarım sistemleriyle birlikte, tarlalardaki veya seralardaki ortamı takip etme imkanı sunan sensörlerle daha verimli üretim yapılabilmektedir (Tekcin vd., 2023). Toprak nem sensörleri, topraktaki hacimsel su içeriğini ölçmektedir. Çiftçilere toprak koşulları hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayarak, sulama söz konusu olduğunda daha doğru karar alma olanağı sağlamaktadır. Nem kontrolü sayesinde çiftçiler; mahsullerin optimum miktarda su aldığından emin olabilmekteler. Toprak nem sensörlerinin faydaları, su yönetiminin ötesine uzanmaktadır. Toprak nem sensörleri; otomatik sulama sistemleriyle entegre edilerek aşırı sulamanın önlenmesiyle toprak erozyonu, besin maddelerinin sızması ve su basması gibi mahsullere zarar verebilecek durumları ve toprak sağlığını bozabilecek sorunları önleyebilmek için veri sağlamaktadır. Aynı zamanda, yetersiz sulama sonucunda ortaya çıkan mahsül stresi, bodur büyüme ve daha düşük seviyelerdeki üretimi de önleyerek tarımda verimliliği artırmaktadır. Bu denge daha sağlıklı bitkiler, daha güvenilir hasatlar ve uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirliğin iyileştirilmesini sağlamaktadır.

Toprak su içeriğinin nokta ölçümü için çok sayıda otomatik teknik geliştirilmiş ve test edilmiştir (Chow vd., 2009). Toprak nem sensörleri, kullandıkları teknolojiye bağlı olarak iki kategoriye ayrılmaktadır: Hacimsel su içeriğini ölçen sensörler ve toprak gerginliğini ölçen sensörler. Bu sen sörler de şu şekilde alt grup sensörler de ayrılabilmektedir:

- Hacimsel su içeriğini ölçen sensörler:
    - Zaman alanı yansıma ölçümü toprak nem sensörleri,
    - Frekans alanı yansıma ölçümü toprak nem sensörleri,
    - Kapasitans toprak nem sensörleri,
    - Dirençli toprak nem sensörleri,
    - Nötron saçılması yöntemiyle toprak nemölçerleri.
- Toprak gerginliğini ölçen sensörler:
    - Tansiyometre yöntemiyle toprak nemölçerleri,
    - Uzaktan algılama yöntemiyle toprak nemölçerleri.

Genellikle, hacimsel su içeriğini ölçen toprak nem sensörleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprak gerginliğini ölçen sensörlerin ölçüm aralığı kısıtlı olduğu için daha kuru topraklar için kullanışlı değildirler. Aynı toprak gerginliğini ölçen sensör aynı toprakta tekrar tekrar kalibre edildiğinde ve test için tekrar performans gösterdiğinde bile kalibrasyonların tekrarlanabilirliği zayıftır (Mane vd., 2024).



Şekil 1. Tansiyometre (Lutron PMS-714)

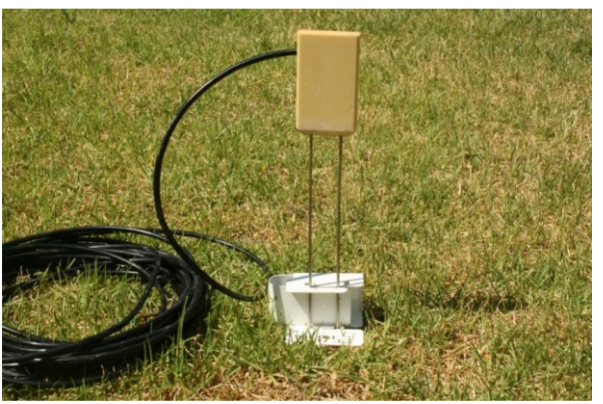
1) Tansiyometre: Bitki kökünün işleyişini taklit eden, aynı zamanda sulama planlamasında sıklıkla kullanılan toprak gerginliğine göre toprak nemini ölçen cihazlardır. Bu cihazlar Şekil 1'de gösterildiği gibi havasız su ile dolu gövdeye, bir ucunda seramik süzgece ve diğer ucunda göstergeye sahiptirler. Toprağa yerleştirildikten bir süre sonra gövdedeki su seramik süzgeçten toprağa akmakta ve bu akış sonucunda oluşan basınç kullanıcıya toprak nemi hakkında bilgi vermektedir. Tansiyometre, ticari uygulamalar için geliştirilen ve en yaygın kullanılan toprak nem sensörleri arasındadır (Kashyap & Kumar, 2021). Tansiyometreler; toprağı yıpratmadan sürekli ölçüm sağlayan cihazlardır. Bu cihazlar; basit, hızlı, ucuz ve kullanımının kolay olması gibi avantajlara sahiptirler. Ayrıca, yeterli bakım yapılırsa uzun süreli kullanımı mümkündür. Ancak, kuru topraklarda nem ölçüm sonucunun yanlış olduğunun kanıtlanması zaman almakta ve sürekli bakım

gerektirdiği için araştırma çalışmaları için uygun görülmemektedir (Rasheed vd., 2022). Aynı zamanda, soğuk havalarda donma nedeniyle hasara uğramaya eğilimli olduklarından, bu sorunu ortadan kaldırmak için farklı donma noktasında sıvılar kullanılabilmektedir. Ölçüm aralığı yalnızca 0-85 santibar gerilim arasındadır ve bu değerin üzerinde ölçüm cihazı arızalanmaktadır (Garg vd., 2016).

2) Dielektrik yöntemi: Toprağın dielektrik sabiti; elektromanyetik frekansı, sıcaklık, tuzluluk, toprağın hacimsel su içeriği ve nem içeriğinin biçimi gibi çeşitli faktörlerle belirlenir. Toprağın dielektrik sabiti esas olarak toprak su içeriği tarafından belirlendiğinden, toprak nemini ölçmek için dielektrik özelliklerini kullanmak etkili, hızlı, basit ve güvenilir bir yöntemdir (Dean vd., 1987). Dielektrik tabanlı toprak nem sensörü, hacimsel su içeriğini ölçerek toprak nem içeriğini doğru bir şekilde ölçmek için güçlü bir araç olarak görülmektedir. Dielektrik tabanlı toprak nem sensörlerinin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilmektedir: Toprak nem içeriğine bağlı olarak toprağın dielektrik geçirgenliği değişmektedir, bu durum da sensör tarafından ölçülen elektromanyetik sinyale yansımaktadır. Elektromanyetik sinyallerdeki bu değişiklikler analiz edilerek toprak nem içeriğinin yüksek bir doğruluk derecesiyle tahmin edilmesini sağlamaktadır (Mane vd., 2024). Nispeten ucuz ve esnek oldukları için, dielektrik özelliklerden yararlanılan sensörler en yaygın kullanılan toprak nem sensörleridir (Placidi vd., 2020). Dielektrik toprak nem sensörleri; kapasitans prensibine, direnç prensibine, zaman alanı yansıma prensibine, frekans alanı yansıma prensibine ve duran dalga

prensibine dayalı ölçüm yöntemlerine göre 5 gruba ayrılabilmektedir (Yu vd., 2021).

2.a) Zaman alanı yansıma (ZAY) ölçümü toprak nem sönserleri, diğer dielektrik nem sensörleri gibi iki paslanmaz çelik elektrottan oluşmaktadır. Şekil 2'de görülmekte olan ZAY ölçümü toprak nem sensörleri toprak içerisine yerleştirilmekte ve bir radyo frekansı iletim hattına gönderilirek sinyalin bir uçtan diğerine ulaşma zamanı ölçülmektedir (Zermeño-González vd., 2016). Bu sinyalin ulaşım hızı toprağın dielektrik sabitine yani topraktaki nem miktarına bağlıdır (Garg vd., 2016). ZAY ölçümü sensörleri, toprak nemini belirlemek için çok güvenilir ve doğru bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Hardie, 2020). ZAY ölçümü sensörleri yüksek hızlı ölçüm, küçük boyutlu ekipman, düşük güç tüketimi ve düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. Özellikle büyük ölçekli tarımsal kablosuz sensör ağları oluşturmak için uygundur (Huan vd., 2017). Ancak, aşırı tuzlu toprakta yansımayı kaybedebilmektedir. Sıcaklık ve toprak kütlesi ıslak olduğunda iletkenlikleri etkilenerek hatalara yol açabilmektedir.



Şekil 2. Zaman alanı yansıma ölçümü toprak nem sensörü (CS616)

2.b) Frekans alanı yansıma (FAY) ölçümü toprak nem sönserleri, hacimsel su içeriğini ölçen sensörlerdendir. FAY'nin çalışma prensibi kapasitif toprak nem sensörüne benzemesine rağmen, verileri daha geniş bir frekans aralığında toplanmaktadır (Su vd., 2014). Bu sensörler Şekil 3‘te görüldüğü gibi kapasitöre dönüştürülmüş bir çift dairesel metal halkadan ve 100 MHz bir osilatörden oluşmaktadır (Linmao vd., 2012). Dielektrik olarak toprakta kullanılan bir kapasitörün elektrik kapasitansı, toprak nem içeriğine bağlıdır. Kapasitör bir osilatöre bağlandığında, bir elektrik devresi oluştururken, devrenin frekansındaki değişiklikler toprak nem içeriğindeki değişiklikleri göstermektedir. Osilatör frekansı, rezonans frekansını belirlemek için belirli bir aralıkta sınırlandırılmaktadır (Dobriyal vd., 2012). Zaman alanı yansıma ölçümü yönteminin sahip olduğu avantajlardan bazıları şunlardır: Kalibre edildiğinde doğruluğu yüksektir, aynı noktada farklı derinliklerde ölçüm yapılabilmektedir ve geniş çalışma frekans aralığına sahiptir. ZAY ölçümü yönteminin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Bunlar: Toprak tuzluluğuna, sıcaklığa, hacim yoğunluğuna ve kil içeriğine karşı hassasiyet bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır, hava boşluklarının oluşmasını önlemek için toprak ile sensör arasında iyi bir temas sağlanmalıdır, diğer dielektrik toprak nem sensörlerine göre pahalıdır (Garg vd., 2016). Aynı zamanda toprak özelinde kalibrasyon gerektirmektedir (Dobriyal vd., 2012).

Şekil 3. Frekans alanı yansıma ölçümü toprak nem sensörü (VH400)

2.c) Kapasitif toprak nem sensörleri, toprak-su içeriğindeki değişiklikle birlikte dielektrik sabitindeki değişiklik ilkesi ile çalışmaktadır (Chowdhury vd., 2022). Kapasitif toprak nem sensörü, dielektrik bir malzeme ile ayrılmış iki metalik yüzeyden oluşmaktadır. Güç verildiğinde, bir elektrik alanı içinde elektrik enerjisinin birikmesi prensibine dayanmaktadır. Kapasitans, çeşitli teknikler kullanılarak ölçülebilmektedir. Bu tekniklerden olan kapasitans köprüsü yaklaşımı; çıkış sinyalini etkili bir şekilde artırabildiği için kapasitif ölçüm için uygundur (Kushwaha vd., 2024). Toprak nem içeriğini ölçmek için Şekil 4'deki kapasitif toprak nem sensörünün iki ince elektrodu toprağa yerleştirilmektedir. Ölçülecek ortama göre eşdeğer bir kapasitans içeren birinci dereceden bir RC devresine kare dalga sinyali uygulanmaktadır (Yu vd., 2021). Toprak nemindeki değişiklikler, çalışma frekansındaki değişikliklerle tespit edilebilmektedir.

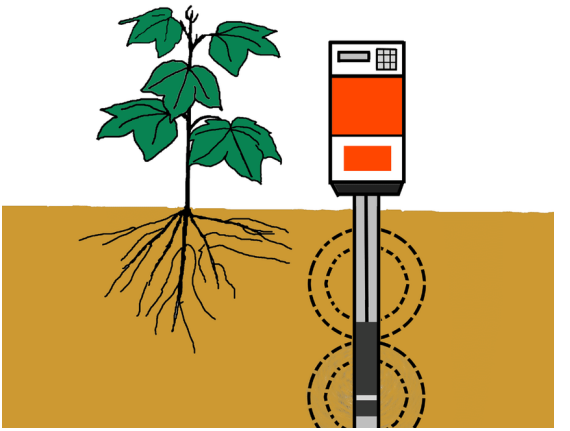
Kapasitans sensörlerinde, kapasitör toprakta bir elektromanyetik alan yaydığı için o ortamla yapılmış bir kapasitörün şarj süresini ve dolayısıyla toprak su içeriğini ölçerek toprak ortamının geçirgenliği ölçülmektedir (Sharma, 2018). Düşük frekanslarda yani 100 MHz'den az çalışan kapasitans sensörleri, toprak nem içeriğini ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Ancak, doğrulukları sıcaklığa ve tuzluluğa karşı oldukça hassastır (Mane vd., 2024). Kapasitans toprak nem sensörleri nispeten basittir, anlık ölçüm yapar ve ilk kurulum maliyeti zaman alanı yansıma ölçümünden nispeten daha düşüktür, zaman alanı yansıma ölçümü toprak nem sensörlerinin ölçemediği yüksek tuzluluk seviyelerini okuyabilmektedir. Kapasitans toprak nem sensörleri kullanılacağı toprağa göre kalibrasyonu yapıldıktan sonra doğru ölçüm sağlamaktadır (Rasheed vd., 2022). Ancak, çok sık kalibrasyon gerekebilmekte ve toprak sıcaklıklarından etkilenebilmektedir.

Şekil 4. Kapasitans toprak nem sensörü (Decagon 5TE)

2.d) Dirençli toprak nem sensörleri, suyun hacimsel içeriğini ölçen toprak nem sensör çeşididir. Şekil 5’te görülmekte olan iki elektrotla zemine elektrik akımı gönderilmekte ve akımın karşılaştığı direnç incelenerek nem seviyesi belirlenmektedir.

Topraktaki farklı nem içeriği nedeniyle, toprağın direnç değeri farklıdır. Böylece toprağa yerleştirilen sensörün elektrotları arasındaki direnç değişmektedir. Yüksek nem olduğunda, toprak daha iletken ve daha az dirençlidir. Kuru toprak elektriği iyi iletmez, bu nedenle daha az nem olduğunda, toprak daha dirençli ve daha az iletkendir (Barapatre & Patel, 2019). Dirençli toprak nem sensörleri maliyet açısından etkilidir ve aynı yerde zamanla toprak nemi ölçümüne olanak tanımaktadır. Ancak, bu ölçüm tekniği bireysel kalibrasyon gerektirmektedir, sıcaklık ve tuzdan etkilenmektedir. Kumlu topraklar gibi hızlı drenajlı topraklarda kullanıma uygun değildir (Robinson vd., 2008).

Şekil 5. Dirençli Toprak nem sensörleri (Decagon MAS-1)



Şekil 6. Nötron saçılım yöntemiyle toprak nemölçeri

3) Nötron saçılması yöntemiyle toprak nemölçerleri: Nötron çubuğu, bir elektrik kablosuyla birbirine bağlanan bir nötron kaynağı, detektör ve elektronik bir sayım ölçeğinden oluşur. Şekil 6‘da ki gibi istenilen derinliklerdeki ölçümler için nötron çubuğu toprağa dikey olarak yerleştirilir ve erişim tüpünden aşağı indirilmesiyle ölçümler yapılır. Yüksek enerjili nötronlar, Americium 241 ya da Beryllium gibi radyoaktif bir kaynaklar tarafından her yöne toprağa yayılır ve toprakdaki su molekülündeki hidrojen çekirdeklerinin çarpışmasıyla yavaşlarlar. Tekrarlanan çarpışmalar yoluyla, nötronun hızı zayıflatılır veya yavaşlatılır. Nötronların zayıflama oranı mevcut su miktarına bağlıdır ve bu sayede toprak nem miktarı ölçülmektedir (Sharma, 2018). Nötron saçılma yöntemiyle toprak nemölçerlerinin sahip olduğu avantajlardan bazıları şunlardır: Nispeten hızlı ve kolaydır, tahribatsızdır ve farklı derinliklerde büyük hacimlerde toprak nemini ölçebilir. Ancak, önemli dezavantajları da vardır: Toprak yüzeyine

yakın sığ derinliğe (<0,3 m) duyarsızdır, kurulum maliyeti yüksektir ve özellikle sağlık için radyasyon tehlikeleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmamaktadır (Rasheed vd. 2022).

Sonuç

Hassas tarımda, toprak neminin gerçek zamanlı izlenmesi, mahsullerin büyümesini bilmek ve su tasarrufu sağlamak için önemlidir. Sensörler toprak nemi ölçüm tekniklerine göre birçok avantaj sunarken, kullanıcılar bu tekniği seçmeden önce kendi özel ihtiyaçlarını ve koşullarını dikkatlice değerlendirmelidir. Çünkü, elverişli ve doğru sonuçlar veren sensörün kullanılması zaman kaybını, ekonomik maliyet artışını ve tasarımcının motivasyonundaki azalmayı önleyerek fayda sağlayabilmektedir. Öte yandan, elektronik alt yapıya sahip olan ilgili sensörlerin temini ve kullanımı maliyetli olabilmektedir. Bu maliyet; totalde kullanılan su miktarıyla ve elde edilen karla kendi kendini amorti edebilir seviyelerdedir.

Toprak nem sensörleri, kapsamlı bir akıllı çiftçilik sistemi oluşturmak için hava istasyonları ve sıcaklık sensörleri gibi diğer çevresel izleme araçlarıyla da birleştirilebilir. Bu bütünsel yaklaşım, çiftçilerin değişen çevre koşullarına uyum sağlamasını, hava değişimlerine yanıt vermesini ve maksimum verimlilik için sulama programlarını optimize etmesini sağlamaktadır.

Referanslar

Barapatre, P., Patel, J.N. (2019). Determination of soil moisture using various sensors for irrigation water management. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8(7), 576-582.

Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S., Jaramillo, F., ..., Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. Ecology and Society, 22(4), 8.

Chowdhury, S., Sen, S., Janardhanan, S. (2022). Comparative analysis and calibration of low cost resistive and capacitive soil moisture sensor. Computer Science, Networking and Internet Architecture, arXiv preprint arXiv:2210.03019.

Chow, L., Xing, Z., Rees, H.W., Meng, F., Monteith, J., Stevens, L. (2009). Field performance of nine soil water content sensors on a sandy loam soil in New Brunswick, Maritime Region, Canada. Sensors, 9(11), 9398-9413.

Çarkıt, T., Çarkıt, Ö., Çarkıt, E., Güzelçoban, Ş., Döner, M. (2024). Çevre sorunlarına genel bir bakış: Gürültü kirliliği özelinde alınması gereken çeşitli mühendislik tedbirleri. 7'nci Uluslararası Azerbaycan Fen, Mühendislik, Matematik ve Uygulamalı Bilimler Kongresi, 335-352.

Dean, T.J., Bell, J.P., Baty, A.J.B. (1987). Soil moisture measurement by an improved capacitance technique, Part I. sensor design and Performance. Journal of Hydrology, 93(1-2), 67-78.

Dobriyal, P., Qureshi, A., Badola, R., Hussain, S.A. (2012). A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. Journal of Hydrology, 458, 110-117.

Garg, A., Munoth, P., Goyal, R. (2016). Application of soil moisture sensor in agriculture. Internation Conference on Hydraulic, 8-10.

Gür, Ç., Okta, O., Türkmen, C., Çarkıt, T. (2024). Tahıl silo dolum işlemlerinin verimli, güvenilir ve çevresel açıdan sürdürülebilir hale getirilmesi için SCADA tabanlı PLC otomasyon sistemiyle kontrol edilmesi. Elektrik-Elektronik ve Kontrol Mühendisliği Alanında Farklı Yaklaşımlar, Bölüm 2, Bidge Yayınları, 31-71.

Hardie, M. (2020). Review of novel and emerging proximal soil moisture sensors for use in agriculture. Sensors, 20(23), 6934.

Huan, Z., Wang, H., Li, C., Wan, C. (2017). The soil moisture sensor based on soil dielectric property. Personal and Ubiquitous Computing, 21, 67-74.

Kashyap, B., Kumar, R. (2021). Sensing methodologies in agriculture for soil moisture and nutrient monitoring. IEEE Access, 9, 14095-14121.

Kushwaha, Y.K., Panigrahi, R.K., Pandey, A. (2024). Performance analysis of capacitive soil moisture, temperature sensors and their applications at farmer’s field. Environmental Monitoring and Assessment, 196(9), 793.

Linmao, Y., Jin, Y., Qi, J. (2012). FDR soil moisture sensor for environmental testing and evaluation. Physics Procedia, 25, 1523-1527.

Mane, S., Das, N., Singh, G., Cosh, M., Dong, Y. (2024). Advancements in dielectric soil moisture sensor Calibration: A comprehensive review of methods and techniques. Computers and Electronics in Agriculture, 218, 108686.

Placidi, P., Gasperini, L., Grassi, A., Cecconi, M., Scorzoni, A. (2020). Characterization of low-cost capacitive soil moisture sensors for IoT networks. Sensors, 20(12), 3585.

Rasheed, M.W., Tang, J., Sarwar, A., Shah, S., Saddique, N., Khan, M.U., ..., Sultan, M. (2022). Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review. Sustainability, 14(18), 11538.

Robinson, D.A., Campbell, C.S., Hopmans, J.W., Hornbuckle, B.K., Jones, S.B., Knight, R., ..., Wendroth, O. (2008). Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. Vadose Zone Journal, 7(1), 358-389.

Su, S.L., Singh, D.N., Baghini, M.S. (2014). A critical review of soil moisture measurement. Measurement, 54, 92-105.

Tekcin, M., Hamzaoglu, D.R.T., Kursun, S. (2023). Flexible humidity sensor for smart agricultural applications. Flexible and Printed Electronics, 8(3), 035003.

Tian, H., Huang, N., Niu, Z., Qin, Y., Pei, J., Wang, J., (2019) Mappingwinter crops in China with multi-source satellite imagery and phenology-based algorithm. Remote Sensing, 11(7), 820.

Sharma, V. (2018). Methods and techniques for soil moisture monitoring. University of Wyoming Extension Bulletin (https://wyoextension.org/publications/html/B1331/).

Yu, L., Gao, W., Shamshiri, R.R., Tao, S., Ren, Y., Zhang, Y., Su, G. (2021). Review of research progress on soil moisture sensor technology. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 14(4), 32-42.

Zermeño-González, A., Munguia-López, J., Cadena-Zapata, M., Campos-Magaña, S.G., Ibarra-Jiménez, L., Rodríguez-García, R. (2012). Critical evaluation of different techniques for determining soil water content. Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management. Rijeka, InTech, 199-216.

BÖLÜM VI

Treyler İçin Askeri ve Sivil Çekici Tarafından Çekilebilecek Yapı Oluşturulması

Şuheda GÖKBUDAK[1]
OKAN DİNÇ[2]

Giriş

Treyler, kara yolu taşımacılığında yük taşımak amacıyla çekicilere bağlanan bir araçtır.Küreselleşme ve sanayileşmenin hız kazanmasıyla birlikte tedarik ve lojistik de vazgeçilmez bir araç durumuna gelmiştir (Korayem, Khajepour & Fidan, 2021). Üretimden tedarike, inşaattan ticarete kadar geniş bir yelpazede kullanılan treyler, yalnızca taşımacılığı kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda güvenlik, maliyet tasarrufu ve çevreye duyarlılık gibi önemli konularda da belirleyici rol oynar. Treylerler de kendi içinde

[1] Koluman Otomotiv Endüstri, Ar-Ge Bölümü,Mersin/Türkiye,Orcid: 0009-0005-1784-807X,suheda.gokbudak@koluman.com
[2] Koluman Otomotiv Endüstri, Ar-Ge Bölümü,Mersin/Türkiye,Orcid: 0009-0002-6880-8412,okan.dinc@koluman.com

kullanımlarına göre farklı tipleri bulunmaktadır ((FreightWaves Ratings, t.y.)

