

BİDGE Yayınları

Modern Elektrik Teknolojileri: Tasarım, Optimizasyon ve
Güvenlik I

Editör: Dr. Öğr. Üyesi İshak PARLAR

ISBN: XXXXXX

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayımlama Tarihi: 25.12.2023

BİDGE Yayınları

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

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

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

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

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



ÖNSÖZ

Sevgili Okuyucular,

Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, günümüzün hızla değişen teknolojik peyzajında öncü bir role sahiptir. Bu dinamik alandaki gelişmeler, sadece mühendislik dünyasını değil, aynı zamanda küresel toplumları da etkilemektedir. Bu kitap, Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği disiplininde kayda değer çalışmaları ve bunları günlük yaşantımıza entegre etmek isteyen herkese rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

Umuyoruz ki bu kitap, Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği alanındaki merakınızı heyecan verici yolculukta bir adım ileriye taşır.

Editor

Dr. Öğr. Üyesi İshak PARLAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
Elektrik Makinalarında Taguchi Yönteminin Kullanımı	5
Engin HÜNER.....	5
Elektrikli Araç Çeşitleri ve Elektrikli Araçların Tarihsel Gelişimi	21
Sümeyye ÇARKIT	21
Taner ÇARKIT	21
Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Türkiye'deki Gelişimi	37
Kerim KARABACAK	37
Elektronik Sistemlerde Hata/Arıza Arama Cihazlarının Kullanımı	67
Musa Faruk ÇAKIR	67

BÖLÜM I

Elektrik Makinalarında Taguchi Yönteminin Kullanımı

Engin HÜNER¹

1.Giriş

Günümüzde elektrik makinelerindeki güç yoğunluğu ve verimi arttırmak bununla birlikte moment dalgalanmalarını azaltmak için optimizasyon çalışmaları önemlidir. Yapılan bu çalışmada optimizasyon yöntemlerinden biri olan Taguchi deneysel tasarım yöntemi sunulmuştur. Taguchi deneysel tasarım yöntemi Dr. Genichi Taguchi tarafından üretim süreçlerinin iyileştirilmesi için tasarlanmıştır. Geleneksel tam faktöriyele dayalı deneysel tasarımda her bir faktörün farklı seviyeleri için tüm kombinasyonları gerçekleştirmek gereklidir. Örneğin 3 faktör 2 seviye için toplam 8 adet kombinasyon oluşturulabilir. Üretimi etkileyen faktör sayısı 15, seviye sayısı 2 olduğunda ise kombinasyon sayısı 32.768'dir. Bu

¹ Doç.Dr, Kırklareli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, engin.huner@klu.edu.tr

durumda faktör ve seviye artışı kombinasyonların tümünü kapsayan deneysel bir çalışmaya olanak sağlamaz.

Malzeme üretiminde az sayıda faktör ve seviye için tam faktöriyele dayalı deneysel tasarım mümkün olabilmektedir. Fakat tam faktöriyeli deneysel tasarımın elektrik makinelerinin optimizasyonu için kullanılması maliyet ve zaman açısından dezavantaj oluşturur. Çünkü her bir kombinasyon için prototip bir elektrik makinesinin üretilmesi veya bilgisayar modellemesi ve analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Örneğin faktör sayısı 4, seviye sayısı 3 için toplam kombinasyon sayısı 81'dir. Tam faktöriyeli deneysel tasarımda 81 adet elektrik makinesinin bilgisayarda modeli oluşturularak her birinin analiz edilmesi ve elde edilen sonuçlara göre prototip makinenin üretilmesi gerekmektedir. Faktör ve seviye sayıları arttığında ise bilgisayar programları ile analizlerin gerçekleştirilmesi zaman açısından gerçekleştirilebilir nitelikte değildir.

Yukarıda tam faktöriyeli deneysel tasarım yönteminin elektrik makinesi üzerinde uygulanma zorluklarından bahsedilmiştir. Tam faktöriyede ortaya çıkan yüksek sayılı kombinasyonları azaltmak için Taguchi deneysel tasarım yöntemi öne sürülmüştür. Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile daha az sayıda deneysel tasarım yapılarak en iyi faktör ve seviyeler tespit edilebilmektedir.