Tenteli treyler ; kolay yükleme ve boşaltma özelliğinden dolayı en çok tercih edilen modellerdendir. Genellikle 2 veya3 dingil blunur. Uzunluğu 12 ile 13.6 metre arasında değişmektedir (.ACT Research. (t.y.)). Şekil 1'de tneteli treyler görseli verilmiştir.

Şekil 1: Tenteli Treyler

Kaynak: *https://www.solido.com/en/la-collection/s2400504-tarpaulin-trailer-blue/*

Frigo treylerler sıcaklık kontrollü ortam gerektiren taşımacılıkta kullanılır. Gıda, ilaç ve kimyasal maddelerin güvenli şekilde taşınmasında önemli rol oynar (Carrier Transicold (2024)). İzalasyon maddesi olarak poliüretan veya vakum paneller kullanılmaktadır (U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2024)).Şekil 2'de frigo treylere ait görsel verilmiştir.

Şekil 2 : Frigo Treyler

Kaynak: *https://www.coasthyundaitrailers.com/refrigerated-trailers/*

Tanker treyler, sıvı ve gaz taşımacılığı için özel olarak tasarlanmış römorklardır. Akaryakıt tankerleri sızdırmazlık için çift cidarlı tasarıma sahiptir ve patlama riskine karşı basıç kontrol sistemleri içermektedir (International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). (2023)).Kimyasal madde tankerleri korozyonu önleyebilmek için paslanmaz çelik ve alüminyum yapıda olmaktadırlar. Ayrıca güvenli boşaltmayı sağlayabilmek için özel vana sistemleri bulunmaktadır.Gıda tankerleri ise süt,yağ,şeker gibi gıda ürünlerinin taşınmasında önemli rol oynamaktadır (National Transportation Safety Board (NTSB). (2023)).Şekil 3 ‘ de tanker treylere ait görsele yer verilmiştir.

Şekil 3: Tanker Treyler

Kaynak: *https://kolumanotomotiv.com/tr/treyler-tanker*

Tanker iç yapısı gıda güvenliğine uygun kaplamaya sahiptir ve sıcaklık kontrol sistemleri içermektedir.Su tankerleri genellikle 5000 litre ile 30000 litre arasında sıvı taşıma kapasite sahip olarak farklı boyutlarda üretilebilmektedir.Ayrıca yükleme ve boşaltma işlemlerinin hızlı yapılabilmesi için özel pompa ve vana sistemleri içermektedir (Energy Institute. (2019)).

Damperli treyler, taşınan yükü kolay ve hızlı bir şekilde boşaltmak için özel bir mekanizma ile donatılmış römorklardır. Genellikle inşaat, madencilik ve tarım sektörlerinde kullanılır. Sağlam yapıları ve yüksek taşıma kapasiteleriyle ağır yüklerin taşınmasında kritik bir rol oynar ((Energy Institute. (2019)).

Şekil 4 : Damperli Treyler

Kaynak : https://kolumanforeigntrade.com/damperler-damperli-romorklar

Damperli treylerde yarı amperli treyler,tam damperli treyler,yan damperli treyler,çift taraflı damperli treyler,kaya damperli treyler gibi çeşitleri bulunmaktadır. Genellikle 20 ton ile 60 ton arasında taşıma kapasitesine sahiptir.Malzeme olarak çelik ve alüminyum kullanılmaktadır.Hidrolik sistemler yüksek basınca dayanıklı hidrolik silindirler kullanılır (International Code Council. (n.d.)).

Lowbed treyler,özellikle ağır, yüksek veya geniş yüklerin taşınmasında kullanılan, yere yakın bir platforma sahip özel tasarımlı taşıma treylerlerdir (Lowboy trailer , Wikipedia 2024)

Şekil 5: Lowbed Treyler

Kaynak : https://www.ozgul.com.tr/urunler/en/3-axle-P17

Lowbed treylerin 2 veya 3 dingilli treyler,çok dingilli,hidrolik dönüşlü ve modüler gibi çeşitleri bulunmaktadır.Taşıma kapasiteleri

20 ton ile 250 ton arasında değişmektedir.Zemin ile yükleme platformu arasındaki yükseklik genellikle 80-90 cm civarındadır (Podrigalo & ark.,2019).

Treylerlerin bu kadar çok çeşitli ve yüksek ağırlıklarda yük taşıyabiliyor olması savunma sanayisinde de önemli bir araç haline getirmektedir. Ağır, büyük ve hassas yüklerin taşınmasında sundukları esneklik ve güvenilirlik, bu araçları askeri operasyonlar için kritik hale getirir (Hohl,2006). Zırhlı araçlar, tanklar, füzeler, radar sistemleri ve diğer ağır askeri ekipmanların taşınmasında treylerler etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Tanklar,zırhlı araçların taşınmasında lowbed treyler aracılığıyla taşınması sağlanabilmektedir.Füzeler ve silah sistemlerin de yine taşınmasında özel olarak tasarlanmış treyler kullanılmaktadır.

Ayrıca mobil komuta ve kontrol merkezlerinde de yine özel olarak tasarlanan lowbed treyler kullanılmaktadır.

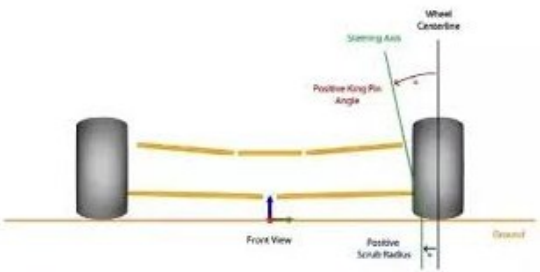
Ancak treyler bir yerden bir yere taşımacılıkta tek başına yetmemektedir. Haretket edebilmesi içni bir çekiciye ve bu çekici ile çeşitli bağlantıların yapılması gerekmektedir.

Çekici ile treyler arasında bağlantının sağlanabilmesi için “King Pim” denilen bir yapı kullanılmaktadır (Jacobides& Tae, 2015).Şekil 6 ‘da king pim görseli verilmiştir.

Şekil 6: King Pim

Kaynak: http://www.alionaxles.com/product/show-1124-220.html

King pimin doğru bağlanıp çalışması kritic öneme sahiptir. Özellikle yüksek tonajlı taşımacılıkta güvenirliği,yolda karşılaşılabilecek zorluklar,ani frenlemeler veya virajlar gibi durum için hayati öneme sahiptir.King pim genellikle çelikten olan bir pimdir. Treylerde bulunan bu pim çekici araçtaki beşinci teker (fifth wheel) olarak adlandırılıan kısma bağlanır. Bununda belirli bir açı ile bağlanması gerekir.Bu açıya king pim açısı denir.King pim açısı treyler şasinin bağlandığı düzlemle oluşturduğu eğimdir ve genellikel 15 ile 20 derece arasında olmalıdır (Hac, Fulk, & Chen, 2008). Şekil 7 de king pim açısı gösterilmiştir.



Şekil 7 : King Pim Açısı

Kaynak : https://www.quora.com/What-is-kingpin-inclination

Treylerin çekiciye bağlanmasında bir diğer önemli konu çekici ile treyler arasında elektriksel bağlantısının bağlanmasıdır.

Treyler ile çekici arasında elektriksel bağlantının sağlanabilmesi için iki adet 7 pinli bir adet 15 pinli kablolar kullanılır.

Treyler ile araç arasında bağlantıyı sağlayabilmek için buradaki konektörler belirli standartlara bağlanmışlardır. Treyler konnektörleri için ISO 1185 standardı, ticari araç endüstrisinde çekici araç ile römork arasındaki elektrik bağlantısı için bir standart oluşturmak amacıyla 70'li yılların başında geliştirilmiştir (Kg (n.d.)).Standardın ilk versiyonu 1975 yılına kadar uzanmaktadır. Son verisyonu ise 2003 yılında yayınlanmıştır. Bu konektör 7 pinli olup sadece en temel aydınlatma işlevlerini aktarabilmektedir ve geri vites ve arka sis lambalarını kapsamamaktadır. (Document Center Inc., n.d.)).Şekil 8 de ISO 1185 Standardına uygun konektörün pin dizilimi verilmiştir.Eğer bu lambalardan biri veya her ikisi de zorunlu ise ikinci bir 7 pinli konektör (ISO 3731) veya tek başına 15 pinli konektör (ISO 12098) kullanılması gerekmektedir.

EURO ISO 1185 WIRING		
CONTACT/FUNCTION	COLOUR	NO.
Earth/Return/Ground	White	1
Left tail/Number plate	Black	2
Left turn/Hazard	Yellow	3
Stop	Red	4
Right turn/Hazard	Green	5
Right tail/Number plate	Brown	6
Trailer brake control	Blue	7

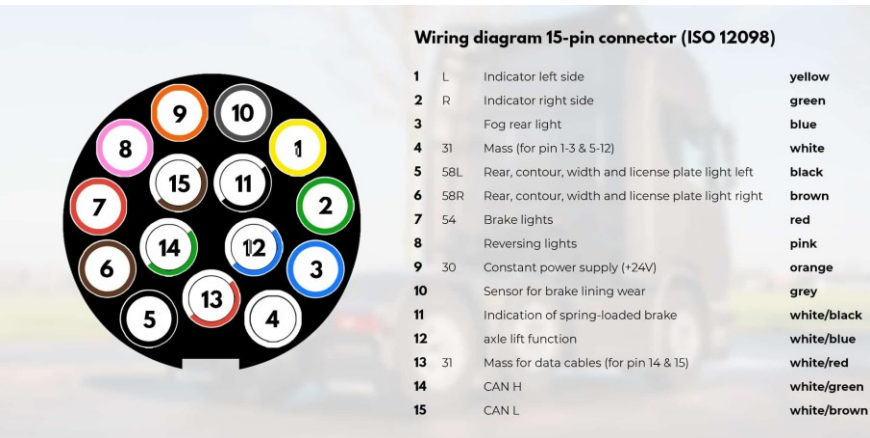
Şekil 8 : ISO 1185 Konektör

Kaynak : https://www.trail-link.com.au/wire-diagram/plug-and-socket-wiring-australia-copy/

ISO 3731 standardı, çekici ve treyler arasında kullanılan 7 pinli 24 volt nominal gerilime sahip "24S (Supplementary)" tipi elektrik bağlantı konnektörleri için teknik özellikleri tanımlar. Bu standart, ISO 1185 ile uyumlu çalışmak üzere geliştirilmiştir ve daha fazla kutup gereksinimi olduğunda kullanılabilecek bir tamamlayıcıdır. Örneğin, ISO 3731, ISO 1185'in sağladığı bağlantıların yetersiz kaldığı durumlarda devreye girer.Bu standart ilk defa 1980 yılında yayınlanmış olup son güncellemesi 2003 yılında yayınlanmıştır. ISO 3731 ‘e göre 7 pinli konektörler çekici ile treyler arasında ek elektriksel sinyal bağlantıları,aydınlatma kontrolü ve diğer yardımcı cihazların çalıştırılması ve ISO 1185 ‘e

paralelle ek işlevseller sunmayı sağlamaktadır ((“ITEH Standards,” n.d.)).

ISO 12098 15 pinli konektörü eski 7 pinli konektörlerin sınırlamalarını aşmak için geliştirilmiştir. Bu sistem, treylerlerde hem standart aydınlatma işlevlerini hem de ek yardımcı işlevleri destekleyerek ticari taşımacılıkta önemli bir yenilik olmuştur. Ticari taşıtlarda artan işlevsellik ihtiyacı ve güvenlik gereklilikleri doğrultusunda 1990'ların sonlarından itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. ISO 12098 standardı, ilk olarak 2001 yılında yayımlandı. Diğer yandan ticari araçlarda Avrupa Birliğinde EBS ABS sistemlerinde yaygınlaşmadan dolayı birçok firma 2005 yılında 15 pinli konnektör yapısına geçmiştir (Vm, 2024). Şekil 9 ‘da bu konektörün pin dizilimi gösterilmiştir.



Şekil 9 : ISO 12098 15 pinli Konektör

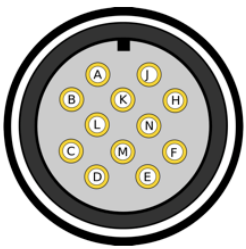
Kaynak : https://www.tralert.com/en/lighting-terms/15-pin-iso-12098/

Ancak 2000 li yılların başında üretilen çekicilerin de hala kullabilir olmasından dolayı treyler üzerinde iki adet 7 pinli konektör ve ibr adet 15 pinli konektör bulunmaktadır.

Bu standartlar ticari araçlarda kullanılan araçlar için geliştirilmiş standartlardır. Ancak askeri tip treylerde ekstra olarak da 12 pinli NATO konektörü kullanılmaktadır. NATO konektörü için de STANAG 4007 standardı geliştirilmiştir ("Standards Technology Group - Standards Central," n.d.-b).

12 pinli NATO konektörü, treylerlerin ve çekilen ekipmanların ışıklandırma, sinyalizasyon ve güç ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmıştır. Örneğin, dönüş sinyalleri, fren lambaları, sis lambaları ve geri vites lambaları gibi fonksiyonları kontrol eder. Ayrıca karartma modunu da içermektedir. (Eurolab (n.d.)).Şekil 10 'da NATO konektörünün STANAG 4007 standardına uygun pin dizilimi gösterilmiştir.

	NATO Standard STANAG 4007
A	Blackout Mode
B	Left Turn Lamp
C	Blackout Tail Lamp
D	Ground
E	Tail / Marker Lamp
F	Blackout Stop Lamp
H	Rear Fog Lamp
J	Right Turn Lamp
K	Aux Power
L	Ground
M	Stop Lamp
N	Reverse Lamp



Şekili 10 : STANAG 4007 NATO Soketi

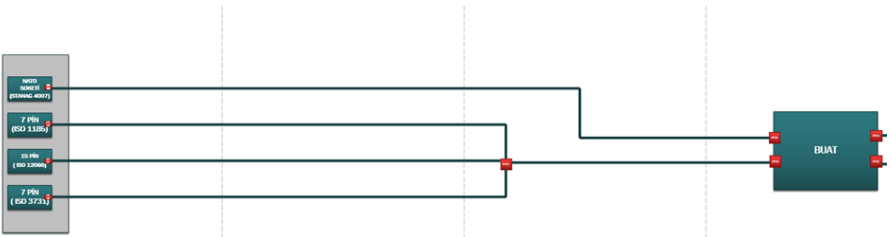
Diğer yandan askeri tip çekicilerde sadece askeri tip çekicilerle çekicilerle çekilebilir olması ile ilgili bir problem oluşmaktadır. Çünkü askeri tip treylerin üzerind ticari tip çekiciler için uygun olan iki adet 7 pinli ve bir adet 15 pinli konektörler bulunsa da askeri araçlarda blulnması gereken karartma modu sadece 12 pinli NATO soketinden aktarılabilmektedir.

Bu sorunu çözebilmek için de asker tip treylerlerin hem askeri hem ticari çekiciler tarafından kullanılabilir olması için bir sistem oluşturulmuştur.

Materyal ve Methodlar

7-7-15 pinli konnektör ile 12 pinli NATO soketi arasında ortaklanan bir sistem, hem askeri hem de sivil uygulamalarda esneklik sağlayan gelişmiş bir kablo ve bağlantı yapısını ifade eder. Bu sistemde, 7-7-15 pinli konnektör yapısına sahip kalbo ile 12 pinli NATO soketi, farklı araçların ve cihazların elektriksel, veri ve kontrol sinyallerini sorunsuz bir şekilde aktarabilmesi için optimize edilmiştir

Bu sistemin oluşturulabilmesi için ticari tarafta kullanılan iki adet 7 pinli bir adet 15 pinli konektörler,ne sahip kablolar ile 12 pinli NATO konektörüne sahip kablo bir buat kutusunda aynı sinyallerin ortaklaması yapılmıştır.Şekil 11'de bunun blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 11 : Blok Şema

Buat kutusunda iki giriş iki çıkış olmak üzdreei 4 adet delik ve bu deliklere uygun rekorlar geçirilmiştir.

Ortaklanan sinyallerin dışında geriye askeri araçlarda gerekli olan aydınlatma sinyalleri kalmaktadır. Bu sinyaller bir ortaklama olmadan buat kutusu içerisinde bulundurulur.

Daha sonrasında buat kutusunun çıkışından aydınlatma için gerekli olan kablolar geçirilir ve buat kutusunun içerisinde

ortaklanan sinyaller ve askeri aydınlatmalar için gerekli olan sinyal kabloları burada birleştirilir. Bu sayede askeri tip çekiciler de hem ticari hem askeri tip çekiciler için çekilmeye uygun bir sistem geliştirilmiş olmaktadır.

Sonuç

Bu çalışma, 7-7-15 pinli konnektörler ile 12 pinli NATO soketinin birleşimiyle oluşturulan gelişmiş bir kablo ve bağlantı sisteminin, elektriksel, veri ve kontrol sinyallerini nasıl etkin bir şekilde ilettiğini incelemektedir. Elde edilen bulgular, sistemin hem askeri hem de sivil uygulamalardaki esnekliği ve optimizasyonunu vurgulamaktadır.

7-7-15 pinli konnektör yapısı, araç ve treyler arasındaki çeşitli sinyallerin aktarımında önemli bir rol oynamaktadır. Yapının birinci 7 pinli bağlantısı, temel elektriksel işlevlerin, örneğin aydınlatma ve fren lambaları gibi, gerçekleştirilmesinde kullanılır. İkinci 7 pinli bağlantı ise daha karmaşık sinyallerin, örneğin araç sensörlerinden gelen verilerin aktarımında kullanılmaktadır. 15 pinli bağlantı, yüksek veri aktarımı ve ekstra güç gerektiren işlevler için ayrılmıştır ve özellikle ağır yük taşıyan askeri treylerlerdeki elektronik ekipmanlar ve hidrolik sistemlerin kontrolü gibi kritik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu yapı, çeşitli çekici tipleriyle uyumlu çalışmayı mümkün kılmakta ve farklı işlevlerin sorunsuz bir şekilde yerine getirilmesini sağlamaktadır.

12 pinli NATO soketi, askeri standartlara uygun olarak tasarlanmış bir bağlantı elemanıdır ve hem güç hem de veri aktarımı açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu soket, elektriksel güç dağıtımını ve veri ile kontrol sinyallerinin iletimini sağlayarak,

askeri araçlarda GPS, radar sistemleri ve diğer kritik sistemlerin entegrasyonunda gerekli olan standartları karşılamaktadır. NATO üyesi ülkeler arasında sağlanan uyumluluk, çok uluslu askeri operasyonlar ve lojistik uygulamalarda önemli bir avantaj sunmaktadır.

Sistem içindeki buat kutusu, 7-7-15 pinli konnektörler ile 12 pinli NATO soketi arasındaki sinyal entegrasyonunu sağlar. Bu kutu, ortak sinyallerin birleştirilmesi ve farklı sinyal kablolarının ayrıştırılmasını gerçekleştirerek, sistemin esnekliğini ve uyumluluğunu artırmaktadır. Bu yapının sunduğu ortaklık, treylerin hem ticari lojistik operasyonlarında hem de askeri sevkiyatlarda aynı verimlilikle kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, bu gelişmiş kablo ve bağlantı sistemi, hem askeri hem de sivil uygulamalar için yüksek derecede uyum ve esneklik sağlamakta, farklı sistemlerin entegrasyonunu ve verimli kullanımını desteklemektedir. Sistem tasarımı ve uygulama çalışmalarında dikkate alınması gereken bu avantajlar, gelecekteki çalışmalar için önemli bir referans noktası oluşturmaktadır.

Referanslar :

Korayem, A. H., Khajepour, A., & Fidan, B. (2021). A review on Vehicle-Trailer State and Parameter Estimation. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(7), 5993–6010. https://doi.org/10.1109/tits.2021.3074457

FreightWaves Ratings. (n.d.). *What are curtainside trailers?* Retrieved November 25, 2024, from https://ratings.freightwaves.com

ACT Research. (t.y.). Curtainside trailers and their logistics advantages. 25 Kasım 2024 tarihinde https://www.actresearch.net adresinden ulaşılmıştır.

Carrier Transicold (2024). Transport refrigeration solutions. (24/11/2024 tarihinde https://www.carrier.com/truck-trailer/en/worldwide adresinden ulaşılmıştır).

International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). (2023). *Oil tanker spill statistics 2023*. (25/11/2024 tarihinde https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/oil-tanker-spill-statistics adresinden ulaşılmıştır).

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2024). Advanced refrigeration technologies. (24/11/2024 tarihinde https://www.epa.gov adresinden ulaşılmıştır).

International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). (2023). Oil tanker spill statistics 2023. (25/11/2024 tarihinde https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/oil-tanker-spill-statistics adresinden ulaşılmıştır).

National Transportation Safety Board (NTSB). (2023). *Hazardous materials transportation by tankers*. (25/11/2024 tarihinde https://www.ntsb.gov/investigations/data-tankers adresinden ulaşılmıştır).

American Institute of Steel Construction. (2023). Steel structures standards and design. *American Institute of Steel Construction*. (Erişim Tarihi: 25/11/2024, https://www.aisc.org/technical-resources/)

International Code Council. (n.d.). Standards for building and transportation equipment. *ICC Safe*. (Erişim Tarihi: 25/11/2024, https://codes.iccsafe.org/codes/Standards).

"Analysis of the Tractor-Trailer Dynamics during Braking." SAE Technical Paper 2019-01-2144. Bu makale, çekici ve römork kombinasyonlarının frenleme sırasında dinamik davranışlarını analiz etmektedir. Fren sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gereken dinamik yük dağılımı gibi önemli teknik detaylar içerir. DOI: https://doi.org/10.4271/2019-01-2144

Wikipedia (2024). "Lowboy (trailer)." Wikipedia. Bu kaynak, lowbed treylerlerin tasarım türleri (sabit boyun, hidrolik ayrılabilir boyun vb.), kullanım alanları ve temel yapısal özellikleri gibi bilgiler sunar. (25/11/2024 tarihinde https://en.wikipedia.org/wiki/Lowboy_(trailer) adresinden ulaşılmıştır)

Hohl, G. H. (2006). Military terrain vehicles. Journal of Terramechanics, 44(1), 23–34. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2006.01.003

Jacobides, M. G., & Tae, C. J. (2015). Kingpins, bottlenecks, and value dynamics along a sector. Organization Science, 26(3), 889–907. https://doi.org/10.1287/orsc.2014.0958

Hac, A., Fulk, D., & Chen, H. (2008). Stability and control considerations of Vehicle-Trailer combination. SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems, 1(1), 925–937. https://doi.org/10.4271/2008-01-1228

Kg, E. J. G. +. C. (n.d.). ISO 1185 - International standard for electrical truck and trailer connections. (26/11/2024 tarihinde https://www.erich-jaeger.com/en/products/standards/iso-1185-type-n/iso-1185-type-n-scope-and-application adresinden ulaşılmıştır).