Sabır ve Özgür yaptıkları çalışmada boyanmış ve şardonlanmış dimi dokuma PES/VIS kumaşların performans özelliklerinin tam faktöriyel ve taguchi deney tasarım yöntemleriyle incelemişlerdir. Tekstil mühendisliğinde yapılan bu çalışma ile tam faktöriyede 27 kumaş numunesi, taguchi deneysel tasarımda ise 9 kumaş numunesinin kullanılabilceği ortaya konmuştur (Sabır & Özgür, 2023).

Yaka ve Atıkan yaptıkları çalışmada nikel esaslı süper alaşımların delinmesi yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin optimizasyonu için taguchi deneysel tasarım yöntemini kullanmıştır. Ayrıca çalışmanın güven düzeyi de varyans analizi kullanılarak kontrol edilmiştir (Yaka & Atıkan, 2023).

Ceylan ve arkadaşları polimer hammadde üretimindeki karışım parametre ayarları için taguchi yöntemini kullanmıştır. Bunun için 34 adet deney yerine Taguchi L9 orthogonal dizisi ile 3 faktör ve 3 seviye için toplam 9 deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar üretilen malzemede mekanik özellikler göz önünde tutulmuştur (Ceylan & ark., 2021).

Taguchi deneysel tasarım üretimi etkileyen parametrelerin seçiminde yukarıda verilen örneklerde olduğu gibi etkili olmuştur. Bununla birlikte makine mühendisliği alanında malzeme işlenmesinde spindle motorun dönme hızı ve ilerleme hızı parametrelerinin ayarında da etkilidir (Wibowo & ark., 2018), (Sumesh & Shibu, 2016), (Suthar & ark., 2021).

Taguchi deneysel tasarım yöntemi elektrik makinaları alanında da etkili bir optimizasyon yöntemidir. Hwang ve arkadaşları Sabit mıknatıslı iç yerleştirmeli (IPM) senkron motorlarda minimum vuru moment ve maksimum tork için Bulanık tabanlı olarak Taguchi yöntemini kullanmışlardır (Hwang & ark., 2016). Fırçasız DC motorun mıknatıs kutuplarının optimizasyonu sağlanarak vuru momentinin azaltılması için deneysel tasarım yöntemi (Taguchi) ile hesaplama zamanı (FEM kullanan simülasyonların) azaltılmıştır (Kwon & ark., 2006). Optimum rotor bar tasarımında birden fazla parametrenin FEM (sonlu elemanlar yöntemi) kullanan program ile analiz edilmesinde 3 faktör ve 3 seviyeli L9 orthogonal diziyeye sahip Taguchi yöntemi kullanılmıştır (Srikomham & Ruangsinchaiwanich., 2010). Döner tip elektrik makinalarının dışında lineer (doğrusal) anahtarlamalı relüktans makinede de Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Sonlu elemanlar kullanan program taguchi deneysel tasarım yöntemi ile Lineer makinede oluşan kuvvet dalgalanmaları %49 dan %31'e indirilmiştir. Bunu için L4 orthogonal dizisi kullanılmıştır (Du & Lu., 2016). Rotor yapısında halbach dizilimine sahip elektrik makinelerinde kutupların açısı, manyetik malzemenin kalınlığı, hava aralığı gibi parametrelerin optimizasyonu ile güç yoğunluğu ve maksimum hava aralığı akısı elde etmede maliyetleri düşürmek için 3 faktör 4 seviyeli taguchi deneysel tasarım yöntemi önerilmiştir (Yu

& ark., 2019). BLDC motorda tork dalgalanmalarını azaltmak için 2d sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan analiz programında rotor yapısı üzerine taguchi deneysel tasarım yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile tork dalgalanması azalırken ortalama tork değeri iyileştirilmiştir (Raja & Geethalakshmi, 2018).