Document Center Inc. (n.d.). ISO-1185 | Road vehicles - Connectors for the electrical connection of towing and towed vehicles - 7-pole connector type 24 N (normal) for vehicles with 24 V nominal supply voltage | Document Center, Inc. (26/11/2024 tarihinde https://www.document-center.com/standards/show/ISO-1185 adresinden ulaşılmıştır).

ITEH Standards. (n.d.). ISO 3731:2003 - Standard on connectors for electrical systems. (26/11/2024 tarihinde https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b82ecb38-c247-4347-a985-%2030400c233b25/iso-3731-2003 adresinden ulaşılmıştır).

Vm, K. (2024, November 18). 15-Polige stekker. (26/11/2024 tarihinde https://www.tralert.com/en/lighting-terms/15-pin-iso-12098/ adresinden ulaşılmıştır).

Standards Technology Group - Standards Central. (n.d.). Military DOD STANAG 4007. (26/11/2024 tarihinde https://publishers.standardstech.com/content/military-dod-stanag-4007 adresinden ulaşılmıştır).

Eurolab. (n.d.). STANAG 4007 İtici Güç, Römork ve Çekili Top Arası Elektrik Bağlantıları. (26/11/2024 tarihinde https://www.eurolab.net/sektorel/askeri-testler/stanag-4007-itici-guc-romork-ve-cekili-top-arasi-elektrik-baglantilari/ adresinden ulaşılmıştır).

BÖLÜM VII

Elektrikli ve Hibrit Araçlarda Lityum İyon Batarya Kaynaklı Yangın Olayları Üzerine Genel Bir İnceleme

Taner ÇARKIT[1]

Giriş

Her geçen gün kullanımı artan ve kullanım amacı farklılaşarak genişleyen elektrikli araç (EA) teknoloji kolaylıkları ve bazı riskleri de beraberinde getirmektedir. Zamandan tasarruf, otonom sürüş, insan kaynağı tasarrufu gibi avantajlarının yanında, ülkelerin trafik kültürlerinin farklı olması farklı sürüş özellikleri, doğru olmayan algılama sonucunda oluşabilecek kazalar gibi dezavantajlarını da beraberinde getirmektedir. Bu dezavantajlardan biriside kaza veya herhangi bir problem sonucunda aracın batarya kısmında meydana gelen yangın ve zehirli gaz çıkışı olayıdır. Bu olayların önlenerek, zamanında müdahaleyle can ve mal kaybının minimize edilmesi için

[1] Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye, Orcid ID: 0000-0002-5511-8773, tanercarkit@klu.edu.tr

sunulacak bir çözümün pazar payının geniş olacağı açıktır. Şöyle ki: Goldman Sachs bankasının hazırlamış olduğu rapora göre; batarya kapasitesinin yaklaşık olarak 70 kWh olduğu Tesla S serisi EA'larda lityum karbonat (Li_2CO_3) eşdeğeri olabilen yaklaşık olarak 63 kg madde kullanılmıştır. Bu oran 10000 adet cep telefonu bataryasının içerisindeki lityum bileşiğine eşit durumdadır. Dolayısıyla, EA pazarındaki herhangi bir probleme sunulabilecek bir çözüm alternatifinin EA talebindeki %1'lik artışın Li_2CO_3 talebinin 70 ton/yıl artıracağı belirtilmiştir (URL-1, 2024).

Öte taraftan, elektrikli araçlarında dahil olduğu otomotiv sektörüne yapılacak bir katkının ekonomik boyutlarını tahmin edebilmek için şu bilgilerin bilinmesi yararlı olacaktır: 2021 yılında global anlamda otomobil ve otomobil endüstrisinin gelirle ölçülen satış pazar büyüklüğü 3.6 trilyon dolarken, 2023 yılında bu rakam 4.3 trilyon dolara ulaşmıştır. 2023 yılında yıl bazlı Pazar büyüklüğü %3.7 oranında artarmıştır. Diğer taraftan ise küresel anlamda etkiye sahip farklı değişimler sonucunda 2018-2023 yıllarını kapsayan beş yıllık dönemde marketin büyüklüğü ortalama olarak %0.3 azalmıştır (URL-2, 2024). Söz konusu bu pazar büyüklüğü teknolojik gelişmelerin katılımıyla geniş bir yelpazeye de çeşitlenerek yayılmaktadır. Özellikle, akıllı şehirlerin oluşturulmasındaki en önemli unsurlardan olan birbiri ile haberleşme, bağlantılılık, otonom çalışma ve algılama gibi özellikleriyle akıllı ulaşım sistemleri ve nesnelerin interneti gibi uygulamalarda yaygınlaşmaya başlamıştır (Çarkıt & Üstkoyuncu, 2019; OSD, 2020; KPMG, 2023).

Lityum iyon bataryalar 15 °C ila 45 °C arasındaki dar çalışma alanında güvenli çalışması için batarya yönetim sistemi (BYS) ile desteklenmesi gerekmektedir. BYS'nin yanında dahili veya harici

bağlantıya sahip hava, metal veya sıvı soğutma yöntemleriyle bataryaların sıcaklıklarının azaltılması gerekmektedir. Amaç: Kullanıcıların, aracın ve bataryanın güvenliğinin sağlanmasıdır. Ancak, BYS'nin de kendi arıza durumları ve güvenlik açıkları vardır. O yüzden harici bir yangın önleme tedbirinin alınarak EA kiti şeklinde oluşturulması önem arz etmektedir. Can ve mal güvenliğini koruyarak, beşeri ve ekonomik kaynaklara sahip çıkmak amacını misyon alan çalışmada; sensörler ve hedeflenen elektronik kontrol sistemi yardımıyla, araç batarya kısmındaki tehlike durumunda gerçekleşecek olan zehirli gaz çıkışını ve oluşacak yangını otomatik olarak önlemek, yangının aracın diğer kısımlarına yayılmasını engellemek amaçlanmaktadır. Ayrıca, güvenlik artırıcı bu tedbirlerle insan sağlığını ve canını korumakla birlikte yangının verdiği maddi zararın en alt seviyelerde tutulması hedeflemektedir.

Literatür Bilgisi

Enerji depolama sistemleri ve batarya hücreleri üzerinde yapılmış birçok literatür kaynağı bulunmaktadır. Öte yandan, elektrikli ve hibrit EA'larda meydana gelebilecek yangın olaylarının çözümü için literatürde farklı çalışmalar bulunmaktadır. Şöyleki:

Sturk vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmada, lityum batarya sistemlerine sahip EA'ların karıştıkları trafik kazaları için gerçekçi çarpışma, izleme, önlem ve sonuç senaryoları oluşturmuşlardır (Sturk vd., 2015).

Feng vd. 2017 yılında yaptıkları çalışmada EA'lar da kullanılan lityum iyon bataryalardaki potansiyel termal kaçaklar için inceleme yapmışlardır. Termal kaçak tehlikesini azaltmaya yardımcı

olmak için üç seviyeli bir koruma konsepti önerilmiştir (Feng vd., 2017).

Sun vd. 2020 yılında yaptıkları çalışmada EA'lar ve hibrit EA'lardaki yangın güvenliği sorunlarına odaklanmışlardır. Termal kaçak, hatalı çalışma veya trafik kazaları ve aşırı kötü kullanım sonucu olabilecek yangın olayları incelenmiştir (Sun vd., 2020).

Depetro vd. 2021 yılında yaptıkları çalışmada, dizel jeneratör ve batarya grubuna sahip elektrikli denizaltı ile nükleer denizaltını karşılaştırırken, elektrikli denizaltı araçlarındaki yangın risklerini, arıza modlarını ve teknolojik olgunluk seviyelerini araştırmışlardır. Lityum iyon tabanlı batarya bloklarını, güvenilirlik veya güvenlikten ödün vermeden geleneksel denizaltılara entegrasyonu bakımından yorumlamışlardır (Depetro vd., 2021).

Duh vd. 2021 yılındaki çalışmalarında, ticari pazardaki 18650 tip lityum-iyon bataryalarda termal kaçakları incelemiş ve çelitli iyon türlerine göre tehlike potansiyellerini karşılaştırmışlardır (Duh vd., 2021).

Aynı yıl yapılan farklı bir çalışmada bataryalarda yangın oluşumu, yangın söndürme ve yangının ilerleme süreçlerini incelemek için farklı deneyler yapmışlardır. Deneylerde söndürme işlem ve materyalleri su ve bor katkılı olarak gruplara ayrılmıştır. Bor katkılı söndürme sistemlerinin diğer gruba göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Son olarak EA kaza yönetimi planlanmıştır (Un & Aydın, 2021).

Wang vd. 2022 yılında yaptıkları çalışmada lityum tabanlı bataryalarda meydana gelebilecek olan termal kaçak/sürüklenme risklerini analiz etmek için bulanık analitik hiyerarşi süreci

işletmişlerdir. Çeşitli tehlike faktörleri değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir (Wang vd., 2022).

Karamangil vd. 2023 yılında yaptıkları çalışmada, EA'larda yangın olaylarına genel bir araştırma bakış açısıyla yaklaşmışlardır. EA'larda yangın sebepleri, yangın risklerini azaltmak için anot ve katot tarafta kullanılan alternatif malzemeleri araştırmışlardır (Karamangil vd., 2023).

Lityum İyon Kaynaklı Yangınlarda Kullanılan Bazı Yangın Önleme Maddeleri

EA'ların karışmış olduğu kaza olaylarının sonucunda hava ile temas, darbe, kısa devre, aşırı termal ısınma, pil hücrelerinde şişme gibi olaylar neticesinde bataryalarında meydana gelen bir yangın olayında; EA içerisindeki enerji depolama sistemini (EDS) oluşturan batarya bloğunun temel parçaları olan pillerde şişme, gaz salınımı, ısı artışı ve alev oluşumu sonucunda CO dahil onlarca çeşitli zehirli gazı açığa çıktığı bilinmektedir. Lityum iyon batarya bloklarının kullanıldığı sistemlerde meydana gelebilecek potansiyel arızalar ve yangına sebep olabilen durumlar Tablo 1'de verilmektedir.

Jel tipi söndürücüler: Elektrik ve elektronik tabanlı yangınlarda sıvı tortu bırakmaması, cihazlara zarar vermemesi önemlidir. Söndürme işlemini yaparken uyguladığı prensip: kaplama, sıvama, soğutma ve söndürmedir. Özellikle organik, ekolojik ve hijyenik ürünlerin talep edildiği ofis, hastane, fabrika ve tesis gibi kapalı ortamlarda tercih edilmektedir. Bazı kaynaklar; bu tip söndürücülerin yangın esnası ve sonrasında doğru müdahaleyi zorlaştırdığı savunulmaktadır (Kazak, 2024a).

Kuru söndürücüler: Genellikle cam granüllerden oluşturulan söndürücü tipidir. Özellikle, su veya köpük kullanılarak yangın söndürme işlemlerinde, söndürücünün yetersiz kalması durumunda elverişlidir. Granül taneciklerinin tekrar kullanılabilmesi ve araçlarda tahribata sebep olmaması avantajları arasındadır. Cam granüle alternatif olarak oluşturulan diğer kuru söndürücü tipi vermikülit'tir. Vermikülit magnezyum, alüminyum ve demirin bileşiminden oluşan yangın söndürme maddesi olarak kullanılmasının yanında, yangın izolasyonu için kaplama maddesi olarak da tercih edilmektedir. Alternatif söndürme ürünlerinde grafit tozu kullanılmaktadır.

Sulu tip söndürücüler: Kuru tip vermikülit söndürücünün alternatifi olarak sulu tip ürünleri de mevcuttur. Bu söndürücü tipi, ince film gibi ateşin üzerinde kuruyarak hava ile teması kesmektedir. Ancak suyun, lityum heksaflorofosfat ($LiPF_6$) ile reaksiyona girebileceği ve toksik ve zararlı HF oluşturabileceği unutulmamalıdır (Wang vd., 2019).

Örtü tip söndürücüler: Yaklaşık olarak 1500 °C sıcaklıklara dayanabilen örtü şeklindeki yangın battaniyeleri bu grup içerisine dahil edilebilmektedir. Ana mantık, hava ile temasın kesilmesidir. Burada havadan kasıt havanın içerisindeki yakıcı ve özellikle yanıcı maddeler ile temasın durdurulmasıdır.

Bu söndürücü tiplerinin yanı sıra; köpüklü söndürücüler, Halon bazlı söndürücüler, CO_2 ve HFC-227ea gibi farklı söndürme maddelerini içeren çeşitli yöntemler de bulunmaktadır (Kazak, 2024b).

Tablo 1. Lityum iyin bataryalardaki bazı arıza ve sonuçları

Arıza Tipi	Etkisi	Sonucu
Yüksek gerilim	Lityum kaplama, hücrenin artan ısı enerjisi (Joule)	Kalıcı kapasite kaybı, kısa devre, aşırı ısınma
Düşük gerilim	Elektrot arızası	Kalıcı kapasite kaybı, kısa devre, aşırı ısınma
Yüksek deşarj	Elektrot arızası	Kalıcı kapasite kaybı, kısa devre, aşırı ısınma
Düşük sıcaklıkta çalışma	Lityum kaplama, kimyasal reaksiyon hızında azalma	Performans düşüşü, kısa devre, aşırı ısınma
Yüksek sıcaklıkta çalışma	Artan kimyasal reaksiyon hızı, katı elektrot ara fazı (SEI) katmanının bozulması	Aşırı ısınma
Mekanik yorgunluk	Elektrot çatlaması, artan iç direnç, SEI katmanının bozulması	Aşırı ısınma
Mekanik etki	Dahili bileşenlerin yerinden çıkması	İşlevsel arıza, kısa devre, aşırı ısınma
Üretim hatası	Bileşen arızası	İşlevsel arıza, kısa devre, aşırı ısınma
Tasarım hatası	Bileşen arızası	İşlevsel arıza, kısa devre, aşırı ısınma

Sonuç

Elektrikli araçlardaki lityum iyon bataryaların avantaj ve dezavantajları araştırılarak, güvenlik endişeleri ele alınmıştır. Lityum iyon batarya hücreleri veya sistemleri; karmaşık yapılarının

yönetilmesi ve kontrol edilebilmesi için batarya yönetim sistemlerine ihtiyaç duymaktadır.

Farklı sebepler ile oluşan yanma ve yangın olayları ciddi bir güvenlik tehdidi oluşturmaktadır. Yangın ve patlama risklerinin yüksek olduğundan, bu tür olayların çeşitli endüstrilerde, özellikle elektrikli ve hibrit araçlarda sıkça görüldüğüne dikkat çekilmiştir.

Lityum iyon batarya yangınlarını söndürmek için kullanılan farklı söndürücü türleri, özellikleri ve etkinliği hakkında bilgi aktarılmıştır. Yöntemlerin avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Özellikle, sulu ve kuru toz tipi söndürücülerin lityum iyon kaynaklı yangın olaylarında tercih edilebileceği vurgulanmıştır.

Referanslar

Çarkıt, S., Üstkoyuncu, U. (2019). Elektrikli araçlar ve elektrikli araçlarda kullanılan elektriksel tahrik sistemleri. Trakya Üniversiteler Birliği IV. Lisansüstü Öğrenci Kongresi (TUBLOK), 30.

Depetro, A., Gamble, G., Moinuddin, K. (2021). Fire safety risk analysis of conventional submarines. Applied Science, 11(6), 2631.

Duh, Y.S., Sun, Y., Lin, X., Zheng, J., Wang, M., Wang, Y., Lin, X., Jiang, X., Zheng, Z., Zheng, S., Yu, G. (2021). Characterization on thermal runaway of commercial 18650 lithium-ion batteries used in electric vehicles: A review. Journal of Energy Storage, 41, 102888.

Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., He, X. (2017). Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. Energy Storage Materials,10, 246-267.

Karamangil, M.İ., Sürmen, A., Tekin, M. (2023). Elektrikli araçlarda batarya yangınlarına genel bakış. Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi, 11(1), 29-40.

Kazak, D. (2024). Doğru yangın söndürme cihazının seçimi için gerekli bilgiler. International Social Sciences Studies Journal, 10(1), 205-210.

Kazak, D. (2024). Thermal runaway and safety measures in lithium-ion batteries: A review. Social Science Development Journal, 9(43), 1-15.

KPMG. (2023). Otomotiv sektörel bakış. https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/tr/pdf/2023/08/otomotiv-sektorel-bakis-2023.pdf

OSD. (2020). Otomotiv sanayii 2020 yılı küresel değerlendirme raporu. https://www.osd.org.tr/saved-files/PDF/2022/02/02/OSD_Kuresel_Degerlendirme_Raporu_2020.pdf

Sturk, D., Hoffmann, L., Tidblad, A.A. (2015). Fire tests on evehicle battery cells and packs. Traffic Injury Prevention, 16(1), 159-164.

Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., Huang, X. (2020). A review of battery fires in electric vehicles. Fire Technology, 56, 1361-1410.

URL-1: https://www.goldmansachs.com.tr/tr/articles/2035-yilina-kadar-global-araba-satislarinin-yarisinin-elektrikli-araclar-olmasi-bekleniyor, Erişim Tarihi: 1 Eylül 2024.

URL-2: https://www.ibisworld.com/global/market-size/global-car-automobile-sales/, Erişim Tarihi: 1 Eylül 2024.

Un, C., Aydın, K. (2021). Thermal runaway and fire suppression applications for different types of lithium ion batteries. Vehicles, 3, 480-497.

Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, S., Sun, J. (2019). A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies. Progress in Energy and Combustion Science, 73, 95-131.

Wang, Z., Chen, S., He, X., Wang, C., Zhao, D. (2022). A multi-factor evaluation method for the thermal runaway risk of lithiumion batteries. Journal of Energy Storage, 45, 103767.

BÖLÜM VIII

Uç Yapay Zeka Tasarımı

Mustafa Engin[1]

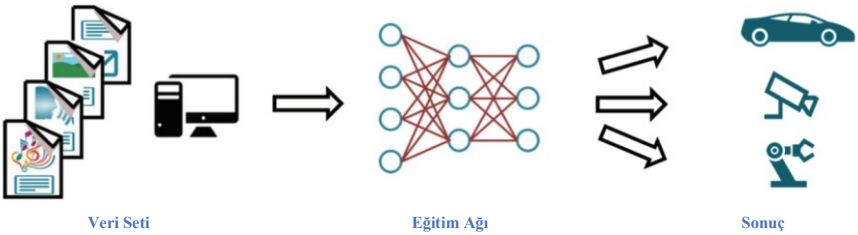
Giriş

Apple'ın Siri'si, Google'ın Assistan'ı ve Amazon Echo gibi çevrimiçi interaktif hizmetlerin evlere girmesi, tüketicileri yapay zekâ ve makine öğreniminin günlük yaşamda ne kadar yararlı olabileceği konusunda toplumsal farkındalık yarattı. Bu hizmetlerin sürekli ve doğru verilebilmesi için temel yapay zekâ algoritmalarının bulutta çalışması gerekiyor. Gelişen yapay zekâ teknolojileri hayatımızın her noktasında özellikle üretim ve hizmet sektörlerinde vazgeçilmez hal almışlardır. Kendi kendine giden arabalar, simülasyonlarda ve gerçek dünya sürüş koşullarında kendilerine sunulan örnekler aracılığıyla engellerle nasıl başa çıkacaklarını öğrenebiliyorlar. Benzer şekilde, robotlar artık zahmetli bir şekilde elle programlanmak yerine görevleri yerine getirmeleri için operatörler tarafından yönlendirilebilmektedir. Bu sistemler bazı hizmetler için buluta başvurabilse de buluta veri göndermenin

[1] Doç. Dr., Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İzmir/Türkiye, Orcid: 0000-0001-7247-4545 , mustafa.engin@ege.edu.tr

getirdiği gecikme süresini karşılayamayanlar temel makine öğrenimi algoritmalarını yerel olarak çalıştırmaları gerekmektedir. Her sistemin buluta erişimi kolay ve yeterli düzeyde hızlı olmayacaktır. Örneğin, maden ocaklarında kullanılan sondaj sistemleri genellikle yüksek hızlı kablosuz altyapıdan uzak yerlerde bulunmaktadır. Ancak ekipman operatörleri, makinelerin ne durumda olduğunu izlemek ve arıza veya yıpranma işaretlerini önceden belirlemek için makine öğreniminin gücünü kullanmak istemektedirler. Bu istek aslında tüm üretim sektörünün bakım onarım ekibi tarafından sıkça dillendirilmektedir (Akyaz & Engin, 2024). Makine öğreniminin birçok sektörde görevini yapabilmesi için, çıkarım aşamasının verinin bulunduğu ve sonuçlarının kullanıldığı yerde yürütülebilmesi gerekir. Bunu yapabilmek için makine öğrenimi algoritmasını çıkarım aşamasının kısıtlı kaynaklara sahip gömülü bir sistemde konuşlandırılabilecek şekilde optimize edilmesi gereklidir. Bu yerleştirmenin kendine özgü zorlukları ve gereksinimleri vardır. Bu çalışmada, makine öğrenimini gömülü sistemlere yerleştirmenin zorlukları ve makine öğrenimi için gömülü bir işlemci seçerken dikkat edilmesi gereken temel hususlar ele alınacaktır.

Derin öğrenme olan makine öğrenimi alt kümesinde iki ana parça vardır: eğitim ve çıkarım, bunlar Şekil-1'de gösterildiği gibi tamamen farklı işlem platformlarında yürütülebilir. Derin öğrenmenin eğitim tarafı genellikle masaüstü bilgisayarlarda veya bulutta çevrimdışı olarak gerçekleşir ve büyük etiketli veri setlerinin derin bir sinir ağına beslenmesini gerektirir. Bu aşamada gerçek zamanlı performans veya güç söz konusu değildir. Eğitim aşamasının sonucu, konuşlandırıldığında bir montaj hattındaki bir şişeyi incelemek, bir odadaki insanları saymak ve izlemek veya bir banknotun sahte olup olmadığını belirlemek gibi belirli bir görevi yerine getirebilen eğitimli bir sinir ağıdır. Eğitilen sinir ağının algoritmayı çalıştıran bir cihaza yerleştirilmesi çıkarım olarak bilinir.



Şekil-1. Derin öğrenmenin aşamaları.

Yapay zekâ algoritmaları yürütülürken kullanım yerinden topladıkları verileri arka planda yüksek performanslı bilgi işlem kaynaklarını kullanarak istenilen çıkarımları oluşturur ve sonucu uç sisteme ileterek kullanıcısına sunar. Uç sistem çoğunlukla düşük performansa sahip işlemci ve kısıtlı kaynaklara sahiptir. Normal masaüstü bilgisayarlar, cep telefonları veya akıllı saatler gibi daha küçük cihazlarda yapay zekâ algoritmalarını düzgün çalıştırmak için internet bağlantısından yararlanırlar (Khan et al., 2019). Birçok durumda istikrarlı bağlantı sağlamak bir sorun olmasa da veya anında sistem yanıtı kritik olmasa da otonom araçlar veya medikal cihazlar gibi gerçek zamanlı sistemlerde sistem yanıtı geciktiğinde geri dönülemez olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilir (Tsai et al., 2024). Bağlantı sınırlamalarından kaçınmak için bu sistemler verileri işleyebilmeli ve doğrudan araç üzerinde bir yanıt oluşturabilmelidir. Bu nedenle, belirli makine öğrenimi iş yüklerini bulunduğu yerde işleyebilen bu tür sistemler gömülü yapay zekâ sistemleri veya uç yapay zekâ sistemleri olarak adlandırılır (Cao et al., 2020).