Taguchi deneysel tasarım yöntemi literatür incelendiğinde ürün üretim süreçlerinin yanı sıra farklı yapıdaki elektrik makinelerinin optimizasyonunda kullanıldığı görülmektedir. Özellikle yöntemin uygulanmasında elektrik makinesinin analitik modeline ihtiyaç duyulmaması öne çıkan özelliklerindedir. Taguchi yöntemini elektrik makinesine uygulanmasında ortogonal dizilere bağlı olarak deneysel tasarımların sayısının tam faktöriyelli tasarıma göre oldukça az olduğu görülmektedir. Bununla birlikte her bir deneyin ürün üretim sürecinde olduğu gibi denenmesi maliyet ve zaman açısından oldukça maliyetlidir. Bundan dolayı yapılan çalışmalar 2d veya 3d tasarım yapan ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak çalışan programlar ile gerçekleştirilmektedir. SEY yöntemini kullanan programlar ile tam faktöriyelli denemelerde teorik olarak yapılması mümkün olmakla birlikte artan faktör ve seviye sayısı çözümlerin zaman açısından gerçekleştirilmesini olanaksız hale getirmektedir.

Yapılan bu çalışmada ürün üretim süreçlerinin optimizasyonunda kullanılan Taguchi deneysel tasarım yönteminin elektrik makinalarında kullanılma potansiyeli irdelenmiştir. Bununla birlikte Taguchi optimizasyon yönteminin uygulama aşamaları verilerek yöntemin etkililiği ortaya konmuştur.

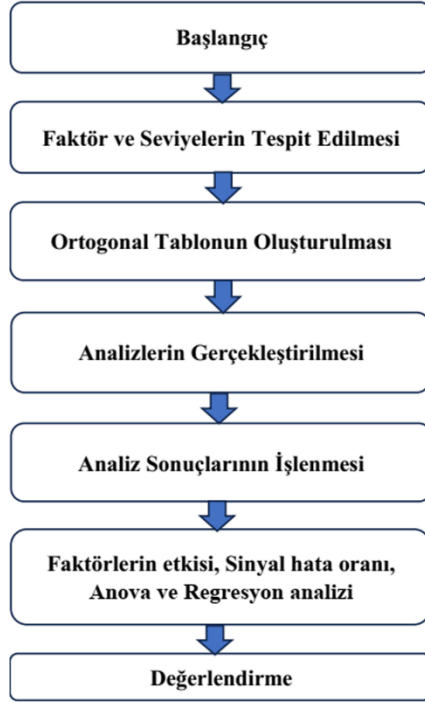
2. Taguchi yöntemi

Yapılan bu çalışmada elektrik makinalarında karşılaşılan optimizasyon problemleri için Taguchi deneysel tasarım yöntemi sunulmuştur. Döner tip elektrik makinaları için duran veya döner kısımlarda sargıların yerleştirildiği oluk parametrelerinin, hareketli kısım mıknatıs uyarımlı ise kullanılan mıknatıs parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi maliyeti ucuz ve uygulama süresi kısa olan bir optimizasyon yöntemidir.

Taguchi yönteminde optimizasyonu gerekli olan parametreler faktör olarak seçilir. Her bir faktör için optimizasyonu gerçekleştirilecek min-max aralıkta seviyeler belirlenir. Tam faktöriyelli optimizasyonda belirlenen faktör ve seviyeye bağlı olarak kombinasyon oluşur. Örneğin 6 faktör 5 seviye için (seviye^{faktör}) 15625 adet kombinasyon vardır. Dolayısıyla tüm kombinasyonların FEM analiz programına girilerek gerçekleştirilmesi zaman açısından ve bilgisayar işlem kapasitesi açısından mümkün değildir.

Yukarıda tam faktöriyelli optimizasyonun dezavantajından bahsedilmiştir. Taguchi deneysel tasarım yöntemi daha az deney sayısı ile en iyi sonuca ulaşmaya çalışır. Dolayısıyla elektrik makinasının optimizasyon süreci de zaman açısından gerçekleştirilebilir sınırlara indirgenmiş olur.

Şekil 1’de verilen Taguchi deneysel tasarım yönteminin akış diyagramına göre optimizasyon sırasıyla Faktör ve seviyelerin tespit edilmesi, Ortogonal tablonun oluşturulması, Analizlerin gerçekleştirilmesi, Analiz sonuçlarının işlenmesi, Faktörlerin etkisi, sinyal hata oranı, anova, regresyon analizi ve değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır.