Gömülü sistemler uzun yıllardır basit mekanik ve elektrikli cihazları dijital cihazlara dönüştürmemize yardımcı olmakta, bazı otomasyon ve izleme özellikleri eklemektedir. Motor performansını takip etmekten sorumlu sensörler ve bilgisayarlar, uyarlanabilir hız sabitleyici veya gelişmiş park fonksiyonları ile donatılmış modern otomobiller buna iyi bir örnektir. Bu arada, çok sayıda gelişmiş fonksiyona ek olarak, insanların yaptığına benzer şekilde yakın çevrelerine dayalı gerçek zamanlı kararlar verebilen otonom otomobillerin uygulanması her gün bir adım daha ileri gitmektedir (Li et al., 2012). Bir aracın engelleri tespit etme ve tanımlama,

durmaya, etrafından dolaşmaya veya geri gitmeye karar verme ve yol koşullarına ve trafik kurallarına göre trafikte en uygun sürüş hızını belirleme gibi yetenekleri, bir aracın gömülü sistemi içinde çalışan makine öğrenimi algoritmalarının sonuçlarıdır (Chi et al., 2024).

Daha önce yalnızca bir insana emanet edilebilen karar verme ve benzeri işlevler artık araç içindeki gömülü makine öğrenimi sistemleri tarafından gerçekleştirilmektedir. İşlem birimiyle bir tür kablosuz bağlantıya ihtiyaç duyacağımız bulutta veya uç bilişimde genel amaçlı bilgisayarların kullanılmasının aksine, gömülü makine öğrenimi ile tüm makine öğrenimi işlemleri doğrudan araç üzerinde yapılır (Kothari et al., 2024). Bu, veri seyahat süreleri ve olası bağlantı kesintilerinden kaynaklanan gecikmelerden kaçınarak sistemin gerçek zamanlı performansını sağlamaya yardımcı olur. Aynı zamanda, gömülü bir makine öğrenimi sisteminin işlevselliği hala araç işlevlerine odaklanmaya devam eder ve bilgisayar sistemi tüm araç mekanizmasının yalnızca bir parçasını oluşturur. Kullanıcılar buraya genel amaçlı bir bilgisayar veya tablet için tasarlanmış bir bilgisayar programı yükleyemezler ve araç, bir araba motoru ve diğer temel araba parçaları olmadan çalışmaz ve sürülmez. Bu da onu bir masaüstü bilgisayardan veya cep telefonu sisteminden farklı kılan özelliklerdir (Amin et al., 2024).

Sistem Gereksinimlerinin Belirlenmesi

İlk başlatma, temel bileşen başlatma rutini ve ana programların çalıştırılması gibi bazı ortak programların yürütülmesine ek olarak, sisteminize yapay zekâ iş yüklerinin de yükleneceğini göz önünde bulundurulmalıdır.

İşlem gücü, makine öğrenimi modelinizin karmaşıklığı, gerekli işlem kapasitesini tanımlayan temel faktördür. Modeliniz ne kadar karmaşıksa, ihtiyacınız olan CPU'lar veya GPU'lar ve yapay zekâ hızlandırıcıları da o kadar güçlü olacaktır. Ayrıca, güvenlik sistemlerinde yüz tanıma gibi gerçek zamanlı uygulamaların daha hızlı işlem gerektirdiğini unutulmamalıdır. Bu arada, anomali tespiti

gibi gerçek zamanlı olmayan yapay zekâ uygulamaları, işlem gücü gereksinimleri açısından daha esnektir (Chen & Ran, 2019).

Bellek, daha fazla parametreye sahip daha büyük modeller, çalışma sırasında depolamak için daha fazla bellek gerektirir. Ayrıca, sisteminizin bir kerede işlemesi gereken veri miktarı da bellek ihtiyaçlarınızı etkileyecektir. Örneğin, yüksek çözünürlüklü görüntülerin işlenmesi, düşük çözünürlüklü olanlara kıyasla daha fazla bellek gerektirir.

Depolamada ilk olarak, eğitilmiş makine öğrenimi, modelinii tutmak için ne kadar depolama alanına ihtiyaç olacağını belirlenir. İkinci olarak, özellikle gerçek zamanlı uygulamalarla uğraşırken, sistemin işleme veya arabelleğe alma için belirli miktarda veri depolaması gerekeceği hesaba katılmalıdır.

Güç tüketimi, cihazınn pille çalışması bekleniyorsa, enerji verimliliği sizin için kritik öneme sahiptir. Enerji açısından verimli bir sistem mimarisi oluşturmak için model parametrelerini, donanım tasarımını ve yazılım yürütmesini optimize etmeye yönelik teknikler kullanılmalıdır.

Bağlantı, sistemin buluta veri yükleme veya güncelleme alma gibi ağ bağlantısı ihtiyaçları, gömülü sistemin içermesi gereken bağlantı protokollerini ve bağlantı noktalarını tanımlayacaktır.

Sensörler ve aktüatörler, cihazın fiziksel ortamla nasıl etkileşime girmesini beklediğinizi düşünün ve uç cihazınızdaki sensörler ve aktüatörler için ihtiyaç duyacağınız arayüzleri göz önünde bulundurun.

Fiziksel form faktörü, cihazınızın boyut ve ağırlık kısıtlamaları da kullanabileceğiniz donanım bileşenlerinin türünü etkileyecektir. Bu, herhangi bir gömülü projede bulunabilecek sistem özelliklerinin yalnızca bir listesidir. Her uygulama benzersizdir ve farklı amaçlar için tasarlanmıştır, bu nedenle olası her kullanım durumuna uyacak kapsamlı bir gereksinim listesi sağlamak imkânsız olacaktır (Wang et al., 2020).

Makine Öğrenimi Modellerinin Seçimi

Günümüzde, verileriniz üzerinde eğitebileceğiniz ve özel uygulamalarınız için kullanabileceğiniz çeşitli tescilli ve açık kaynaklı yapay zekâ modelleri bulunmaktadır. Ancak, doğru olanı seçmek için kendinize sormanız ve belirli soruları yanıtlamanız gerekir.

Makine öğrenimi modelinin sunması gereken uygulama işlevselliği nedir, örneğin görüntü sınıflandırma, sensör veri analizi, anormallik tespiti, davranış izleme gibi hangi işlevsellikte kullanıcak. İşlevsellik ihtiyaçlarına hangi temel makine öğrenimi algoritması uyacaktır, örneğin karar ağaçları, destek vektör makineleri (SVM) veya hafif konvolüsyonel sinir ağları (CNN)? Uygulama gerçek zamanlı işleme gerektiriyor mu yoksa biraz gecikmeyle çalışabilir mi? Hangi çıkarım hızı bekleniyor? Kabul edilebilir model doğruluğu seviyesi nedir? Modelin eğitim için ne miktarda ve türde veriye ihtiyacı olacak? Bu, depolama ve işleme ihtiyaçlarının yanı sıra model verimliliğini de etkileyecektir. Hangi CPU, GPU, bellek, depolama ve güç kısıtlamaları dikkate alınmalıdır? Model optimizasyon tekniklerinden ve TensorFlow Lite, Edge Impulse veya Arm NN gibi Tiny ML araçlarından yararlanmak mümkün müdür? Bu soruları yanıtladıktan sonra, gerçekten ihtiyacınız olan model karmaşıklığı, doğruluk ve hız düzeyi ortaya çıkacaktır. Daha sonra bu ihtiyaçları cihaz donanım kısıtlamaları ile eşleştirerek ek optimizasyon stratejileri geliştirmeniz gerekip gerekmediğini görebilirsiniz. Yapay zekâ modelinizin seçiminde çevik ve yinelemeli bir yaklaşım benimseyebilir ve daha basit ve önceden eğitilmiş modellerin prototipi oluşturulabilir ve gömülü sistemde modelin performansını hızlı bir şekilde test edebilmenizi olanaklı hale getirir. Farklı modellerin hedef donanımınızda nasıl çalıştığını görmek, doğruluğu, çıkarım hızını ve kaynak tüketimini karşılaştırmak için bu işe özgü test yazılımları kullanılabilir.

Veri Hazırlama ve Ön İşleme

Uygulama işlevselliğini net bir şekilde belirledikten ve makine öğrenimi modelini tanımladıktan sonra, üzerinde çalışılacak veriler hazırlanmalıdır. Veri toplama, makine öğrenimi modeline tam olarak hangi verilerin beslenmesi gerektiğini ve bu verilerin sisteminizde nereden geleceğini (sensörler, harici veritabanları, simülasyonlar vb.) düşünerek başlanmalıdır. Model denetimli öğrenme için tasarlanmışsa ve sınıflandırma veya tahmin işlevi sağlaması gerekiyorsa, verilerin etiketlenmiş olması gerekir. Modelin gizli bağlantılar ve içgörüler arayarak eğitmek için etiketlenmemiş verilerle denetimsiz öğrenme uygulanır. Veri etiketleme, veri kümesinin özelliklerine bağlı olarak otomatik veya manuel olabilir. Modelin yanlı veya hatalı olmayacağından emin olmak için veri temizleme ve doğrulama yapılması gerekebilir.

Veri ön işleme, model eğitimi için veri setini ayarlamak üzere veri biçimlendirme ve model eğitimi verimliliğini artırmak için veri normalleştirme kullanılması gerekebilir. Her model eğitimi aşaması için bol miktarda veriye sahip olduğunuzdan emin olmak için tüm verilerin eğitim, doğrulama ve test kümelerine ayırılması gerekir.

Gömülü yapay zekâ sisteminizde kaynak kullanımını en aza indirecek tekniklere öncelik verilmelidir, örneğin veri sıkıştırma veya buluttan isteğe bağlı veri alma. Gerçek zamanlı uygulamalarda gecikmeyi en aza indirmek için, çıkarımdaki veri ön işleme hattının hızlı ve verimli olması gerekir.

Veri mühendisliği, ham verileri modeliniz için daha bilgilendirici hale getirmek için ölçeklendirme, normalleştirme, boyut azaltma ve yeni özellik oluşturma gibi veri mühendisliği tekniklerini uygulayabilirsiniz.

Model Eğitimi ve Optimizasyonu

Eğitim verileri toplanıp ön işlem yapıldıktan ve seçilen model hazır olduktan sonra model eğitimine başlanabilir. Makine

öğrenimi model eğitimi iki farklı şekillerde yapılabilir, denetimli ve denetimsiz öğrenme.

Denetimli öğrenme sırasında, makine öğrenimi algoritmalarına etiketli veriler sağlanır, bu nedenle algoritmanın korelasyonlar ve kurallar oluşturmak için daha az hesaplama yapması gerekir. Bu tür modeller hesaplama açısından daha az karmaşık olacaktır.

Denetimsiz öğrenmede, makine öğrenimi algoritmasına mümkün olduğunca çok sayıda örtük eğilimi ve korelasyonu bulması için etiketsiz veriler verilir. Bu tür modeller daha fazla hesaplama çabası gerektirecektir. Genellikle veri kümeleme, öneri motorları ve içgörü oluşturma için uygulanırlar.

Ayrıca robotikte beceri edinme ve öğrenme görevleri için yaygın olarak kullanılan bir metodoloji olan pekiştirmeli öğrenme de vardır. Sistem, küçük bir çocuğun yapılması ve yapılmaması gerekenleri öğrenmesine benzer şekilde, başarılı olup olmadığını öğrenmesine yardımcı olan bir eylem gerçekleştirdiğinde, dış uyaranların anında geri bildirimine veya etkisine dayanır. Makine öğrenimi modelinin ihtiyaçları veya kaynakları için çok karmaşık olduğu ortaya çıkarsa, belirli model optimizasyon teknikleri kullanılabilir.

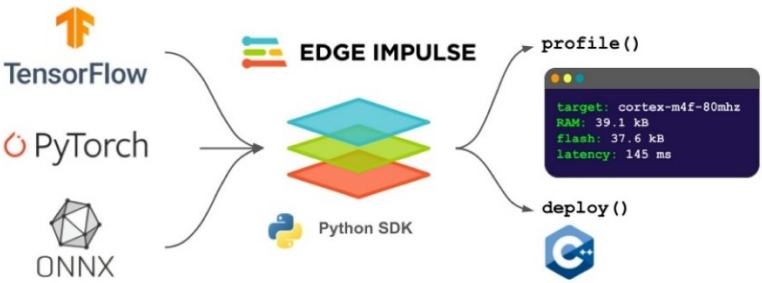
- Model Budama; modelin karmaşıklığını ve bellek ayak izini azaltmaya yardımcı olan modeldeki aşırı bağlantıların kaldırılması.
- Niceleme: bellek ve işlem gücü taleplerini önemli ölçüde hafifleten hesaplama hassasiyetinin azaltılması. Veriler 32 bir olarak toplanmış olabilir bu aşamada 16 bite indirgenebilir. Bellek kullanımını azaltırken, işlem miktarını da azaltılmış olur.
- Bilgi Damıtma: önceden eğitilmiş daha büyük bir modelden bilgi aktararak daha küçük bir modeli eğitme yöntemi. Bu, daha düşük işleme ihtiyaçları ile makul model doğruluğuna ulaşmaya yardımcı olur.

Ayrıca, daha önce de belirtildiği gibi, makine öğrenme modellerini gömülü yapay zekanın gereksinimlerine göre ayarlamak için özel olarak tasarlanmış, bellek kullanımı ve güç yönetimi için optimizasyonlar sunan Tiny makine öğrenme araçları, kütüphaneleri ve TensorFlow Lite veya Edge Impulse gibi çerçeveleri kullanılabilir (PyTorch, 2024; STMicroelectronics, 2024; TensorFlow Lite, 2024; Warden & Situnayake, 2019).

Gömülü Sisteme Model Dağıtımı

Modeli gömülü sistemde çalıştırmak için, dönüştürülmüş modeli yüklemek ve yeni verileri onunla işlemek için bir çıkarım motoruna gereksinim vardır. Popüler çıkarım motoru seçenekleri arasında TensorFlow Lite Micro (TensorFlow Lite, 2024), Edge Impulse (Edge Impulse, 2024) çalışma zamanı veya Arm NN (ARM, 2024)bulunur. Gömülü cihazlar için, işlemci yeteneklerine uyan iyi optimize edilmiş bir model mimarisi kullandığınızdan, dönüştürülen modeli ve geçici verileri depolamak için yeterli bellek ayrıldığından ve çıkarım sırasında model tarafından enerji tüketiminin verimli olduğundan emin olmalısınız.

Şekil-2'de modelin kısıtlı kaynaklara sahip uç gömülü sistemler için optimizasyon aşamaları verilmiştir. Optimizasyon yazılım paketleri model algoritmasından sadece çıkarım modelini gömülü sisteme göre düzenler ve gerekli bellek boyutu ve hesaplama performansını belirler.



Şekil-2. Edge Impulse Python SDK, makine öğrenimi modellerini C++ kaynak koduna dönüştürür ve optimize eder.

Tasarımcı gömülü sistenmin boyutlandırılmasında bu bilgileri kullanır. Ayrıca optimizasyon paketleri makine öğrenmesi algoritmasından çıkarım moderini oluşturduktan sonra yüksek verimli olarak c++ koduna dönüştürür, bu kod kullanılan mikrodenetleyiciye uygun derleyici kullanılarak makine diline dönüştürülür ve sisteme gömülür.

Güvenlik Önlemleri

Bir tür veriyi toplayan, işleyen ve depolayan herhangi bir sistem, bilgisayar korsanlarının potansiyel hedefi ve kullanıcıları veya sahipleri için sorun kaynağı olabilir. Hassas verilerle ilgileniyorsa bu durum daha da ciddileşir. Herhangi bir aksilikten mümkün olan en üst düzeyde kaçınmak için farklı güvenlik önlemleri almak kritik önem taşır. Yapay zekâ modellerini çalıştıran gömülü sistemler bağlamında üç güvenlik seviyesi düşünebiliriz.

Model güvenliği, makine öğrenimi modelleri, kötü niyetli aktörlerin modelin yanlış tahminler yapmasına neden olan girdiler ürettiği düşmanca saldırılara karşı savunmasız olabilir. Modelin sağlamlığını artırmak için, düşmanca eğitim uygulanabilir, modeli düşmanca örneklerle eğitilebilir. Dijital imzalar veya kriptografik karma gibi teknikler, cihaza yerleştirilen modelin bütünlüğünü

doğrulamanıza ve modelin yetkisiz taraflarca kurcalanmadığından emin olmanıza yardımcı olabilir. Hassas verileri işleyen sistemler için, model eğitimi için birleştirilmiş öğrenme ve diferansiyel gizlilik gibi gizliliği koruyan teknikler kullanılabilir. Bu yaklaşımlar, bireysel veri gizliliğinden ödün vermeden dağıtılmış veriler üzerinde eğitime izin verir.

Sistem güvenliği, güvenli önyükleme mekanizmaları, başlangıçta cihaza yalnızca yetkili ürün yazılımı ve yazılımın yüklenmesini sağlamaya yardımcı olur ve yetkisiz kod yürütülmesini ve potansiyel sistem tehlikesini önler. Sisteminiz harici sunucularla iletişim kuruyorsa veya veri aktarıyorsa, şifreleme ve kimlik doğrulama ile güvenli iletişim protokolleri olmazsa olmazdır.

Erişim kontrol mekanizmaları, sistemin işlevselliğine ve yapılandırma ayarlarına yetkisiz erişimi kısıtlayacaktır.

Test ve Doğrulama

Gömülü makine öğrenimi sistemimizin nasıl çalıştığını kontrol ederken, testin iki "aşamasını" görebiliriz: Model testi. İlk olarak, veri hazırlama aşamasında hazırladığımız test veri setinden yeni veriler üzerinde nasıl performans gösterdiğini görmek için eğitilmiş bir modelimiz olur olmaz bu yapılmalıdır. Kıyaslama araçlarını kullanarak, hedef donanım üzerinde çalıştırdığımız farklı modellerin (varsa) doğruluk, hız ve kaynak tüketim özelliklerini karşılaştırabiliriz. Bu, optimum sonuç elde edilene kadar yinelemeli olarak yapılabilir. Entegrasyon testi. Model dağıtımı ve entegrasyonunun ardından, modelin ve gömülü sistemlerimizin geri kalanının beklendiği gibi etkileşime girdiğinden emin olmak önemlidir. Bu aşamada, gerçek sistem performansını gözlemlemek ve sorunları belirlemek için simüle edilmiş veya gerçek dünya ortamını kullanabiliriz. Gömülü yapay zekâ sistemlerini test ederken, aşağıdaki hususları dikkate aldığınızdan emin olun;

- Cihazın beklenmedik girdilere, geçersiz verilere, sensör arızalarına veya hatalara yeterince yanıt vermesini sağlamak

için uç durumlar ve hata işleme ele alınmalıdır. Gerçek zamanlı uygulamalar için, sistemin gerekli işlem sürelerini karşılayıp karşılamadığını test etmek çok önemlidir. Modelin gerçek dünya koşullarındaki sağlamlığını kontrol etmek için, eğitim verilerine kıyasla biraz farklı dağılımlara sahip test verilerini kullanarak test edin.

- Sıkı güvenlik gereksinimleri olan uygulamalar, modelin yanlış tahminler yapmasını sağlamak için kötü niyetli girdilerin hazırlanması ve sistemin bilgisayar korsanlığı girişimlerine karşı direncini değerlendiren sızma testleri gibi düşman örneklerle yapılan testlerden yararlanacaktır. Performans ve kaynak kullanımı, bellek kullanımı ile işlem ve enerji güç tüketimi ölçülerek ve izlenerek test edilebilir.
- Sıcaklık değişimleri, gürültü ve titreşimler gibi gerçek dünyadaki çevresel faktörler gömülü sistemin performansı üzerinde ciddi bir etkiye sahip olabilir, bu nedenle cihazın aşırı ortamlara yerleştirilmesi bekleniyorsa, bunlar test senaryoları listesine dahil edilmelidir. Sistem kullanıcılarla etkileşime girecek şekilde tasarlanmışsa, kullanılabilirlik testine tabi tutulmalıdır.

Sürekli İzleme ve Optimizasyon

Makine öğrenimi modelinin gömülü sistemdeki performansının sürekli olarak izlenmesi ve genel sistem takibi, cihazın güvenilirliğini, istikrarını ve uzun ömürlülüğünü sağlamak için çok önemlidir.

Veri Toplama ve Günlüğe Kaydetme

Mümkün olan her yerde, sistem metriklerini ve performans göstergelerini izlemelidir. Model performansı için bunlar doğruluk, kesinlik, geri çağırma veya çıkarım süresini içerir ve zamanla performans düşüşünü tespit etmeye yardımcı olur. Sistemin sağlığını kontrol etmek için bellek tüketimini, CPU/GPU kullanımını ve güç tüketimleri izlenmelidir. Hataların veya istisnaların kaydedilmesi

olası sorunların teşhis edilmesine yardımcı olacaktır. Toplanan izleme verilerini depolamak ve iletmek için, sistemin donanım kısıtlamalarına, mevcut kaynaklara ve genel yazılım mimarisine bağlı olarak cihaz üzerinde depolama, uç depolama ve bulut depolamayı tercih edilebilir.

İzleme Araçları ve Teknikleri

Toplanan metriklere dayanarak, anormallik tespit algoritmaları sistemdeki normal davranıştan sapmaları belirleyecek ve böylece performansı önemli ölçüde etkilemeden önce olası sorunları tespit edecektir.

Görselleştirme panoları, toplanan izleme verilerini kolayca anlaşılabilir bir formatta sunar, böylece sistem davranışındaki eğilimleri, kalıpları veya anormallikleri hızlı bir şekilde belirleyebilirsiniz. Belirli eşikler aşıldığında veya anormallikler tespit edildiğinde bildirimleri tetikleyen bir uyarı sistemi, olası sorunları zamanında ele almanızı sağlayacaktır.

Uzaktan Yönetim ve Güncellemeler

Güvenli uzaktan erişim, gerektiğinde tanılama, yapılandırma değişiklikleri veya model güncellemelerine izin verecektir. Sistem yazılımı ve hatta AI modeli için kablosuz (OTA) güncellemelerle, cihaza fiziksel erişim olmadan hata düzeltmelerini, güvenlik yamalarını veya geliştirilmiş modelleri dağıtabilirsiniz.

Gömülü Yapay Zeka Geliştirme Çerçeveleri

Gömülü yapay zekâ geliştirme çerçeveleri, gömülü donanımda kullanım için makine öğrenmesi model eğitimini ve optimizasyonunu kolaylaştırmak üzere tasarlanmıştır. Çoğu zaman bu tür araçlar, tam ölçekli yapay zekâ çerçevelerinin geliştiricileri ve özel amaçlı donanım üreticileri tarafından bu donanım için paketler halinde sağlanır. TensorFlow Lite, mobil, mikro denetleyiciler ve uç cihazlarda yapay zekâ modeli dağıtımını sağlamak için tasarlanmış Python'da yapay zekâ geliştirmeye yönelik TensorFlow çerçevesinin hafif bir sürümüdür.

PyTorch Mobile, mobil iOS ve Android cihazlarda ve uç cihazlarda model eğitimi ve dağıtımı için beta aşamasında bir araçtır (PyTorch, 2024). Apple'ın Core ML'si, Apple donanımında minimum bellek ayak izi ve güç tüketimi ile yapay zekâ modellerinin cihaz içi performansı için optimize edilmiş bir çerçevedir.

Open VINO, Intel mimarilerinde önceden eğitilmiş derin öğrenme modellerinin kolay dağıtımı için Intel'in açık kaynaklı görsel çıkarım ve sinir ağı optimizasyon araç setidir (OpenVINO, 2024).

NVIDIA JetPack, gömülü donanımlarda uçtan uca hızlandırılmış yapay zekâ uygulamaları oluşturmak için eksiksiz bir geliştirme ortamı sağlayan bir araç setidir.

MLPerf Tiny bir geliştirme aracı değildir, gömülü cihazlarda makine öğrenimi çıkarım performansı değerlendirmesini kolaylaştırmak için tasarlanmış, standartlaştırılmış ölçümler ve test metodolojileri sunan bir kıyaslama paketidir (MLPerf Tiny, 2024).

Gömülü Yapay Zeka Bilgi İşlem Platformları

Gömülü yapay zekâ bilgi işlem platformları, yapay zekâ iş yüklerini işlemek için tasarlanmış ve optimize edilmiş donanım ve yazılımları kapsar. Geliştiricilerin ve teknoloji meraklılarının gömülü cihazlarda yapay zekâ uygulamaları oluşturmaları ve denemeleri için kullanıma hazır eksiksiz çözümler sunarlar.

NVIDIA Jetson, farklı işlem gücü seviyelerine sahip küçük, güç tasarruflu üretim modülleri ve gömülü yapay zekâ uygulamaları için yüksek performanslı hızlandırma için uygun geliştirici kitleri sunan bir platformdur.

Raspberry Pi, hem mühendislik profesyonelleri hem de meraklılar için uygun fiyatlı gömülü yapay zeka keşfi sağlayan küçük bir bilgisayar kartıdır. Raspberry Pi 5, serideki en güçlü ve yapay zeka için optimize edilmiş olanı olmak üzere, çeşitli özellikler ve yetenekler sunan farklı modellerde gelir. Son derece belgelenmiş

ve desteklenmiştir ve farklı yazılım sağlayıcılarının geliştirme kitleri ve işletim sistemleriyle uyumludur.

ADLINK Edge AI platformları, derin öğrenme (DL) iş yüklerinde donanım hızlandırmayı, watt başına yüksek performansı, uçtan uca bağlantıyı ve 7/24 çalışma için endüstriyel çevresel uyumluluğu entegre eden kurumsal düzeyde heterojen bilgi işlem mimarisi içeren bir platformdur.

Mediatek Genio, çeşitli amaçlar ve yapay zekâ iş yükleri için uygulanabilir olmasını sağlayan değişken güç özellikleri, enerji verimliliği, modüler mimari ve yerleşik çevre birimlerine sahip bir dizi yonga seti sunan uç yapay zekâ için bir SoC çözümleri ailesidir.

Sonuç

Bu çalışmada uç yapay zekâ uygulaması geliştirme aşamaları sırasıyla açıklanmıştır. Uç gömülü sistemler genellikle verilerin toplandığı sensör ve bu bilgileri ön işlemden geçiren mikrodenetleyiciden ve buluta bağlanmayı sağlayan bir haberleşme ağından oluşur. Tüm gömülü sistemlerde olduğu gibi uç gömülü sistemlerin kaynakları kısıtlıdır. Çoğunlukla hızlı bir haberleşme ağına ulaşma şansları mümkün değildir. Hızlı haberleşme ağına sahip olsalarda veri güvenliği veya gerçek zaman kısıtlarından dolayı bulutta yer alan yapay zekâ modellerini ve çıkarım motorlarını kullanmaları mümkün değildir. Kaynaklarının kısıtlı olması nedeniyle modellerin eğitiminin gömülü sistemde yapılması mümkün değildir. Bu nedenle eğitim güçlü bilgisayarda veya bulutta yapıldıktan sonra çıkarım motoru oluşturulur ve bu motorun kodu gömülü koda dönüştürülerek gömülü sisteme yerleştirilir. Buluta bağlanmaya gerek duymaksızın uç gömülü sistemde çıkarım motoru çalıştırılır.

Kaynakça

Akyaz, T., & Engin, D. (2024). Machine Learning based Predictive Maintenance System for Artificial Yarn Machines. *IEEE Access*. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3454548

Amin, R. Al, Hasan, M., Wiese, V., & Obermaisser, R. (2024). FPGA-Based Real-Time Object Detection and Classification System Using YOLO for Edge Computing. *IEEE Access*, *12*, 73268–73278. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3404623

ARM. (2024). *ArmNN*. Arm NN. https://developer.arm.com/Tools%20and%20Software/ArmNN

Cao, K., Liu, Y., Meng, G., & Sun, Q. (2020). An Overview on Edge Computing Research. *IEEE Access*, *8*, 85714–85728. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991734

Chen, J., & Ran, X. (2019). Deep Learning with Edge Computing: A Review. *Proceedings of the IEEE*, *107*(8), 1655–1674. https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2921977

Chi, T. K., Chen, T. Y., Lin, Y. C., Lin, T. L., Zhang, J. T., Lu, C. L., Chen, S. L., Li, K. C., & Abu, P. A. R. (2024). An Edge Computing System with AMD Xilinx FPGA AI Customer Platform for Advanced Driver Assistance System. *Sensors 2024, Vol. 24, Page 3098*, *24*(10), 3098. https://doi.org/10.3390/S24103098

Edge Impulse. (2024). *Edge Impulse - The Leading Edge AI Platform*. The Leading Edge AI Platform. https://edgeimpulse.com/

Khan, W. Z., Ahmed, E., Hakak, S., Yaqoob, I., & Ahmed, A. (2019). Edge computing: A survey. *Future Generation Computer*

Systems, *97*, 219–235. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2019.02.050

Kothari, A., Talty, T., Huxtable, S., & Zeng, H. (2024). Energy-Efficient and Context-Aware Computing in Software-Defined Vehicles for Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). *SAE Technical Papers*. https://doi.org/10.4271/2024-01-2051

Li, L., Wen, D., Zheng, N. N., & Shen, L. C. (2012). Cognitive cars: A new frontier for ADAS research. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *13*(1), 395–407. https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2159493

MLPerf Tiny. (2024). *MLPerfTM Tiny is an ML benchmark suite for extremely low-power systems such as microcontrollers*. MLPerfTM Tiny Is an ML Benchmark Suite for Extremely Low-Power Systems Such as Microcontrollers. https://github.com/mlcommons/tiny

OpenVINO. (2024). *OpenVINO 2024.6 — OpenVINOTM documentation — Version(2024)*. OpenVINOTM Documentation. https://docs.openvino.ai/2024/index.html

PyTorch. (2024). *Home | PyTorch*. PyTorch Mobile. https://pytorch.org/mobile/home/

STMicroelectronics. (2024). *STM32CubeIDE - Integrated Development Environment for STM32 - STMicroelectronics*. https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html

TensorFlow Lite. (2024). *TensorFlow Lite - Computer Vision on Edge Devices [2024 Guide] - viso.ai*. Computer Vision on Edge Devices . https://viso.ai/edge-ai/tensorflow-lite/

Tsai, K.-Y., Chung-Wei, K., Rancea, A., Anghel, I., & Cioara, T. (2024). Edge Computing in Healthcare: Innovations, Opportunities, and Challenges. *Future Internet 2024, Vol. 16, Page 329*, *16*(9), 329. https://doi.org/10.3390/FI16090329

Wang, X., Han, Y., Leung, V. C. M., Niyato, D., Yan, X., & Chen, X. (2020). Convergence of Edge Computing and Deep Learning: A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, *22*(2), 869–904. https://doi.org/10.1109/COMST.2020.2970550

Warden, P., & Situnayake, D. (2019). *TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers: Vol. TinyML* (M. Loukides, N. Taché, & B. Kelly, Eds.; First Edition). https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=tn3EDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=pete+warden+tinyml&ots=jqoldt19A3&sig=zafBYGwtlq4YE5xMMDWIlSmxHZA&redir_esc=y#v=onepage&q=pete%20warden%20tinyml&f=false

BÖLÜM IX

Köprü Katodik Koruma Sistemlerinde Sürdürülebilir Enerji Çözümleri: Off-Grid Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Maliyet Analizi

Murat ÇIKAN[1]

Giriş

Enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği ve verimliliği, modern toplumların en kritik gereksinimlerinden biri haline gelmiştir. Özellikle fosil yakıtların çevresel etkileri ve sınırlı kaynaklar olması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu bağlamda, güneş enerjisi sistemleri, temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi için önemli bir alternatif sunmaktadır. Son yıllarda, güneş enerjisi teknolojilerindeki gelişmeler ve maliyetlerdeki düşüş, bu sistemlerin yaygınlaşmasına önemli katkı sağlamıştır.

Off-grid (şebekeden bağımsız) güneş enerjisi sistemleri, özellikle şebeke elektriğinin ulaşamadığı veya kesintili olduğu bölgelerde kritik bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler,

[1]Dr. Murat ÇIKAN, Çukurova Üniversitesi, AOSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adana/Türkiye, Orcid: 0000-0001-6723-5769, mcikan@cu.edu.tr

elektrik şebekesine bağlı olmaksızın, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek depolayabilen ve ihtiyaç anında kullanıma sunabilen bağımsız yapılardır. Sistemlerin tasarımı, kurulum yeri, iklim koşulları, kullanım amacı ve enerji ihtiyacı gibi birçok parametrenin detaylı analizi ile gerçekleştirilmelidir.

Literatürde, off-grid güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar, genellikle sistem bileşenlerinin boyutlandırılması, maliyet optimizasyonu ve performans analizi üzerine yoğunlaşmaktadır. Örneğin, Li S. ve diğerleri (2023), batarya kapasitesi ile güneş paneli boyutlandırması arasındaki ilişkiyi incelemiş ve optimal sistem tasarımı için bir metodoloji önermişlerdir [1]. Benzer şekilde, Li J.ve arkadaşları (2020), farklı iklim koşullarında sistem performansını etkileyen faktörleri analiz etmiştir. [2]. Bu bölümde, 975 Watt-saat günlük enerji ihtiyacı olan bir sistemin, güneş panelleri ve bataryalar yardımıyla beslenmesi için gerekli tasarım ve maliyet analizi ele alınacaktır. Çalışmanın özgün yanı, sistemin iki günlük yedekleme kapasitesi ile tasarlanması ve İstanbul ili özelinde gerçekleştirilen detaylı analizleri içermesidir. Bu kapsamda:

- Sistem bileşenlerinin optimal boyutlandırılması
- Çevresel faktörlerin sistem tasarımına etkisi
- Detaylı maliyet analizi ve karşılaştırması
- Pratik uygulama örnekleri

gibi konular sistematik bir yaklaşımla incelenecektir. Çalışmanın sonuçları, benzer sistemlerin tasarımında referans olarak kullanılabilecek bir metodoloji sunmayı ve off-grid güneş enerjisi sistemlerinin ekonomik fizibilitesine ışık tutmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, bu tür sistemlerin yaygınlaşmasının önündeki teknik ve ekonomik engellerin tartışılması ve çözüm önerilerinin sunulması da hedeflenmektedir.

Problem Tanımı ve Sistem Gereksinimleri

Off-grid güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında, temel gereksinimler ve çevresel faktörlerin sistematik analizi büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde ele alınan problemin çözümü için öncelikle sistemin genel gereksinimleri ve çalışma koşulları detaylı olarak incelenecektir. Çalışmaya konu olan sistem, günlük 975 Watt-saat enerji ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanacak olup, güneş panelleri ve batarya grubu yardımıyla beslenecektir. Sistem tasarımında en kritik gereksinimlerden biri, fotovoltaik panellerin güç üretemediği ekstrem durumlarda sistemin *iki gün boyunca kesintisiz* çalışmaya devam edebilmesidir. Bu gereksinim, batarya kapasitesi hesaplamalarında belirleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sistemin güvenilirliği açısından önemli bir diğer parametre, tasarımda öngörülen %30'luk emniyet faktörüdür. Emniyet faktörü, beklenmeyen yük artışları, sistem kayıpları ve çevresel faktörlerin olumsuz etkilerini kompanse etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca batarya grubunun uzun ömürlü olması için deşarj derinliği %50 ile sınırlandırılmıştır. Sistem kurulumunun planlandığı İstanbul Haliç bölgesinin coğrafi ve iklimsel özellikleri, tasarımı doğrudan etkileyen faktörler arasındadır. Bölgenin 41.04137° Kuzey enlemi (N) ve 28.94014° Doğu boylamındaki (E) konumu, güneş panellerinin optimum yerleşimi için temel veriyi oluşturmaktadır. Özellikle kış aylarında ortalama sıcaklığın 5.1°C'ye kadar düşmesi, batarya performansını etkileyecek önemli bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Güneşlenme karakteristiği açısından bölge incelendiğinde, yaz aylarında 13'47" (saat/gün)'e kadar çıkan güneşlenme süresinin, kış aylarında 5'35" (saat/gün)'e kadar düştüğü gözlemlenmiştir [3]. Yıllık ortalama 9'40" (saat/gün) güneşlenme süresi, sistem tasarımında panel sayısı ve kapasitesi hesaplamalarında kullanılacak temel parametrelerden biridir.

Montaj lokasyonu olarak seçilen Haliç Köprüsü'nün Ayvansaray tarafındaki ayakları, sistem kurulumu için 14.00 m^2'lik bir alan sunmaktadır. Bu alan kısıtı, panel yerleşimi ve kapasitesi

açısından önemli bir tasarım parametresi oluşturmaktadır. Ayrıca köprü yapısından kaynaklanan gölgelenme faktörleri ve montaj kısıtlamaları da sistem tasarımında göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerdir. Tüm bu gereksinimler ve çevresel faktörler, sistemin optimum tasarımı için temel girdileri oluşturmaktadır. Takip eden bölümlerde, bu parametreler ışığında detaylı sistem tasarımı ve boyutlandırması gerçekleştirilecek, ardından maliyet analizi yapılacaktır. Sistemin uzun vadeli performansının değerlendirilmesi ve bakım gereksinimlerinin belirlenmesi de bu analizler kapsamında ele alınacaktır.

Bu sistematik yaklaşım, benzer off-grid güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında da kullanılabilecek bir metodoloji sunmayı amaçlamaktadır. Özellikle şebeke elektriğinin ulaşamadığı veya kesintili olduğu bölgelerde, sürdürülebilir enerji çözümleri için önemli bir referans oluşturabilecektir.

Sistem Tasarım Metodolojisi

Off-grid güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında, sistem bileşenlerinin optimal seçimi ve boyutlandırılması kritik öneme sahiptir. Bu bölümde, 975 Watt-saat günlük enerji ihtiyacını karşılayacak sistemin tasarım metodolojisi detaylı olarak ele alınacaktır.

Batarya Sistemi Tasarımı

Batarya sisteminin tasarımında, öncelikle toplam enerji depolama kapasitesi belirlenmelidir. İki günlük yedekleme gereksinimi göz önüne alındığında, minimum enerji depolama kapasitesi:

$$\begin{aligned} P_{\text{akü değeri}} &= 2 * P_{\text{günlük}} \\ P_{\text{akü değeri}} &= 975\ \text{Watt} - \text{saat} * 2 = 1950\ \text{Watt} - \text{saat} \end{aligned} \quad (1)$$

Sistem güvenilirliğini artırmak için %30'luk bir emniyet faktörü uygulanmıştır:

$$P_{\text{emniyet faktörü}} = P_{\text{akü}} * 0.30$$
$$P_{\text{emniyet faktörü}} = 1950 * 0.30 = 585 \text{ Watt} - \text{saat} \quad (2)$$

Toplam gerekli güç kapasitesi:

$$P_{\text{toplam}} = P_{\text{akü}} + P_{\text{emniyet faktörü}} = 2535 \text{ Watt} - \text{saat} \quad (3)$$

Batarya kapasitesi hesaplanırken, sistem gerilimi ve çevresel faktörler de dikkate alınmalıdır. 48V sistem gerilimi için amper-saat cinsinden kapasite:

$$I_{\text{Akü Kapasitesi}} = \frac{\sum P_{\text{tıoplam}}}{V_{\text{sistem}}} = \frac{2535}{48} = 53 \text{ Amper} - \text{saat} \quad (4)$$

Sıcaklık Düzeltme Faktörü

Batarya performansı sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterdiğinden, bölgenin iklim koşulları dikkate alınarak sıcaklık düzeltme faktörü uygulanmıştır. Düşük hava sıcaklığı bataryaların çalışmasında negatif bir etkiye sahiptir. Kurulması planlanan batarya sistemi için en kötü senaryo göz önüne alınarak ve bataryaların doğrudan dış ortam sıcaklığına maruz kalacağı düşünülerek tasarım gerçekleştirilmiştir. Bataryaların hava sıcaklığına bağlı sıcaklık emniyet katsayı çarpanı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 11: Sıcaklık emniyet katsayı değeri

Derece		**Çarpım Katsayısı**
Fahrenheit	**Celsius**	
80°F	26.0°C	1.00
70°F	21.2°C	1.04
60°F	15.6°C	1.11
50°F	10.0°C	1.19
40°F	4.4°C	1.30
30°F	-1.1°C	1.40

Sistemin İstanbul il sınırları içerisinde kurulacağı düşünülerek, İstanbul'a ait sıcaklık verileri Ref [4]'ten yararlanılarak elde edilmiştir. 1950 ile 2023 seneleri arasında İstanbul'a ait aylık ortalama sıcaklık ve ortalama en düşük sıcaklık değerleri Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir.

*Tablo 12: İstanbul için **ortalama sıcaklık** değerleri*

	(1950 - 2023) tarihleri arasında Gerçekleşen Ortalama Değerler					
Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Sıcaklık	6.7	6.9	8.4	12.8	17.6	22.2
Ay	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Sıcaklık	24.6	24.7	21.2	16.7	12.6	8.9

*Tablo 13: İstanbul için **ortalama en düşük** sıcaklık değerleri*

	(1950 - 2023) tarihleri arasında Gerçekleşen Ortalama Değerler					
Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Sıcaklık	4.2	4.2	5.4	9.2	13.6	18.0
Ay	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Sıcaklık	20.4	20.7	17.6	13.7	9.8	6.4

Tablo 3'den yararlanarak İstanbul'un en soğuk dört ayının ortalama sıcaklık değeri:

$$\frac{(4.2 + 4.2 + 5.4 + 6.4\,)}{4} = 5.075^{0}\text{Celcius} \\ = 41.135\ \text{Fahrenheit} \tag{5}$$

olarak hesaplanır. Tablo 1'den yararlanılarak 5.075°C için gerekli katsayı değeri Matlab yardımıyla enterpolasyon yapılarak 1.2867 olarak hesaplarız. Bu faktör, batarya kapasitesinin belirlenmesinde önemli bir parametre olarak kullanılmıştır.

Deşarj Derinliği Optimizasyonu

Batarya ömrünü optimize etmek ve verimliliğini artırmak için şarj kapasitesi %30 ile %80 arasında tutulmuştur (Depth of Discharge- DoD %50). Bu durumda gerçek batarya kapasitesi:

$$\text{Akü Kapasite Değeri} = \frac{P_{\text{akü}}}{V_{\text{sistem}}} * \frac{1}{\text{DOD}} * T_{\text{Katsayı}}^{\text{Düzeltme}} * \frac{130}{100} * \frac{1}{\eta}$$

$$\text{Akü Kapasite} = \frac{1950}{48\text{v}} * \left(\frac{1}{\frac{50}{100}}\right) * 1.2867 * 1.30 * \frac{1}{0.85} = 160\ \text{Amper} - \text{saat} \quad (6)$$

Sistemde hesaplanan verim değeri, bataryanın şarj ve deşarj döngülerindeki performansını göstermektedir. Lityum bataryalarda şarj ve deşarj verimliliği (η) farklılık göstermektedir; şarj verimi yaklaşık %95, deşarj verimi ise %85-90 aralığındadır. Çalışmada en kötü şartlar göz önüne alındığı için %85'lik düşük verimlilik oranı tercih edilmiştir. Emniyet faktörü ve diğer tasarım kriterleri göz önüne alındığında, kurulması gereken batarya sisteminin kapasitesi yaklaşık 160 Amper-saat olarak hesaplanmıştır. Bu kapasite değeri, sistemin güvenli ve verimli çalışmasını garanti altına almasına rağmen, kurulum maliyetinin artmasına neden olmaktadır.

Güneş Panellerinin Konumlandırılması

Projede, Haliç Köprüsü'nün ayaklarının korozyona karşı korunması istendiği için güneş panelleri Haliç Köprüsünün Ayvansaray tarafındaki ayaklarına yerleştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Enerji Departmanı (NREL) tarafından hazırlanan Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği ile ilgili web-sitesi [5] kullanılarak istenilen bölgede oluşturulacak güneş paneli alanı ortalaması $14.00\ \text{m}^2$ olması öngörülmüştür. Şekil 1'de PV panellerin konumlandırılacağı alan gösterilmiştir. İlerleyen bölümlerde güneş panellerinin özellikleri, kayıplar ve ışınım değerleri hesaplamalarına yer verilecektir.

Şekil 7: Panellerin konulacağı bölgenin haritadaki konumu

Tablo 4'de için 2023 yılı itibariyle güncel elektrik fiyatları ve güneş enerjisi sistemi maliyetleri verilmiştir.

Tablo 14: Ekonomik açıdan enerji birim fiyatlarının karşılaştırılması

Güneş Enerjisi Sisteminin Ekonomik Analizini	
Elektrik şebekesinden satın alınan elektriğin ortalama maliyetini ($)	0.15 $/kWh
Watt başına üretilen DC elektriğin maliyet fiyatı	1.20 $/Wdc
Güneş enerjisi sistemi tarafından üretilen elektriğin maliyeti	0.08 $/kWh

Güneş paneli sisteminin tasarımında, bölgenin güneşlenme karakteristiği ve panel verimi temel parametreler olarak ele alınmıştır. Panel üretim kapasitesi hesabı için kullanılan temel formül:

$$E = A * r * H * PR \quad (7)$$

Burada, E: Üretilen enerji (kWh), A: Panel yüzey alanı (m²), r: Panel verimi (%), H: Yıllık ortalama güneş radyasyonu ve PR: Performans oranı (0.5-0.9 arası, varsayılan 0.75). Güneş panelinin ürettiği maksimum Güç değerinin (kWp), panelin yüzeyine (m^2) bölünerek bulunduğu yüzdelik katsayı. Örnek olarak, 250-Wp bir panel 1.6 m^2 ise $r = \%\ 15.6$ olarak bulunur.

$$r = 0.250 * \frac{100}{1.6} = \%\ 15.6 \quad (8)$$

Panel Yerleşimi ve Optimizasyon

Panel yerleşiminde, Haliç Köprüsü'nün Ayvansaray tarafındaki $14.00\ m^2$'lik alan için optimizasyon yapılmıştır. Panellerin azimut açısı ve eğim açısı, yıllık enerji üretimini maksimize edecek şekilde hesaplanmıştır.