Şekil 1. Taguchi akış diyagramı

2.1. Faktör ve seviyelerin tespiti

Taguchi deneysel tasarım yönteminde öncelikle faktör ve seviyeler tespit edilir. Elektrik makinasında optimizasyonu yapılacak değerler çıkış gücü, verim, güç yoğunluğu, tork dalgalanmaları, vuruş torku gibi değerlere etkisi olduğu düşünülen parametreler faktör olarak tanımlanır. Elektrik makinasında faktör olarak oluk parametreleri, stator ve rotor büyüklük parametreleri, mıknatıs parametreleri faktör olarak tanımlanabilir. İkinci aşamada her bir faktörün değişim aralığına bağlı olarak seviye sayısı tespit edilir.

Tablo 1’de verilen altı faktör, beş seviye için toplam 15625 adet kombinasyon vardır. Faktör ve seviyeler ürün üretim sürecinde çıktıyı etkileyen değişkenler olduğu gibi elektrik makinalarının

optimizasyonunda da elektriksel veya mekaniksel performans çıktılarını etkilerler.

Tablo 1. Faktör ve seviyeleri

Faktörler	Faktörlerin seviyeleri				
	1	2	3	4	5
A	A1	A2	A3	A4	A5
B	B1	B2	B3	B4	B5
C	C1	C2	C3	C4	C5
D	D1	D2	D3	D4	D5
E	E1	E2	E3	E4	E5
F	F1	F2	F3	F4	F5

2.2. Ortogonal tablonun oluşturulması

Elektrik makinalarının Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonunda ortogonal diziler önemlidir. Ortogonal diziler faktör ve seviyelere göre belirlenir. Tablo 2’de ortogonal dizi seçimi değişik faktör ve seviyeler için verilmiştir (Gökçe & Taşgetiren, 2009). Tablo 2’ye göre 6 faktör 5 seviye için L25 ortogonal dizisi, 4 faktör 3 seviye için L9 ortogonal dizisi kullanılmaktadır.

Tablo 2. Ortogonal diziler

Faktör Sayısı	Seviye Sayısı			
	2	3	4	5
Faktör Sayısı	F=2, S=2	F=2, S=3	F=2, S=4	F=2, S=5
	F=3, S=2	F=3, S=3	F=3, S=4	F=3, S=5
	F=4, S=2	F=4, S=3	F=4, S=4	F=4, S=5
	F=5, S=2	F=5, S=3	F=5, S=4	F=5, S=5
	F=6, S=2	F=6, S=3	F=6, S=4	F=6, S=5
	F=7, S=2	F=7, S=3	F=7, S=4	F=7, S=5
	F=8, S=2	F=8, S=3	F=8, S=4	F=8, S=5
	F=9, S=2	F=9, S=3	F=9, S=4	F=9, S=5
	L4	L9	L16	L25
	L8	L18	L32	L50
	L11	L27		

F=10, S=2	F=10, S=3	F=10, S=4	F=10, S=5
F=11, S=2	F=11, S=3		F=11, S=5
F=12, S=2	F=12, S=3		F=12, S=5
F=13, S=2	F=13, S=3		
F=14, S=2	F=14, S=3		
F=15, S=2	F=15, S=3		
F=16, S=2	F=16, S=3		
F=17, S=2	F=17, S=3		
F=18, S=2	F=18, S=3		
F=19, S=2	F=19, S=3	L36	
F=20, S=2	F=20, S=3		
F=21, S=2	F=21, S=3		
F=22, S=2	F=22, S=3		
F=23, S=2	F=23, S=3		
F=24, S=2			
F=25, S=2			
F=26, S=2			
F=27, S=2			
F=28, S=2			
F=29, S=2			
F=30, S=2			

F=31,
S=2
F=32,
S=2
F=33,
S=2
F=34,
S=2
F=35,
S=2
F=36,
S=2

Tablo 2’de faktör ve seviye sayısına bağlı olarak verilen ortogonal dizilerden L25 Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’de 6 faktör 5 seviye için L25 ortogonal dizisi verilmiştir. Tam faktöriyel durumunda 15625 deney gerekirken L25 ortogonal dizisine göre 25 adet deney yapmak istenilen optimizasyon değerlerine yakın çıktılar elde etmek için yeterlidir.