Panel Sayısı ve Güç Hesabı

Sistemin boyutlandırılmasında, günlük enerji ihtiyacı 0.975 kilowatt-saat (kWh) olarak belirlenmiştir. Ortalama hava sıcaklığının ve gün ışığının en düşük seviye seyrettiği ocak ayı hesaplamaların yapılacağı zaman dilimi olarak seçilmiştir. Bölgenin ocak ayı verileri incelendiğinde, günlük ortalama güneşlenme süresinin 5 saat 35 dakikaya (5.583 saat) düştüğü ölçülmüştür [3]. Kullanılması planlanan fotovoltaik panellerin verim oranı %14 olarak seçilmiş ve sistemde oluşabilecek ışınım kayıpları (Monthly Irradiance Loss) %20 olarak öngörülmüştür. İstanbul'un ocak ayı ortalama güneş ışınımı değeri yaklaşık 1.8-2.2 kWh/m²/gün olarak ölçülmektedir. Sistem tasarımında toplam kayıplar değerlendirilirken, %20'lik ışınım kaybının yanı sıra, kablo kayıpları ve inverter kayıpları gibi sistem kayıpları da göz önünde bulundurulmuş ve bu değer yaklaşık %10 olarak hesaplanmıştır. Böylece sistemin toplam kayıp oranı %30 olarak belirlenmiştir.

Panel gücü hesaplamasında, günlük enerji ihtiyacı, güneşlenme süresi, toplam kayıp oranı ve panel verimi değerleri kullanılmıştır. Hesaplama formülü şu şekilde uygulanmıştır:

$$\text{Gerekli Güç} = \frac{(\text{Günlükenerji ihtiyacı} \times 1000)}{(\text{Güneşlenme süresi} \times (1 - \text{Toplam kayıp}) \times \text{Panel verimi})}$$

$$= \frac{(0.975 \times 1000)}{(5'35'' \times 0.7 \times 0.14)} = \frac{975}{0.547} \approx 1783 \text{ Watt peak (Wp)}$$

Bu hesaplamalar ışığında, sistem için yaklaşık 2 kWp kurulu güce sahip bir tasarım önerilmektedir. Bu güç değerine ulaşmak için 330W gücünde 6-7 adet fotovoltaik panel kullanılması gerekmektedir. Panel başına yaklaşık 2 m² alan ihtiyacı göz önüne alındığında, toplam kurulum için 12-14 m² montaj alanı gerekmektedir.

Sistemin optimum performansı için panel eğim açısının Türkiye için yaklaşık 30-32° olması ve panellerin güney yönüne konumlandırılması önerilmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki sistemin gerçek performansı; hava koşulları, panel yönü ve eğimi, gölgelenme etkileri, ortam sıcaklığı ve kullanılan sistem bileşenlerinin kalitesi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Sistem Entegrasyonu

Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında, depolama ünitelerinin güvenli ve verimli çalışması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, günlük 975 Watt-saat enerji ihtiyacı olan bir sistem için yüksek güvenlikli batarya depolama ünitesi tasarlanmıştır. Sistem tasarımında, iki günlük yedekleme kapasitesinin yanı sıra %30'luk ek kapasite emniyet faktörü ve 1.2867 sıcaklık emniyet katsayısı dikkate alınmıştır. Temel batarya kapasitesi hesaplamaları, günlük enerji tüketimi ve yedekleme süresi baz alınarak gerçekleştirilmiştir. İki günlük toplam enerji ihtiyacı olan 1.95 kWh değeri, %50 deşarj derinliği (DoD) ve %85 sistem verimi göz önüne

alınarak hesaplanmış ve 4.59 kWh temel kapasite değeri elde edilmiştir. Bu değer, belirlenen kapasite ve sıcaklık emniyet faktörleri ile çarpılarak nihai batarya kapasitesi 7.7 kWh olarak belirlenmiştir. Sistem tasarımında 48V gerilim seviyesi tercih edilmiş olup, hesaplanan 160 Ah kapasite ihtiyacını karşılamak üzere üç adet 48V 100Ah lityum batarya paralel bağlantı ile kullanılmıştır. Bu konfigürasyon, toplam 14.4 kWh teorik kapasite sunarak, hesaplanan 7.7 kWh gereksinimini güvenli bir marjla karşılamaktadır. Artan batarya kapasitesi nedeniyle, şarj kontrol sistemi 48V 80A MPPT kontrolör olarak güncellenmiştir.

Sistemin güvenliği için kapsamlı bir batarya yönetim sistemi (BMS) entegre edilmiştir. Her bir batarya için ayrı BMS ünitesi, sıcaklık sensörleri, akım-gerilim koruması ve hücre dengeleme sistemleri kullanılmıştır. Sıcaklık kontrolü için aktif soğutma fanları ve otomatik kesme sistemleri tasarıma dahil edilmiştir. Bataryalar, IP65 koruma sınıfında muhafazalar içerisine yerleştirilmiş ve yangın söndürme sistemi ile desteklenmiştir.

Sistemin performans beklentileri mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Yaz aylarında %85-100 batarya doluluk oranı ve günlük 6 kWh efektif kapasite kullanımı öngörülürken, kış aylarında bu değerler sırasıyla %60-80 doluluk ve 4 kWh efektif kullanım olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, yaz aylarında yaklaşık 2.5 gün, kış aylarında ise 2 günlük yedekleme süresini garanti etmektedir. Maliyet analizi açısından değerlendirildiğinde, yüksek güvenlik standartları ve emniyet faktörleri nedeniyle toplam sistem maliyeti 185.000 TL olarak hesaplanmıştır. Bu maliyet artışına rağmen, sistem güvenliği ve uzun vadeli performans açısından sağlanan avantajlar, yatırımın sürdürülebilirliğini desteklemektedir.

Tablo 15: Maliyet Analizi

Kullanılacak Malzemenin Cinsi		Malzeme Miktarı	Birim Maliyet Fiyatı	Maliyet
PV Paneller	330W panel (Toplam 1980W) Her panel yaklaşık 1.6 m² Toplam alan ihtiyacı: ~10 m²	6 Adet	~4000 TL	24.000 TL
Batarya Sistemi	48V sistem gerilimi için - Batarya kapasitesi: 7700Wh / 48V = 160 Ah - Lityum batarya (paralel bağlı) 3 adet 48V 100Ah Lityum batarya (paralel bağlı)	3 Adet	~35.000 TL	105.000 TL
Solar Şarj Kontrolörü	Panel gücü: 2000W Panel açık devre gerilimi: ~40V MPPT şarj kontrolörü: 48V 80A	1 Adet	20.000 TL	20.000 TL
Yardımcı Ekipmanlar	Montaj Sistemleri Kablolama ve Koruma Bağlantı Elemanları	1 Adet	8.000 TL+ 6.000 TL+ 4.000 TL	18.000 TL
İşçilik ve Kurulum	İşçilik ve kurulum giderleri	1 Adet	18.000 TL	18.000 TL
				Toplam 185.000 TL

Sonuç

Bu çalışmada, günlük enerji ihtiyacı 975 Watt-saat olan off-grid fotovoltaik sistem için kapsamlı bir tasarım ve analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalar ve analizler sonucunda, sistemin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, sistemin iki günlük yedekleme kapasitesi ile çalışması için gerekli olan batarya grubu ve güneş paneli boyutlandırması başarıyla tamamlanmıştır. Sistem tasarımında, İstanbul'un iklim koşulları ve coğrafi konumu göz önünde

bulundurularak, optimal bileşen seçimi yapılmıştır. Altı adet 330W, 40V güneş paneli ve üç adet 48V, 100 Ah derin döngülü bataryanın entegrasyonu ile oluşturulan sistem, en kötü hava koşullarında bile kesintisiz enerji sağlama kapasitesine sahiptir. Sistem performansının optimize edilmesi için MPPT şarj kontrol ünitesi kullanılmış ve gerekli koruma önlemleri alınmıştır.

Maliyet analizi sonuçları, sistemin kurulum maliyetinin yaklaşık 185.000 TL olduğunu göstermiştir. Bu maliyet, benzer kapasitedeki sistemlerle karşılaştırıldığında rekabetçi bir seviyededir. Özellikle, son 15 yılda güneş enerjisi sistemlerinin kurulum maliyetlerinde gözlemlenen düşüş, bu tür sistemlerin yaygınlaşması açısından umut vericidir. Bununla birlikte, maliyet optimizasyonu için şu öneriler geliştirilmiştir:

- Panel verimliliklerinin artırılması için yeni nesil fotovoltaik teknolojilerin araştırılması
- Sistem bileşenlerinin yerel üretiminin teşvik edilmesi ile maliyetlerin düşürülmesi

Gelecekteki iyileştirmeler için yapılan değerlendirmeler sonucunda, aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

1. Akıllı enerji yönetim sistemlerinin entegrasyonu ile sistem verimliliğinin artırılması
2. Uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinin geliştirilmesi
3. Hibrit enerji depolama sistemlerinin araştırılması
4. Güneş takip sistemlerinin maliyet-fayda analizinin yapılması

Bu çalışmanın sonuçları, benzer off-grid güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve uygulaması için bir referans oluşturmaktadır. Özellikle şebeke elektriğinin ulaşamadığı veya kesintili olduğu bölgelerde, sürdürülebilir enerji çözümleri için önemli bir kaynak teşkil etmektedir. Gelecek çalışmalarda, farklı iklim koşulları ve uygulama alanları için sistem optimizasyonunun

yapılması ve yeni teknolojilerin entegrasyonu konularının araştırılması önerilmektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen sistem tasarımı ve metodolojisi, teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır. Güneş enerjisi teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ve maliyetlerdeki düşüş trendi, bu tür sistemlerin yaygınlaşması için olumlu bir gösterge oluşturmaktadır. Bununla birlikte, sistem performansının sürekli iyileştirilmesi ve maliyetlerin optimize edilmesi için araştırma ve geliştirme çalışmalarının devam ettirilmesi önem taşımaktadır.

Referanslar

1- Li S., Zhang T., Liu X. and Liu X (2023). A Battery Capacity Configuration Method of a Photovoltaic and Battery System Applied in a Building Complex for Increased Self-Sufficiency and Self-Consumption, Energies 2023, 16, 2190. https://doi.org/10.3390/en16052190

2- Li J., Zhang Z., Shen B., Gao Z., Ma D., Yue P., Pan J. (2020). The capacity allocation method of photovoltaic and energy storage hybrid system considering the whole life cycle, Journal of Cleaner Production Volume 275, 1 December 2020, 122902. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122902 0959-6526/© 2020

3-Meteoroloji Genel Müdürlüğü (1950-2023) İstanbul ili ortalama sıcaklık istatistikleri (15/09/2024 https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISTANBUL adresinden ulaşılmıştır).

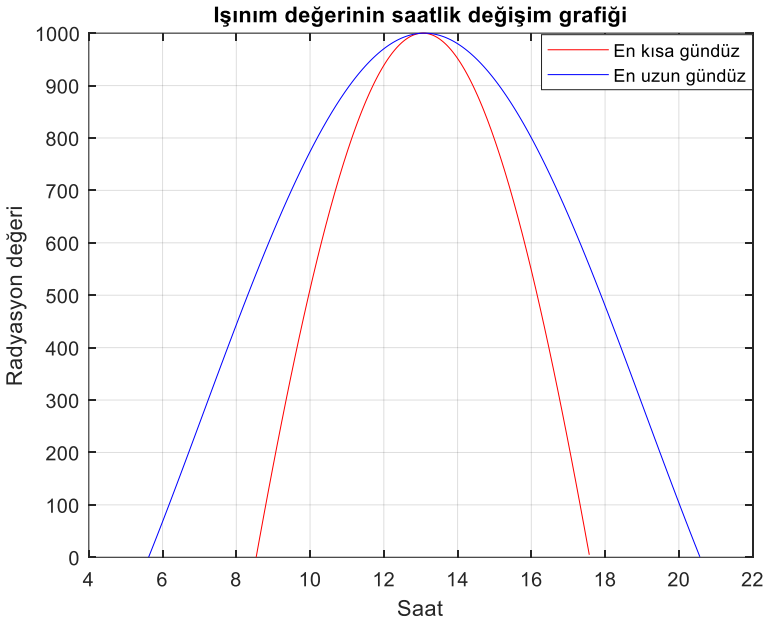
4-Meteoroloji Genel Müdürlüğü (1991-2020) İstanbul ili ortalama güneşlenme süresi 1991-2020 (15/09/2024 tarihinde https://www.mgm.gov.tr/kurumici/istanbul-guneslenme-suresi.aspx?l=mv adresinden ulaşılmıştır).

5- Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Enerji Departmanı (NREL) tarafından hazırlanan Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği ile ilgili web-sitesi (15/09/2024

https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts_error_geocode.php?view=location adresinden ulaşılmıştır).

Ekler

İstanbul ilinin en kısa gündüz ve en uzun gündüz değerlerine ait radyasyon (ışınım) değerlerinin değişim grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Aynı tarihler için güneşin doğumu ve güneşin batmasına ait saat değerleri Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 8 *En uzun gündüz ve geceye için güneşin doğması ve batması*

Tablo 16 *En uzun gündüz ve geceye için güneşin doğması ve batması*

Tarih	Enlem	Boylam	Güneşin Doğması	Güneş Batması
21/Aralık/2024	41.04137° Kuzey enlemi (N)	28.94014° Doğu boylamı	8:32	17:35
21/Haziran 2024	41.04137° Kuzey enlemi (N)	28.94014° Doğu boylamı	5:37	20:34

BÖLÜM X

Tarımda Kullanılan Güneş Enerjisi Uygulamaları

Yasin Yücel[1]
Ayşe ÇİÇEK[2]
Muhsin Uğur DOĞAN[3]

Giriş

Enerji, fiziksel sistemlerin iş yapma kapasitesini belirleyen bir durum fonksiyonu olarak tanımlanır. Modern topluluklar, enerjiyi farklı biçimlere dönüştürme becerisi sayesinde gelişmiş ve medeniyet seviyesine ulaşmıştır. Enerji kavramı, kesintiler ve savaşlar gibi olumsuz durumlarla birlikte, aynı zamanda gelişim, bolluk ve refah gibi olumlu çağrışımlarla da ilişkilidir. Toplumların ilerlemesi, enerjinin etkin bir şekilde kullanılması ve dönüştürülmesi ile doğrudan bağlantılıdır (Tiwari & Mishra, 2012) .

Artan dünya nüfusu, küreselleşme ve gelişen sanayi, tarım ürünleri ve enerji talebini beraber artırmaktadır. Dünya nüfusunun 7 milyarı geçmesi ve Alman Dünya Nüfusu Vakfı'nın (DSW) 2050 yılı

[1] Yasin YÜCEL Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, Kastamonu İl Koordinatörlüğü, yasin.yucel@tkdk.gov.tr
[2] Dr., Öğr. Üyesi Ayşe ÇİÇEK Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu Teknik Bilimler MYOi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, BOLU, Orcid: 0000-0002-9470-5196, cicekayse@ibu.edu.tr
[3] Dr., Öğr. Üyesi Muhsin Uğur DOĞAN Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu Teknik Bilimler MYOi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, BOLU, Orcid: 0000-0001-7341-1714, muhsinugurdogan@ibu.edu.tr

için 9 milyar nüfus tahmini, bilim insanlarını, hükümetleri ve politika yapıcılarını artan gıda ihtiyacını karşılama ve hastalıklar ile açlıkla mücadele etme konusunda tarım sektöründe ve doğal kaynakların kullanımında alternatif yöntemlere yönlendirmektedir (Karaca, 2013).

Enerji, tarım sektörünün gelişiminde hayati bir öneme sahiptir. Tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi, işlenmesi, taşınması ve depolanması gibi süreçlerde enerji kullanılmaktadır. Bu süreçlerde insan gücü, hayvan gücü ve makineler gibi farklı enerji kaynaklarından faydalanılır. Özellikle sanayi devriminden sonra, tarımda uygulanan teknolojiler nedeniyle enerji tüketimi önemli ölçüde artmıştır. Tarımda kullanılan makineler, fosil yakıtlar gibi önemli enerji kaynaklarının tüketimini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, tarımda enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve enerji kullanımının incelenmesi, hem geleneksel hem de modern yöntemlerin birleştiği tarımsal faaliyetler için oldukça önemlidir (Kapçak & ark., 2023).

Neolitik Çağ'dan günümüze kadar tarımda kullanılan makineleri ayrıntılı bir şekilde inceleyecek olursak insan tarihinin her dönemde tarım faaliyetleri için enerjiye ihtiyaç duyduğunu göreceğiz.

Neolitik Çağ

Neolitik Çağ, yaklaşık 10.000 yıl önce tarımın başlamasıyla karakterize edilen bir dönemdir. Tarımın ilk kez ortaya çıktığı bu dönemde tarım aletleri oldukça basitti. İnsanlar, avcılıktan tarıma geçiş yaparak yerleşik hayata geçmişlerdir. Bu dönemde insanlar, yerleşik hayata geçerek tarım yapmaya başlamış ve tarımsal ürünleri işlemek için çeşitli aletler geliştirmiştir.

Tırmık: Toprağı düzleştirmek ve ekimden sonra bitki kalıntılarını temizlemek için kullanılan ilkel bir araçtır. Tarımın başlangıcında verimliliği artırmaya yardımcı olmuştur. Tarım işçileri, tırmığı elleriyle veya vücut kuvvetiyle iterek toprak yüzeyini düzeltir veya bitki kalıntılarını toplarlardı. Zamanla, tırmıkların daha

verimli bir şekilde kullanılabilmesi için hayvanlar devreye girmiştir. Özellikle at, öküz veya katır gibi büyük hayvanlar, tırmığı çekmek için kullanılmıştır. Bu yöntem, toprak işleme sürecini hızlandırmış ve daha geniş alanların işlenmesine olanak tanımıştır.

Antik Dönem

Antik dönemde tarım uygulamaları ve aletleri zamanla gelişerek daha karmaşık hale gelmiştir. Antik dönemde tarımda kullanılan aletler genellikle basit ama etkili olmuştur. Sabanlar, oraklar ve diğer el aletleri, tarım işlerini kolaylaştırmıştır. Bu dönemde de tarım aletleri insan gücü ve hayvan gücü ile kullanılmıştır.

Saban: M.Ö. 4000 civarında ortaya çıkan saban, tarımda devrim yaratan bir buluş oldu. İlk başta ahşap, daha sonra metalden yapılan sabanlar, hayvan gücüyle çekiliyordu. Bu alet, toprağı daha etkili bir şekilde işleyerek ürün verimliliğini artırmıştır.

Sulama Sistemleri: Antik Mısır ve Mezopotamya gibi uygarlıklar, sulama kanalları ve aletleri geliştirerek tarım arazilerini sulamayı başardılar. Bu tür sulama, kurak bölgelerde bile tarım yapılmasına olanak sağladı.

Orta Çağ

Orta Çağ'da tarım aletlerinin gelişimi devam etti.

Çift Saban: Bu dönemde, çift sabanlar daha derin ve verimli toprağı işlemek için geliştirilmiştir. Çift sabanlar, daha fazla toprak yüzeyini işleyerek verimi artırmıştır.

Rüzgâr ve Su Değirmenleri: Tahıl öğütme işlemlerini mekanize eden bu makineler, büyük miktarda tahılı kısa sürede öğütme yeteneği sağlamıştır. Rüzgâr ve su enerjisi kullanarak çalışan bu makineler akarsu ve rüzgâr enerjisinin tarihte ilk kullanıldığı alan olarak ta bilinmektedir.

Sanayi Devrimi

Sanayi Devrimi, tarımda büyük bir dönüşüm yarattı ve birçok yeni alet ve makine geliştirilmesine olanak sağladı. Bu dönem tarımda mekanizasyonun hızlandığı bir dönem oldu. Bunlardan bazıları şunlardır;

Makaralı Saban: Metalin yaygınlaşmasıyla birlikte daha dayanıklı ve verimli sabanlar üretildi. Bu sabanlar, daha büyük arazilerin işlenmesine olanak tanıdı ve tarımda devrim yarattı. Makaralı saban, bir traktör veya başka bir güç kaynağı tarafından tahrik edilir. Traktör, sabanın ön kısmına bağlanır. Sabanın üzerinde yer alan makaralar, toprakla temas ettiğinde döner. Bu makaralar, sabanın toprağı kesip çiğnemesini sağlar.

Traktör: Sanayi devrimi sonrası gelişen teknoloji, buhar makinelerinin tarım alanında da kullanılmaya başlaması geleneksel el iş gücüne bağımlılığı azaltmıştır. İlk traktör, 19. yüzyılın ortalarında icat edilmiştir. 1830'larda, İngiliz mühendis ve mucit Benjamin Holt, buharlı traktörler üzerinde çalışmalar yapmaya başlamıştır. Modern anlamda ilk benzinli traktör 1892 yılında, John Froelich tarafından geliştirilmiştir. Froelich, bu traktörü Iowa'da tarımda kullanmak üzere tasarlamıştır. Traktörler hayvan gücünün yerini alarak, daha büyük alanların işlenmesine olanak tanımıştır. Traktörler, çeşitli aletlerle birleştirilerek çok yönlü bir tarım aracı haline geldi.

Tahıl Biçme Makineleri: 19. yüzyılda tahıl biçme makineleri, hasat işlemini hızlandırmak için geliştirildi. Bu makineler, çiftçilerin iş yükünü azaltarak, hasat süresini kısalttı.

Biçerdöver: Bu makine, tahıl hasadını ve ayıklamayı tek bir işlemde yapabilme yeteneğine sahiptir. Biçerdöverler, verimliliği artırarak tarım iş gücünü önemli ölçüde azaltmıştır.

Fidan Dikim Makineleri: Fidanların hızlı ve düzenli bir şekilde dikilmesine olanak tanıyan makineler, tarımda otomasyonu sağladı. Bu makineler, dikim işlemlerini daha hızlı ve verimli hale getirdi.

Gübreleme ve İlaçlama Makineleri: Bu makineler, gübre ve ilaçların tarım arazilerine eşit bir şekilde dağılmasını sağladı. Böylece, tarımsal verimlilik artırıldı.

Günümüz

Günümüzde tarımda teknoloji daha da ilerledi ve birçok yeni makine ve sistem geliştirildi.

Tarım Robotları: Günümüzde tarımda robot teknolojisi kullanılmaktadır. Otomatik sistemler, bitki sağlığını izleme, hasat yapma ve zararlıları kontrol etme gibi işlevleri yerine getirmektedir. Bu robotlar, iş gücünü azaltarak verimi artırmaktadır.

Akıllı Sulama Sistemleri: Akıllı sulama sistemleri, tarımda su kullanımını optimize etmek için geliştirilmiş, teknoloji tabanlı çözümlerdir. Bu sistemler, bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarını doğru bir şekilde belirlemek ve sulama işlemlerini etkin bir şekilde yönetmek amacıyla çeşitli sensörler, yazılımlar ve otomasyon teknolojileri kullanır. Akıllı sulama sistemleri sayesinde su tasarrufu ve zaman tasarrufu sağlanmış olur ve verimlilik artışı sağlanmış olur.

Dronlar: Dronlar, tarımda giderek daha fazla kullanılan yenilikçi araçlardır. Tarım uygulamalarına sağladıkları faydalar, verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek konusunda önemli avantajlar sunmaktadır. Dronlar, tarım arazilerinin yüksek çözünürlüklü fotoğraflarını çekerek, bitki sağlığı, büyüme durumu ve su ihtiyaçları hakkında bilgi sağlayabilir ve bitkilerin fotosentez etkinliğini izlemek için NDVI haritaları oluşturabilir. NDVI haritaları, bitkilerin sağlık durumunu değerlendirmeye yardımcı olmaktadır.