Tablo 3. L25 Ortogonal dizisi

Deney	Faktörler						No.	Faktörler					
	A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
1	1	1	1	1	1	1	13	3	3	5	2	4	1
2	1	2	2	2	2	2	14	3	4	1	3	5	2
3	1	3	3	3	3	3	15	3	5	2	4	1	3
4	1	4	4	4	4	4	16	4	1	4	2	5	3
5	1	5	5	5	5	5	17	4	2	5	3	1	4
6	2	1	2	3	4	5	18	4	3	1	4	2	5
7	2	2	3	4	5	1	19	4	4	2	5	3	1
8	2	3	4	5	1	2	20	4	5	3	1	4	2
9	2	4	5	1	2	3	21	5	1	5	4	3	2
10	2	5	1	2	3	4	22	5	2	1	5	4	3
11	3	1	3	5	2	4	23	5	3	2	1	5	4
12	3	2	4	1	3	5	24	5	4	3	2	1	5
							25	5	5	4	3	2	1

2.3. Analizlerin gerçekleştirilmesi

Taguchi deneysel tasarım yönteminde ortogonal dizideki faktör ve seviyelere bağlı olarak deneyler gerçekleştirildikten sonra elde edilen sonuçların analiz edilmesi gerekmektedir. Bunun için

ortalama değer, varyans (Anova) analizi, sinyal hata oranı ve faktör etki grafikleri kullanılır.

2.3.1. Ortalama değer tablosunun oluşturulması

Ortalama değer tablosunun oluşturulması için Tablo 3 ortogonal dizi göz önünde tutulur. Ortalama değerler her bir seviyenin deney sonuçları üzerindeki etkisinin ortalamasının alınması ile bulunur.

Tablo 4. Taguchi ortalama değerler

	Ai	Bi	Ci	Di	Ei	Fi
1	A1	B1	C1	D1	E1	F1
2	A2	B2	C2	D2	E2	F2
3	A3	B3	C3	D3	E3	F3
4	A4	B4	C4	D4	E4	F4
5	A5	B5	C5	D5	E5	F5

Bunun için Tablo 4'de verilen ortalama değer tablosunda A1'i elde etmek için Tablo 3-A sütununda seviye 1'in etkisi sonucu oluşan Deney sonuçlarının toplamının aritmetik ortalaması alınır.

$$A1 = \frac{1}{5}(Den1 + Den2 + Den3 + Den4 + Den5) \quad (1)$$

$$A2 = \frac{1}{5}(Den6 + Den7 + Den8 + Den9 + Den10) \quad (2)$$

$$B1 = \frac{1}{5}(Den1 + Den6 + Den11 + Den16 + Den21) \quad (3)$$

$$B2 = \frac{1}{5}(Den2 + Den7 + Den12 + Den17 + Den22) \quad (4)$$

$$C1 = \frac{1}{5}(Den1 + Den10 + Den14 + Den18 + Den22) \quad (5)$$

$$C2 = \frac{1}{5}(Den2 + Den6 + Den15 + Den19 + Den23) \quad (6)$$

$$D1 = \frac{1}{5}(Den1 + Den9 + Den12 + Den20 + Den23) \quad (7)$$

$$D2 = \frac{1}{5}(Den2 + Den10 + Den13 + Den16 + Den24) \quad (8)$$

$$E1 = \frac{1}{5}(Den1 + Den8 + Den15 + Den17 + Den24) \quad (9)$$

$$E2 = \frac{1}{5}(Den2 + Den9 + Den11 + Den18 + Den25) \quad (10)$$

$$F1 = \frac{1}{5}(Den1 + Den7 + Den13 + Den19 + Den25) \quad (11)$$

$$F2 = \frac{1}{5}(Den2 + Den8 + Den14 + Den20 + Den21) \quad (12)$$

Denklem 1-12’de elde edilen ortalama değerler ile Tablo 4 oluşturulur. Elde edilen değerler seviyelerin etki oranlarını gösterir. Tablo 4’de değerler arasındaki fark ve etki sıralamaları da eklenebilir. Bununla birlikte güç yoğunluğu gibi tek bir çıkış parametresine olan etkinin dışında diğer parametreler de göz önünde tutulduğunda parametre sayısı kadar ortalama değer tablosunun oluşturulması gerekmektedir.