Tarımın sürdürülebilirliği için enerji kaynaklarının devamlılığı ve tarımsal ürünlerin düşük maliyetle üretilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Ancak enerji ile ilgili birçok faaliyet çevreye olumsuz etkilerde bulunmakta ve küresel sorunlara yol açmaktadır. Günümüzde iklim değişikliği, önemli bir çevresel sorun olarak öne çıkmaktadır. Küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının çoğu, enerji, tarım, sanayi ve hizmet sektörlerinde fosil yakıtların

kullanımından kaynaklanmaktadır. Büyük sanayi tesislerinin bacalarından çıkan kirli dumanlar, insan sağlığı ve iklim üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Endüstriyel atıkların çevreyi kirletmesi, doğal dengenin giderek bozulmasına neden olmaktadır (Torunoğlu, 2015).

Fosil enerji kaynakları sürdürülebilirlik açısından yetersiz kalmakta ve çevreye olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Enerji üretiminin sürdürülebilir olması için yenilenebilir kaynaklardan faydalanılması gerekmektedir. Günümüzde enerjinin yaklaşık %81'i fosil kaynaklardan elde edilmektedir; yenilenebilir enerjinin oranı ise %13, nükleer enerjinin payı %5,7'dir. Son on yılda sera gazı emisyonları %2,2 oranında artış göstermiştir. Bu durum, çevrede zararlı sera gazlarının miktarının hızla yükseldiğini ve iklim koşullarının daha da kötüleştiğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş enerjisi, fotovoltaik elektrik üretimi açısından, gelecekteki enerji krizlerini önlemek için en yüksek potansiyele sahip seçeneklerden biridir. Temiz bir enerji kaynağı olan fotovoltaik sistemler, özellikle güneş ışığının bol olduğu bölgelerde önemli bir fırsat sunmaktadır. (Neto & ark., 2010)

Enerji kaynakları, iki ana kategoride ele alınabilir: kaynak niteliği ve dönüştürülebilirlik açısından. Kaynak niteliğine göre, enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki gruba ayrılır. Yenilenebilir enerji kaynakları (örneğin güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal) sürekli olarak kendini yenileyen doğal kaynaklardan elde edilirken, yenilenemez enerji kaynakları (petrol, doğalgaz, kömür) sınırlı olup genellikle kirli enerji kaynakları olarak kabul edilir (Panwar & ark., 2011).

Tablo 1: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

Tablo 1'de de görüldüğü üzere, dönüştürülebilirlik açısından enerji kaynakları, birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Birincil enerji kaynakları, herhangi bir form değişikliğine uğramamış doğrudan kullanılan kaynaklardır (örneğin ham petrol, taş kömürü, güneş, rüzgâr). İkincil enerji kaynakları ise birincil kaynakların işlenmesiyle elde edilen ve enerji taşıyıcıları olarak da adlandırılan kaynaklardır (örneğin elektrik, hidrojen). İkincil enerji kaynakları, enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında daha yaygın bir şekilde tercih edilir.

Enerjinin Tarihçesi

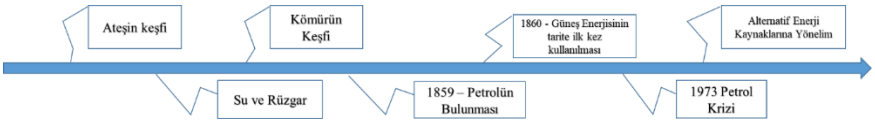
Enerji, tarih boyunca ilk olarak ateşin keşfiyle gündeme gelmiştir. İnsanlar, ateşi başlangıçta hayvanlardan korunmak için kullanırken, yerleşik hayata geçtiklerinde bu kaynağı ısınma ve yemek pişirme için de değerlendirmeye başlamışlardır. Zamanla su ve rüzgârın gücünü keşfederek, bu doğal enerjileri gemiler ve yel değirmenleri gibi yapılar aracılığıyla faydalı hale getirmişlerdir.

Tarihsel açıdan bakıldığında kömürün ilk kez Çin'de bulunduğu görülmektedir. On sekizinci yüzyılda kömürün sanayideki kullanımı ve değerli bir maden olarak kabul edilmesi başlamıştır. Endüstri devrimi, ülkelerin enerji taleplerini artırmış ve kömüre olan ihtiyaç da artmıştır. Avrupa'da kömür ticareti yapan ilk ülkeler arasında Hollanda ve İngiltere bulunmaktadır. 1804 yılında ilk buharlı lokomotifin ve 1807'de ilk buharlı geminin kullanıma girmesi, enerji ihtiyacını daha da artırmış ve ülkeleri ucuz enerji arayışına yöneltmiştir. Yapılan araştırmalar, jeotermal, güneş ve hidrolik gibi temiz enerji kaynaklarının daha ekonomik ve sürdürülebilir alternatifler sunduğunu göstermektedir (Karagöl & ark., 2017).

Güneş enerjisi, tarihsel olarak ilk kez on yedinci yüzyılda bitki yetiştirmek amacıyla cam örtülü seralarda kullanılmıştır. 1839 yılında Edmond Becquerel, güneş ışığının enerji üretebileceğini keşfetmiştir. 1860'ta Fransa'da ilk güneş enerjisi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Jeotermal enerji üretimi ise on dokuzuncu yüzyılda başlamıştır (Adalıoglu, 2015).

Amerika'nın Pensilvanya eyaletinde petrolün bulunması, içten yanmalı motor ve ilk otomobilin icadı, Ford'un seri üretime geçmesi ve Wright kardeşlerin uçma başarısı gibi sanayi gelişmeleri, enerjiye olan bağımlılığı artırmıştır. Bu dönemde petrole dayalı bir ekonomi oluşmuş ve enerji talebi hızla artmıştır. Artan enerji tüketimi, fosil yakıtların çevreye verdiği zararları da gün yüzüne çıkarmıştır. Ayrıca, petrol fiyatlarının ülkelerin politikalarına göre dalgalanması, bilim insanlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına

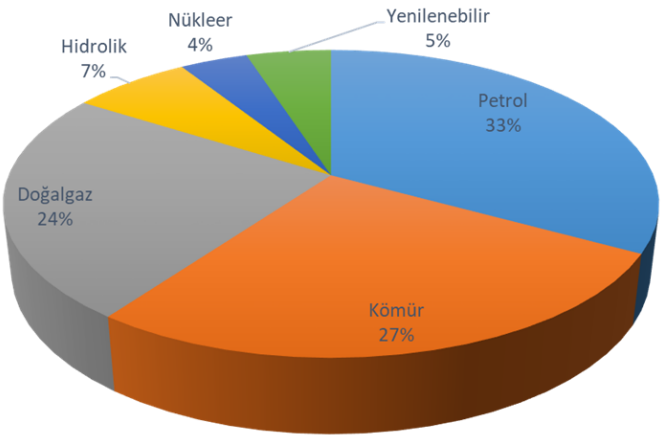
yönlendirmiştir. Güneş, rüzgâr ve hidrolik gibi yenilenebilir enerji üretim çalışmaları hız kazanmıştır (Karagöl & Kavaz, 2017).



Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Tarihsel Gelişimi

Dünyada Enerjinin Durumu

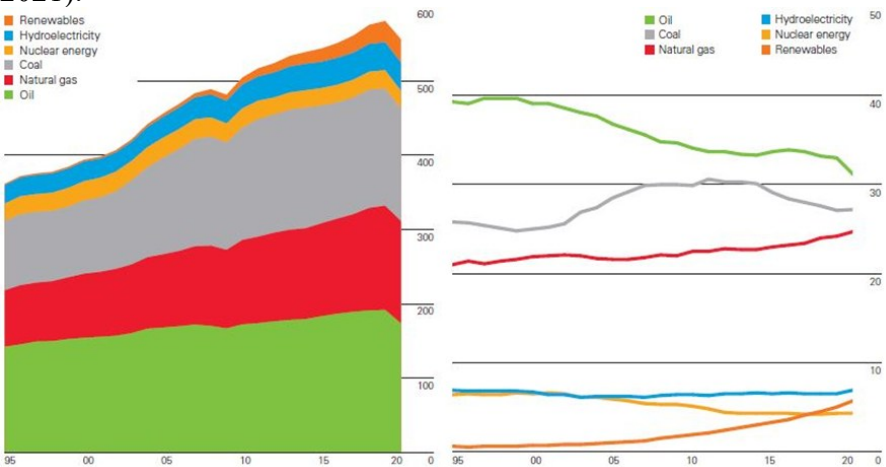
Grafik 1'de yer alan verilere göre, dünya genelinde birincil enerji tüketiminde petrolün payı %33, doğalgaz %24, kömür %27, nükleer enerji %4 ve yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı ise %5'tir (Newell & Raimi, 2020).



Grafik 1: Kaynaklara Göre Birincil Enerji Tüketimi

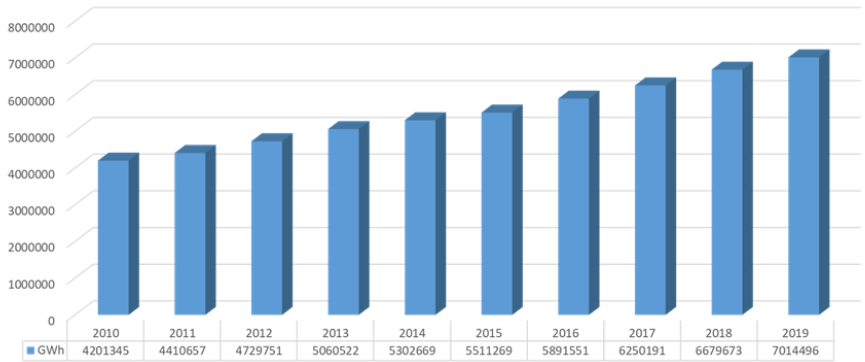
BP'nin 2021 Dünya Enerji İstatistiksel İncelenmesi raporuna göre, 2020 yılına kıyasla birincil enerji tüketimi %4,5 oranında bir azalma gösterdi ve bu durum, 2009'dan bu yana enerji tüketiminde

meydana gelen ilk düşüş oldu. Bu azalışın büyük kısmı petrol kaynaklı. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji payı %9,7'ye, hidrolik enerji payı ise %1 oranında arttı (BP Energy Outlook, 2021).



Grafik 2: Yıllara Göre Birincil Enerji Tüketimi
(BP Energy Outlook, 2021)

Grafik 2'de gösterildiği üzere petrol, %31,2 ile en yüksek paya sahip olmaya devam etse de, bu alandaki düşüş eğilimi dikkat çekiyor. Yenilenebilir enerji ise %5,7 ile rekor düzeye ulaşarak nükleer enerjiyi geride bıraktı. 2010 yılından itibaren yenilenebilir enerjiye olan ilginin hızla arttığı, hidrolik enerji kapasitesinin sabit kaldığı ve nükleer enerjinin ise azaldığı gözlemleniyor. Gelecek on yıl içinde yenilenebilir enerjinin payının daha da yükselebileceği öngörülüyor.



Grafik 3: Dünya'da Yıllara Göre Toplam Yenilenebilir Enerjiden Üretilen Elektrik Enerjisi

Grafik 3'te, dünya genelinde yıllara göre yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarları GWh cinsinden gösterilmektedir. İncelemeler sonucunda, yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrik miktarının her yıl artış göstererek 2019 yılında 7.014.496 GWh'e ulaştığı görülmektedir.

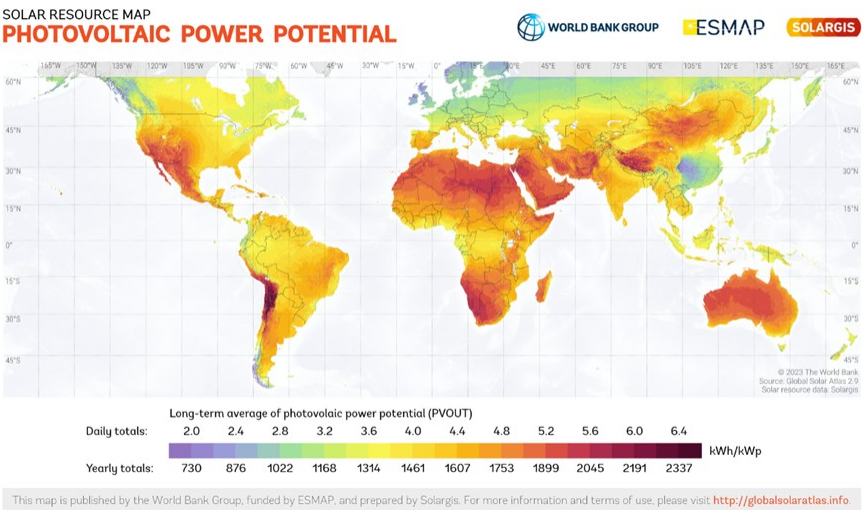
Güneş Enerjisi

Güneş çekirdeğinde gerçekleşen süreç, füzyon reaksiyonu olarak adlandırılır ve güneş, bu reaksiyonun sürekli sürdüğü bir füzyon reaktörü olarak kabul edilebilir. Güneş çekirdeğinde, 1 helyum atomu 4 hidrojen atomunun birleşmesiyle oluşur. Bu işlem sonucunda 0,029 birim ağırlık, Einstein'ın madde-enerji denklemi uyarınca enerjiye dönüşmektedir. Güneş enerjisi, bu açığa çıkan enerji için kullanılan terimdir (Duffie & Beckman 2013).

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü, fotovoltaik paneller aracılığıyla sağlanır. Bu paneller, elektrik üretimi için kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği yarı iletken malzemelerden, özellikle silikon gibi materyallerden yapılmıştır. Kalınlıkları mikron mertebesinde olan bu hücrelerin genellikle kare, dikdörtgen veya dairesel şekilleri vardır ve alanları yaklaşık 100 cm²'dir. Tek bir PV hücresinin ürettiği enerji oldukça düşüktür, bu nedenle hücreler bir

modül oluşturmak için seri veya paralel bağlantılarla bir araya getirilir ve modüller de bir panel oluşturmak üzere birleştirilir (Akarslan & Hocaoğlu 2017) .

Günümüzde fotovoltaik, en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Önümüzdeki yıllarda elektrik üretimindeki etkisini devam ettirmesi beklenmektedir. Ayrıca, fotovoltaik panellerin maliyetlerindeki azalma ve hükümetlerin destekleyici politikaları sayesinde, tüketicilerin bu sistemleri tercih etme oranının artmasıyla en yüksek büyüme potansiyeline sahip sistemlerden biri olması öngörülmektedir.



Şekil 2: Yıllık Güneş Enerjisi Potansiyeli
(https://globalsolaratlas.info/world)

Şekil 2’de, Dünya'nın güneş enerjisi potansiyeli yer almaktadır. Grafiğe göre, güneş enerjisi potansiyeli en düşük bölgelerde 730 kWh/kWp, en yüksek bölgelerde ise 2337 kWh/kWp olarak tespit edilmiştir.

IRENA (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı), 2023 tarihli World Energy Transitions Outlook raporunda, 2030 yılı için 2840 GW ve 2050 yılı için ise 8519 GW güneş enerjisi kapasitesine

ulaşılacağını öngörmektedir. Bu tahminler, önümüzdeki on yıl içinde toplam kurulu kapasitenin altı kat artacağı, sonrasında ise on sekiz katına çıkacağı anlamına gelmektedir. Böylelikle, 2050 yılında güneş enerjisi kurulu kapasitesi, rüzgar enerjisi ile birlikte en büyük iki enerji kaynağından biri olacaktır.

Fotovoltaik

Fotovoltaik terimi, yakın temas halindeki iki farklı malzemenin ışık veya başka bir tür enerjiye maruz kaldığında elektrik voltajı üretmesini ifade eder. Bu tanıma göre, fotovoltaik hücreler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlar olarak tanımlanabilir. Ancak, güneş ışınımının tamamı elektrik enerjisine çevrilemez. Fotovoltaik paneller, güneş enerjisinin bir kısmını elektrik enerjisine çevirirken, bir kısmını yansıtır ve geri kalan kısmı atık ısı olarak depolanır; bu durum panelin sıcaklığını artırır. Panelin türüne bağlı olarak, fotovoltaik panele ulaşan güneş ışınımının yaklaşık %6-20'si elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir (Marini & ark., 2018).

Güneş panellerinin ısınması, verimlilik üzerinde olumsuz bir etki yaratır. Bu nedenle, fotovoltaik panel sıcaklığının mümkün olduğunca düşük tutulması, panellerin verimliliğinin korunması açısından önemlidir. Fotovoltaik panel sıcaklığını düşürmeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmakta ve uluslararası bilimsel ile endüstriyel topluluklar, verimliliği artırmak için bu konuda çaba sarf etmektedir (Bayod, 2009).

Bilinen ilk fotovoltaik uygulama, 1883 yılında Charles Fritts tarafından gerçekleştirilmiştir. İnce bir altın folyo tabakası üzerine selenyum levhası yerleştirilen bu fotovoltaik hücrenin elektrik verimliliği %1 olarak ölçülmüştür. İlk modelin verimlilik açısından yetersiz ve ekonomik açıdan elverişsiz olduğu anlaşılmıştır. Hücrelerin yüksek maliyeti, verimsizlik ve atık malzeme miktarının fazlalığı, fotovoltaik panellerin 1950'li yıllara kadar ticari yatırım kapsamı dışında kalmasına neden olmuştur. 1954 yılında Calvin Fuller, %6 verimliliğe sahip bir fotovoltaik hücre üretmiştir. Fuller'in ürettiği bu hücre, literatürde kristal-silikon fotovoltaik

hücre olarak bilinmektedir. Kristal-silikon fotovoltaik hücrenin elektrik üretim maliyeti watt başına 300 dolar olmuştur. Fotovoltaik hücre teknolojisindeki bu ilerlemelere rağmen, güneş enerjisi geleneksel fosil yakıtlarla kıyaslandığında ekonomik açıdan tatmin edici değildi (Hoang; 2017). 1973 petrol krizine kadar fotovoltaik panel sektörü büyüme göstermemiştir. Ancak petrol krizinin ardından petrole olan güvenin azalmasıyla sektör hızla gelişmeye başlamıştır. Düz plaka silikon ile fotovoltaik panel verimi %25'e kadar çıkmıştır. Ayrıca, çağdaş monokristal silikon fotovoltaik hücreler laboratuvar koşullarında %46 verimliliğe ulaşmıştır. Ticari ölçekte, evsel ve endüstriyel uygulamalarda en yaygın kullanılan fotovoltaik güneş panelleri polikristalin silikon panellerdir ve bu paneller %15 ila %19 arasında bir verim sunmaktadır (Margolis & ark., 2019).

Tarım ürünlerinin üretimi, taşınması, dağıtımı, işlenmesi ve saklanması süreçlerinde yüksek miktarda enerji tüketilmektedir. Modern tarımsal üretim yöntemlerinde verimliliği artırmak amacıyla makinelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Makinelerin artışı, teknoloji kullanımı için enerji ihtiyacını da büyük ölçüde yükseltmiştir. Günümüzde tarımda alet ve makinelerin çalışmasında en önemli enerji kaynağı fosil yakıtlar olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, sürdürülebilirlik açısından bazı zorluklar yaratmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etme gerekliliğini gündeme getirmektedir. Bu çalışmada tarım ve enerji kavramlarının birbirleriyle olan ilişkileri ele alınacaktır ve tarımda enerji kullanımının yenilenebilir kaynaklardan karşılandığı uygulamalar incelenecektir.

Tarımda Güneş Enerjisi Kullanımı

Ekinci ve arkadaşları (2005), yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımda %16,45 oranında kullanıldığını belirterek, bu oranın artırılmasının çevresel sorunların çözümüne katkı sağlayacağını ifade etmektedir. Öztürk (2006), tarım sektörü için uygun olan yenilenebilir enerji kaynaklarını ve bu kaynakların etkin bir şekilde kullanılabilmesi için gereken bazı araçları açıklamıştır.

Bacak ve diğerleri (2009), küçük ölçekli enerji sistemlerinde üretilen elektriğin alım fiyatının artırılmasının, tarım sektörünün gelişimi ve yeni teknolojilerin uygulanması açısından elzem olduğunu belirtmektedir. Karaca (2013), yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasının çevresel sorunların önlenmesi ve sürdürülebilir kalkınma açısından ne denli önemli olduğunu vurgulamakta ve bu bağlamda kapsamlı bir planlama yapılması gerektiğini ifade etmektedir.

Vicdan (2015), tarımsal faaliyetlerin, yerli yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edilmesinin, fosil yakıt kullanımını azaltmak ve daha çevreci enerji türlerine geçiş sağlamak açısından büyük önem taşıdığını dile getirmektedir. Taşkın ve Vardar (2016) ise, tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğine dair çeşitli yöntemler (örneğin, güneş enerjisiyle su pompalama, jeotermal sera ısıtma) önermektedir. Bu çalışmalar, Türkiye'de tarımda yenilenebilir enerji kullanımını artırmanın hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Güneş Enerjisiyle Sera Isıtma

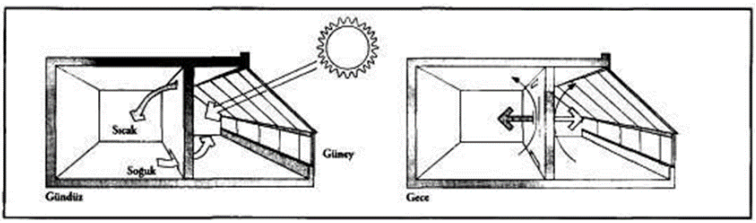
Son yıllarda, sera ısıtmasında fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş enerjisinin kullanımı giderek artan bir trend haline gelmektedir. Ülkemiz, güneş enerjisi açısından önemli bir potansiyele sahip olup, yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2623 saat olarak belirlenmiş, ayrıca ortalama toplam ışınım şiddeti 1303 kWh/m² olarak tespit edilmiştir. Bu veriler, güneş enerjisinin tarım sektöründe ısıtma ve diğer uygulamalar için etkin bir biçimde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Güneş enerjisinin bu yüksek potansiyeli, sera üretiminde enerji maliyetlerini azaltırken çevresel etkileri de azaltma fırsatı sunmaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisinin entegrasyonu, hem ekonomik sürdürülebilirlik hem de çevre koruma açısından son derece önemlidir (Gönüllü, 2009).

Seraların güneş enerjisiyle ısıtılması, iki ana kategori olan aktif ve pasif yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Bu yöntemlerin her ikisi de, güneşten gelen ışınım enerjisini toplamak, ısıya

dönüştürmek ve depolamak için gerekli unsurları içermelidir. Ayrıca, bu enerjinin ihtiyaç duyulduğunda uygun ortamda dağıtılması da önemlidir (Öztürk vd; 2010).

Sera yerleşimi, çatı açısı, kullanılan örtü malzemesinin ışık geçirme kapasitesi ve yapı malzemesinin kalınlığı gibi unsurlar, güneş ışığının en fazla miktarda seraya girmesini sağlamak amacıyla dikkatlice seçilmelidir. Bu unsurlar, seranın ısıtma etkinliğini doğrudan etkileyen önemli faktörlerdir (Alpay & Erdem, 2018).

Seralarda güneş enerjisiyle çalışan pasif ısıtma sistemleri, ısı toplama ünitesinin sera içinde yer alması veya seranın güneş ışığından maksimum enerji elde edecek şekilde tasarlanması sayesinde işler. Bu durumda, sera kendisi bir enerji toplayıcı görevi üstlenir. Gündüz saatlerinde, güneş ışığından elde edilen ısı, bir akışkan aracılığıyla ısı depolama malzemesinde birikir ve ihtiyaç duyulduğunda, özellikle gece saatlerinde geri kullanılabilir. (Öztürk, 2008).



Şekil 3: Seralarda güneş enerjili pasif ısıtma sistemi

Seraların ısıtılmasında pasif sistemlerin en önemli avantajı, doğal yöntemlerle çalışmasıdır. Bu sistemler, herhangi bir ekipman veya enerji kaynağına ihtiyaç duymaz, yapımı basit ve maliyet açısından ekonomiktir. Ancak, aktif sistemlerle karşılaştırıldığında, kontrol imkânlarının neredeyse bulunmaması önemli bir dezavantaj oluşturur (Yağcıoğlu, 2005).

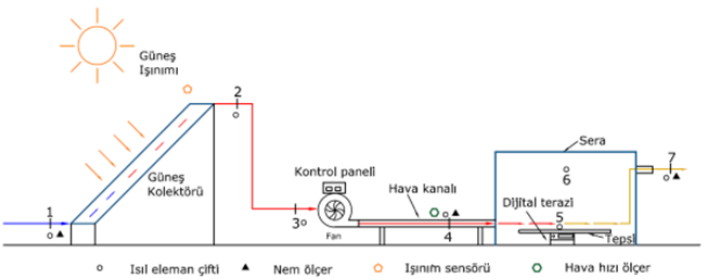
Seralarda güneş enerjili aktif ısıtma sistemleri, seradan bağımsız bir şekilde tasarlanmış ısı toplama ve depolama üniteleri kullanır. Sera örtüsünden elde edilen güneş enerjisi ile aktif

sistemdeki ısı toplama ünitesinden elde edilen ısı, uygun bir şekilde depolanarak ısı ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayabilir. Ancak, bu sistemlerin ısı toplama üniteleri geniş alan kapladığı için, başlangıç maliyetleri ve işletme giderleri yüksek olmakta, bu da ekonomik uygulanabilirliklerini önemli ölçüde sınırlamaktadır (Öztürk & ark., 2010).

Güneş enerjili aktif ısıtma sistemleri ile gece 17 ºC, gündüz ise 25 ºC iç ortam sıcaklığı sağlandığında, sera ısı ihtiyacının %40-90'ı karşılanabilmektedir. Bunun yanı sıra, bu sistemlerin kullanıldığı seralarda, geleneksel ısıtma sistemlerine göre ürün verimliliği de artış göstermektedir (Fuller & ark., 1987).

Güneş Enerjisi İle Kurutma

Kurutma, tarım ürünlerinin içerisindeki fazla suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması sürecidir. Bu işlem, ürünlerin raf ömrünü uzatmak ve besin değerlerini korumak amacıyla gerçekleştirilir. Kurutulmuş gıdalar, diğer muhafaza yöntemlerine kıyasla besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir yapı sergiler ve bu durum, onları gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik açısından değerli kılar. Büyük çaplı güneş enerjili kurutmaya olanak veren kurutucular genellikle sera tipi kurutuculardır (Garg & ark., 1998).



Şekil 4: Güneş enerji destekli sera tipi kurutma sisteminin şematik resmi

Güneş enerjisiyle yapılan kurutma, doğal kurutma yöntemlerinden sonra en ekonomik alternatif olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjili kurutma sistemlerinin doğal kurutmaya

kıyasla sağladığı belirgin avantajlar şunlardır:

Koruma: Güneş enerjisiyle kurutma sistemleri, kurutulacak ürünleri dış etkenlerden koruma kapasitesine sahiptir. Tozlanma, zararlı böcekler ve yağmur gibi dış faktörler, ürünlerin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Güneş enerjisiyle kurutma, bu tür olumsuz etkilere karşı bir koruma sağlar.

Homojen Kurutma: Bu sistemler, ürünlerin yeterli hava dolaşımı sağlanarak homojen bir biçimde kurutulmasına olanak tanır. Hava akışının düzenli bir şekilde sağlanması, kurutma işleminin eşit bir dağılım göstermesini ve dolayısıyla ürün kalitesinin artmasını sağlar.

Sıcaklık Kontrolü: Güneş enerjisiyle ısıtılan hava, ürünlerin zarar görmeyeceği en yüksek sıcaklığa kadar ısıtılabilir. Bu durum, kurutma sürecinin etkinliğini artırırken aynı zamanda ürünlerin besin değerlerinin korunmasına yardımcı olur.

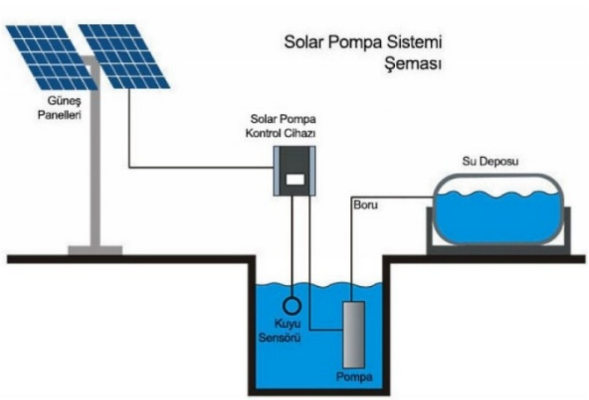
Kontrollü Hava Debisi: Güneş enerjisiyle kurutma sistemlerinde hava giriş ve çıkış debileri ile kurutma hızları kontrol edilebilir. Bu kontrol mekanizması, kurutma sürecinin optimize edilmesine ve istenilen sonuçların elde edilmesine olanak tanır (Mumba, 1998), (Scanlin, 1997).

Sonuç olarak, güneş enerjisiyle kurutma, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından önemli bir alternatif sunmaktadır. Hem ekonomik avantajları hem de ürün kalitesi üzerindeki olumlu etkileri, bu yöntemi tarımsal üretimde daha yaygın bir şekilde kullanılabilir hale getirmektedir. Güneş enerjisiyle kurutma sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, gelecekte gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir (Çakır, 2015).

Güneş Enerjisi İle Sulama

Ülkemizde tarımsal sulama genellikle elektrik, mazot veya petrol gibi geleneksel enerji kaynaklarıyla çalışan su pompalarıyla yapılmaktadır. Elektrik sağlanamayan veya elektrik çekmenin zor ve

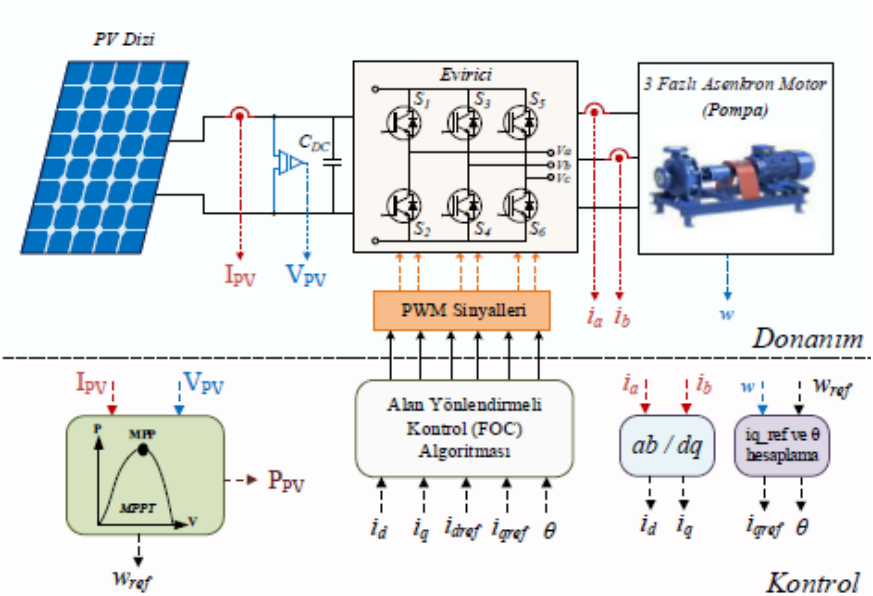
maliyetli olduğu tarım alanlarında, mazot ve petrol pompaları kullanılmaktadır. Bu tür sistemler düzenli olarak günlük bakıma ihtiyaç duyar. Güneş enerjisiyle çalışan su pompası sistemleri ise bakım gerektirmemeleri ve yeterli güneş ışığı olduğu sürece istenilen her yerde kurulabilmeleri açısından avantajlıdır. Başlangıçta yüksek kurulum maliyetleri bulunsa da, bu sistemler yakıt ve bakım gereksinimi olmadığı için kısa sürede mali açıdan kâra geçebilirler (Gencoglu, 2010).



Şekil 5: Güneş Enerjisi ile Sulama Örnek Şeması

Güneş enerjisi ile sulama sistemlerinin bileşenleri Şekil 5'te gösterildiği üzere, fotovoltaik paneller, akü sistemi, akü şarj regülatörü, inverter ve pompadır (Öztürk & Barut 2005). Fotovoltaik paneller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Genellikle silikon tabanlı yarı iletken malzemelerden üretilirler ve güneş ışığını absorbe ederek, fotonların elektronları serbest bırakmasını sağlarlar. Bu süreç, fotovoltaik etki olarak bilinir. Aküler fotovoltaik panellerden üretilen enerjiyi depo ederek

gerekli durumlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Genellikle şebeke bağlantısız sistemlerde tercih edilmektedirler. Kapasiteleri amper-saat (Ah) olarak ifade edilmektedir. Akü şarj regülatörü, şarj işlemi sırasında akünün güvenli ve verimli bir şekilde şarj edilmesini sağlamak için kullanılan bir cihazdır. Bu regülatörler, güneş panelleri veya diğer enerji kaynaklarından gelen voltaj ve akımı kontrol ederek, akünün fazla şarj olmasını veya derin deşarj olmasını önler. İnvertör, doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştüren bir cihazdır. Bu dönüşüm, elektrik enerjisinin çeşitli uygulamalarda kullanılabilmesi için gereklidir, çünkü çoğu ev aletleri ve endüstriyel ekipman AC enerji ile çalışır (Ramesh; 2018), (Eltawil & Zhao; 2013). Sulama sistemlerinde kullanılan pompalar, iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi dalgıç pompalardır. Dalgıç pompalar derin kuyulardan su çıkarmak için tasarlanmış cihazlardır. Su kaynağının altında çalışarak, suyu yukarı doğru pompalama işlevini yerine getirir. Enerji verimliliği yüksektir ve derin sulama uygulamaları için uygundur. Sulama sistemlerinde kullanılan diğer tip pompalar ise yüzey pompalardır. Yüzey pompalar sığ kuyulardan, göl ve nehirlerden su çekmek için kullanılır. Su kaynağının yüzeyinde veya yakınında konumlanır ve suyu emerek yukarı taşır. Kurulum ve bakım açısından daha kolaydır ve düşük derinlikli sulama uygulamaları için idealdir (Abdul-Razzaq & ark., 2021).



Şekil 6: Solar sulama sistemi için örnek bir modelleme

(Çayır & Özbay, 2023)

Tarımsal sulamada güneş enerjisinin entegrasyonu, işletme maliyetlerini önemli ölçüde düşürme potansiyeline sahiptir. Bu durum, fosil yakıtların dış alımına olan bağımlılığı azaltarak, yerel enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eder. Ayrıca, güneş enerjisi sistemleri, elektrik talebini dengeleyerek aşırı yüklenmelerin önüne geçer ve böylece enerji verimliliğini artırır. Çevresel açıdan bakıldığında, bu kaynakların kullanımı, sera gazı emisyonlarının azalmasına katkıda bulunarak çevre kirliliğini minimize eder. Sonuç olarak, tarımsal sulamada güneş enerjisi kullanımı sadece çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik büyümeyi teşvik ederek yeni istihdam olanakları yaratır ve yerel ekonomilerin güçlenmesine yardımcı olur. Bu bağlamda, güneş enerjisi uygulamaları, hem ekosistem sağlığı hem de ekonomik kalkınma açısından kritik bir öneme sahiptir.

Sonuç

Bu çalışma, tarım sektöründe enerji kullanımının önemini ve sürdürülebilirlik açısından taşıdığı potansiyeli vurgulamaktadır ve örnek uygulamalarla ilgili bilgi vermektedir. Tarımda enerji tüketimi, üretkenliği artırma, gıda güvenliğini sağlama ve çevresel etkileri minimize etme açısından kritik bir rol oynamaktadır. Elde edilen veriler, fosil yakıtların yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunun, hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağladığını göstermektedir.

Enerji verimliliği uygulamaları, çiftçilerin maliyetlerini azaltırken, çevresel etkileri de önemli ölçüde azaltmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerjilerden güneş enerjisinin, tarımda kullanılan enerji ihtiyacını karşılama potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. İlk yatırım maliyeti tarımda güneş enerjisi kullanımı için görülen en büyük engeldir. Bununla birlikte, enerji kullanımında dijital teknolojilerin entegrasyonu, veri analitiği ve otomasyon sistemleri, kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır.

Ayrıca, enerji politikalarının ve tarımsal uygulamaların sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Bu, hem yerel hem de küresel düzeyde enerji bağımlılığını azaltırken, tarımsal üretkenliğin artırılmasına da katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, tarımda enerji kullanımı, sürdürülebilir bir gelecek için kritik bir bileşen olarak öne çıkmakta ve bu alandaki yenilikçi yaklaşımların benimsenmesi, sektördeki dönüşümü hızlandıracaktır.

Kaynaklar

Bayod-Rújula, A. A. (2009). Future development of the electricity systems with distributed generation. *Energy*, 34(3), 377-383.

Abdul-Razzaq, I. K., Sakr, M. M. F., & Rashid, Y. G. (2021). Comparison of PV panels MPPT techniques applied to solar water pumping system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 12(3), 1813-1822.

Akarslan, E., & Hocaoglu, F. O. (2017). A novel method based on similarity for hourly solar irradiance forecasting. *Renewable Energy, 112*, 337-346.

Alpay, Ö. & Erdem, E. (2018). Seralarda Isıtma Miktarının Yumuşak Hesaplama Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2)*, 203-213.

Bacak, S., Külcü, R., & Ekinci, K. (2009). Türkiye ve AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Politikaları ve Hedefler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 5(1)*, 9-14.

British Petrol, (BP) (2021). *BP Energy Outlook, Yayın No: 2021 Edition*, Londra.

Çakır, M. T. (2015). Güneş enerjisinden yararlanarak tarım ürünlerinin kurutulması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(1)*, 41-55.

Çayır, M., & Özbay, H. (2023). Solar Sulama Sistemleri için MPPT tabanlı Üç Fazlı Evirici Tasarımı. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 5(2),* 243-254.

Duffie, JA. ve Beckman, WA. (2013), *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Inc. , Hoboken, New Jersey.

Ekinci, K., Akbolat, D., Demircan, V., & Ekinci, Ç. (2005). Isparta ili elma üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesi. *3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19, 21.

Eltawil, M. A., & Zhao, Z. (2013). MPPT techniques for photovoltaic applications. *Renewable and sustainable energy reviews, 25*, 793-813.

Fuller, R. J., Meyer, C. P., & Sale, P. J. M. (1987). Validation of a dynamic model for predicting energy use in greenhouses. *Journal of agricultural engineering research, 38(1)*, 1-14.

Garg, H.P., Kumar, R. ve Data, G. (1998).Simulation model of the thermal performance of a natural convection-type solar tunnel dryer. *International Journal of Energy Research*.

GENÇOĞLU, M. T., CEBECİ, M., & GÜNEŞ, M. (2010). Güneş enerjisi ile çalışan PLC kontrollü su pompası sistem tasarımı. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendislik Bölümü*, Elazığ, 9.

GÖNÜLLÜ, M. T., & VARINCA, K. B. (2009). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının çevreye olumlu etkileri. *Standard Dergisi, 560(48)*, 31-35.

Hoang, S. (2017). The environmental history of solar photovoltaic cells. *Wellesley College course ES 299.*

Kapçak, S., Çetin, M., & Can, A. (2023). Türkiye Ekonomisinde Tarımsal Enerji Tüketimi-Ekonomik Büyüme

İlişkisi: Bir Saklı Eşbütünleşme Analizi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(3),* 605-619.

Karaca, C. (2013). TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM POLİTİKALARI: TARIM SEKTÖRÜNDE ATIL VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ. *Turkish Journal of Agricultural Economics, 19(1).*

Karagöl, E. T., & Kavaz, İ. (2017, October). Kaya Gazı Devrimi: Küresel Enerji Piyasalarındaki Yansımaları ve Türkiye'deki Geleceği. *In ICPESS (International Congress on Politic, Economic and Social Studies) (No. 3).*

Marini´c-Kragi´c I, Niˇzeti´c S, Grubiˇsi´c-Cabo ˇ F, Papadopoulos AM. Analysis of flow separation effect in the case of the free-standing photovoltaic panel exposed to various operating conditions. *J Cleaner Prod 2018;* 174:53–64.

Mumba, J. (1995). Economic analysis of a photovoltaic, forced-convection, solar grain drier. *Energy, 20(9),* 923-928.

Kurtz, S., Repins, I., Metzger, W. K., Verlinden, P. J., Huang, S., Bowden, S., & Levi, D. (2018). Historical analysis of champion photovoltaic module efficiencies. *IEEE Journal of Photovoltaics, 8(2),* 363-372.

Neto, M. B., Carvalho, P. C. M., Carioca, J. O. B., & Canafístula, F. J. F. (2010). Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas. *Energy Policy, 38(8),* 4497-4506.

Newell, R. G., & Raimi, D. (2020). Global energy outlook comparison methods: 2020 update. *Resources for the Future.*

Öztürk, H. H. (2006). Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı. *Url adres: http://www. emo. org. tr/ekler/85e48a43c7f63ac_ek. pdf.*

Öztürk, H. H. (2008). Sera İklimlendirme Tekniği. *Hasad Yayıncılık.*

Öztürk, H. H., & Barut, Z. B. (2005). Türkiye tarımında enerji kullanımı. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı.* 1253-1264.

Öztürk, H. H., Yaşar, B., & Eren, Ö. (2010). Tarımda enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları. *TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 909-932.

Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and sustainable energy reviews, 15(3),* 1513-1524.

Feldman, D. J., Zwerling, M., & Margolis, R. M. (2019). *Q2/Q3 2019 Solar Industry Update* (No. NREL/PR-6A20-75484). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

Ramesh, T. (2018, February). Solar powered based water pumping system using perturb and observation MPPT technique. *In 2018 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS) (pp. 1-6). IEEE.*

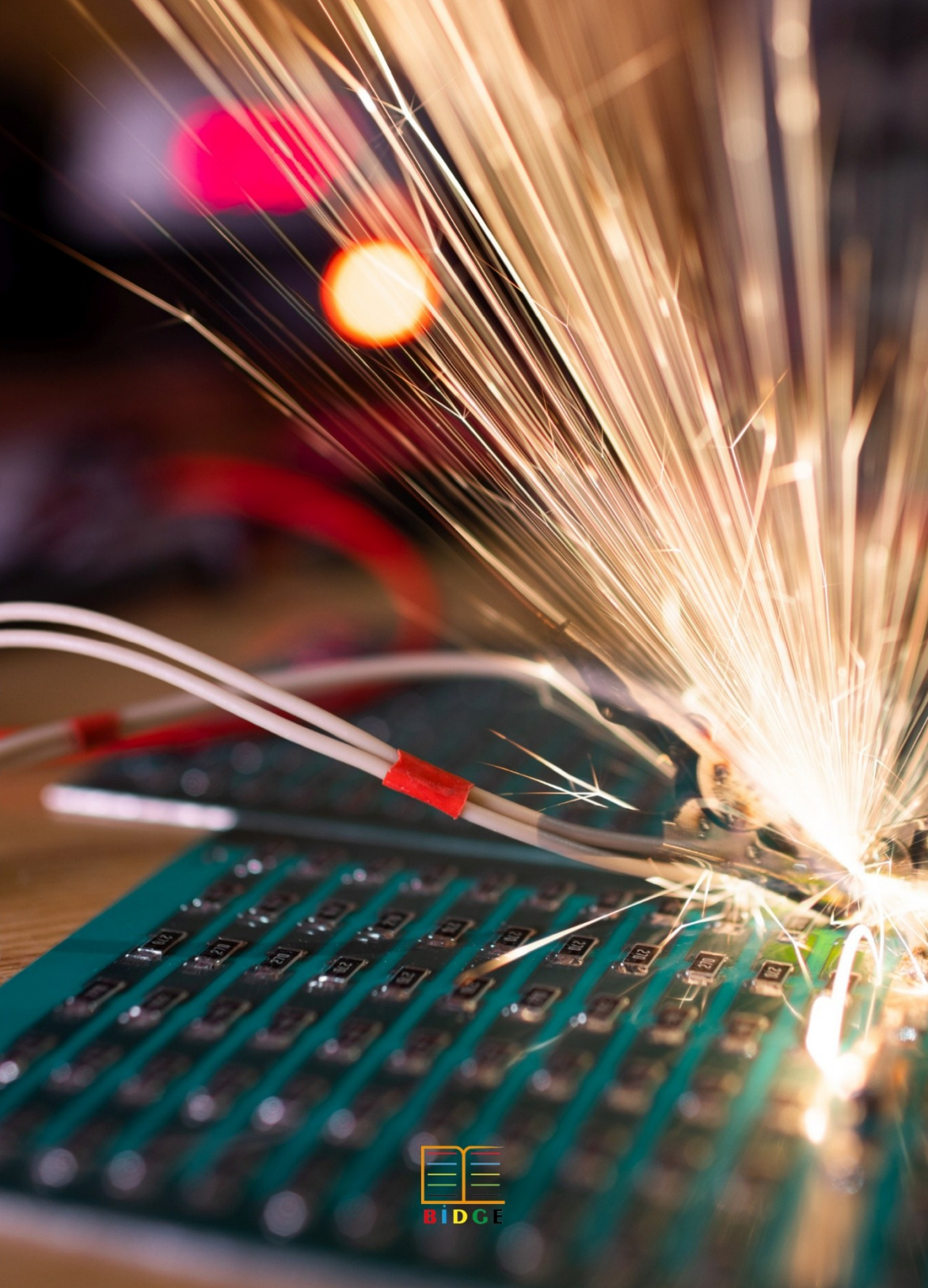
Scanlin, D. (1997). Indirect, through-pass, solar food dryer. *Home Power. February.*

Taşkın, O., & Vardar, A. (2016). Tarımsal üretimde bazı yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(1)*, 179-184.

Tiwari, G. N., & Mishra, R. K. (2012). Advanced renewable energy sources. *Royal Society of Chemistry.*

Torunoğlu Gedik, Ö. (2015). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri.

Yilmaz Adalioğlu, D. D. (2015). Yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar ve hidroelektrik enerji üretiminde birim maliyetlerin karşılaştırmalı analizi ve Türkiye uygulaması.


BIDGE