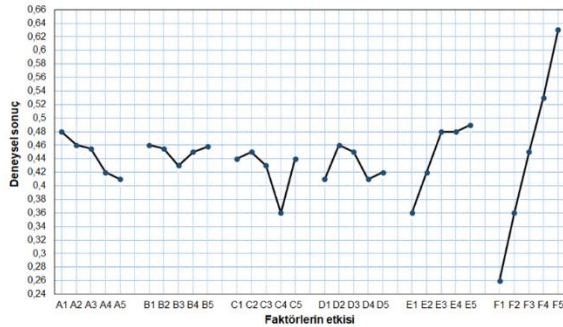
2.3.2. Faktörlerin etki grafiğinin elde edilmesi

Ortalama değer tablosu (Tablo 4) elde edildikten sonra faktör etki grafiklerinin elde edilmesi gerekmektedir. Taguchi deneysel tasarım yönteminde faktör etki grafiği ortalama değer tablosunun grafiksel gösterimidir. Tablo 5’te örnek bir Taguchi ortalama değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Taguchi rnek ortalama değerler

	Ai	Bi	Ci	Di	Ei	Fi
1	0,48	0,46	0,44	0,41	0,36	0,26
2	0,46	0,455	0,45	0,46	0,42	0,36
3	0,455	0,43	0,43	0,45	0,48	0,45
4	0,42	0,45	0,36	0,41	0,48	0,53
5	0,41	0,458	0,44	0,42	0,49	0,63

şekil 2’de Faktörlerin etki grafiği Tablo 5 göz önünde tutularak elde edilmiştir. şekil 2’de görüldüğü üzere her bir faktör seviyesinin deneysel sonuç üzerine olan etkisi Tablo 5’e göre daha net gözükmektedir.



şekil 2. Faktörlerin etki grafiği

Şekil 2’de verilen örnek için elde edilen deneysel sonucu maksimuma götürmek istenirse her bir faktör seviyesinin maksimum değerleri seçilir. Bu durumda A1B1C1D2E5F5 faktör seviyeleri istenilen deneysel sonucu elde etmek için seçilen değerlerdir. A1B1C1D2E5F5 faktör ve seviyeleri için deney tekrar edilir. Deneysel sonuçlar istenilen düzeyde gelişmesi durumunda optimizasyon sonlandırılır.

2.3.3. Sinyal hata oranına göre analizlerin gerçekleştirilmesi

Taguchi deneysel tasarım yönteminde ortalama değerler tablosu sinyal gürültü oranlarının bulunması ile de gerçekleştirilebilir. Sinyal gürültü oranlarının 3 farklı durumu söz konusudur. Denklem 13, 14, ve 15’de sırasıyla verilen en büyük en iyi, en küçük en iyi ve nominal en iyi değerdir. Denklem 13, 14, ve 15’de S/N , n , y_i , \bar{y} , S^2 sırasıyla sinyal gürültü oranı, test sayısı, i . gözlem değeri, değerlerin ortalamasını, varyanstır. Denklem 13 en büyük en iyi durumu için elektrik makinelerinde başlıca optimizasyon parametreleri verim, güç, güç yoğunluğu, çıkış torkudur. Denklem 14 en küçük en iyi durumu için elektrik makinelerinde başlıca optimizasyon parametreleri vuru moment, moment dalgalanmaları, kayıp güçler seçilebilir. Denklem 15 nominal en iyi durumu ise elektrik makinelerinin çıkıştaki elektriksel ve mekaniksel parametrelerin dengede olması seçilebilir.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (13)$$

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (14)$$

$$S/N = -10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (15)$$

Denklem 13, 14, ve 15’de verilen değerlerin ortalaması \bar{y} ve varyans S^2 Denklem 16, 17’de verilmiştir.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (16)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (17)$$

Denklem 13-17'ye göre sinyal gürültü oranları hesaplanır. Hesaplanan değerlere göre Denklem 1-12 yardımıyla ortalama değerler bulunur. Elde edilen ortalama değerlere göre Tablo 4'teki ortalama değerler oluşturulur. Sinyal gürültü oranlarına bağlı olarak oluşturulan yeni Tablo 4 göz önünde tutularak faktör etki grafikleri elde edilir. Faktör etki grafiklerinden de optimizasyon değerleri bulunarak analizler gerçekleştirilir.

2.3.4. Anova (varyans analizi) ve regresyon analizi

Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile gerçekleştirilen optimizasyonda Anova tablosunun elde edilmesi ile faktör ve seviyelerin optimizasyon parametresi ile ilişkisinin anlamlı olup olmadığı kontrol edilir. Regresyon analizi ile de faktörlerin optimizasyon parametresine olan etki oranı tespit edilir.

Anova istatistiksel bir yöntem olup bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini ortaya koyar. Elektrik makinalarında bağımsız değişken olarak stator oluk genişliği, oluk yüksekliği gibi parametreler seçilebilir. Bağımlı değişken ise hava aralığı manyetik akısı, çıkış gücü, güç yoğunluğu, tork gibi elektriksel veya mekaniksel çıktıları ifade eder. Anova analizi SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programı ile gerçekleştirilir. SPSS programından elde edilen tabloda F değerinin 100'e yakınsaması ve P değerinin 0'a yaklaşması gerekmektedir.

Regresyon analizinde ise bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etki oranlarının belirlenmesinde kullanılır. Sosyal bilimlerde regresyon analizinin etkili bir sonuç üretebilmesi için yüksek deneme sayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun en büyük nedeni ise sosyal bilimlerde insan davranışlarının belirsizliğinin sonuçlara olan etkisinin değişebilmesidir. Elektrik makinalarının Taguchi yardımıyla optimizasyonunda elde edilen az sayıdaki deneysel sonuçlar regresyon analizi için yetersiz

gözükmektedir. Fakat elektrik makinalarının optimizasyonunda seçilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi mutlaka bulunur. Regresyon analizi ile ele alınan bağımsız değişkenlerin etki miktarları bulunması ile Taguchi deneysel tasarım yöntemine dayalı optimizasyon daha az bağımsız değişken ile tekrarlanabilir. Böylelikle tekrarlanan optimizasyon sürecinde seviyelerin miktarları artırılarak daha uygun değerler elde edilebilir.

3. Sonuç

Yapılan bu çalışmada elektrik makinalarının optimizasyonunda Taguchi deneysel tasarım yönteminin uygulama aşamaları sunulmuştur. Genellikle ürün tasarımında kullanılan Taguchi yöntemi elektrik makinalarının optimizasyonu içinde önemli bir adaydır. Yapılan çalışma ve açıklanan literatür göz önüne alındığında Taguchi ile optimizasyonun önemi daha belirgin hale gelmektedir. Ayrıca Taguchi deneysel tasarım yönteminin en önemli özelliği optimizasyonu yapılacak elektrik makinasının modeline ve analitik denklemlerine ihtiyaç duymamasıdır.

Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonu yapılacak parametreler, parametrelere etki eden faktörler ve seviyeleri belirlenir. İkinci aşamada ortalama değer veya sinyal gürültü oranına bağlı ortalama değerler elde edilerek faktör etki grafikleri çizilir. Faktör etki grafiklerine göre parametreler belirlenerek sonuçlar elde edilir. Buna ek olarak faktörleri içeren bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerine etkileri de Anova ve regresyon analizlerini içeren istatistiksel yöntemler ile analiz edilir.

Dolayısıyla bu çalışmada tam faktöriyelli optimizasyonda ortaya çıkan çok yüksek sayıdaki kombinasyonların analiz edilmesi yerine Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak elektrik makinelerinin optimizasyonu ortaya konmuştur.

Kaynakça

Ceylan, Y.G. Gündüz, T. & Ulusu, H.A. (2021). Polymer Raw Material Mixture Optimization with Taguchi Method. *Journal of Industrial Engineering*, 32(2), 164-176.

Du, J. & Lu, P. (2016). Optimal force ripple design of mutually coupled linear switched reluctance machines with transverse flux by Taguchi method. *IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC)*, Miami, FL, USA, 1-1, doi: 10.1109/CEFC.2016.7816054.

Gökçe, B. & Taşgetiren, S. (2009). Kalite İçin Deneysel Tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 71-83.

Hwang, C.C. Liu, C.T. & Hong, C.J. (2016). Optimal design of an IPM motor using fuzzy-based Taguchi method and Rosenbrock's algorithm. *XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Lausanne, Switzerland, 1957-1962, doi: 10.1109/ICELMACH.2016.7732791.

Kwon, Y.A. et al. (2006). Optimization of Magnet Pole of Brushless DC Motor by Experimental Design Method. *12th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation*, Miami, FL, USA, 470-470, doi: 10.1109/CEFC-06.2006.1633260.

Raja, M.S. & Geethalakshmi, B. (2018). Modified Rotor Material for Minimization of Torque Ripple for Interior Permanent Magnet BLDC motor. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3639-3647. doi:10.1016/j.matpr.2017.11.614.

Sabır, E.C. & Özgür, E. (2023). Investigation of Performance Properties of Dyed and Raised Twill Woven PESVIS Fabrics by Full Factorial and Taguchi Experiment Design Methods. *Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 38(2), 293-304.

Srikomkham, P. & Ruangsinchaiwanich, S. (2010). Optimal rotor design of a PSC motor using Taguchi method and FEM. *2010 International Conference on Electrical Machines and Systems*, Incheon, Korea (South), 1341-1346.

Sumesh, A.S. & Shibu, M.E. (2016). Optimization Of Drilling Parameters for Minimum Surface Roughness Using

Taguchi Method. *ICETEM International Conference on Emerging Trends in Engineering and Management*, 12-20.

Suthar, J. Teli, S.N. & Murumkar, A. (2021). Drilling process improvement by Taguchi method. *Materials Today: Proceedings*, 47(11), 2814-2819. doi:10.1016/j.matpr.2021.03.533.

Wibowo, Y. T. Manurung, V. & Kosasih, K. (2018). Experimental Study on Plastic Mold Steel Reaming Process using Taguchi Method. *International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)*, Manado, Indonesia, 559-562, doi: 10.1109/iCAST1.2018.8751593.

Yaka, H. & Atilkan, R. (2023). Optimization of Machining Parameters in Drilling of Nickel Based Superalloys with Gray Relational Analysis and Taguchi. *Kahramanmaras Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 26(2), 363-378.

Yu, R. et al. (2019). Optimizing Performance Parameters of Halbach Array Rotor Based on Taguchi Algorithm. *Procedia Computer Science*, 154, 167-172. doi:10.1016/j.procs.2019.06.025.

BÖLÜM II

Elektrikli Araç Çeşitleri ve Elektrikli Araçların Tarihsel Gelişimi

Sümeyye ÇARKIT¹
Taner ÇARKIT²

Giriş

Günlük hayatta ulaşımda kullanılan araçları; içten yanmalı motorlu araçlar (İYMA), elektrikli araçlar (EA) ve hibrit elektrikli araçlar (HEA) olmak üzere üç ana gruba ayırmak mümkündür. 1920 yılında Kanada, Polonya, İsveç, Ukrayna ve ABD gibi birçok ülkede bulunan petrol rezervlerinin etkisiyle, İYMA'ların kullanımı günümüze kadar oldukça geniş bir alana yayılmış ve bu araçlar uzun yıllar kullanılmıştır. Ancak, küresel ısınma ve olumsuz çevre değişimlerinin insan hayatını etkilemesinden dolayı, İYM'lerin atmosfere saldıkları karbondioksit (CO₂) ve karbon tabanlı zararlı gazlar gibi etkilerinin önlenmesi için çalışmalar başlatılmıştır.

¹ Bu çalışma Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU danışmanlığında birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

¹ Öğr. Gör., Kırklareli Üniversitesi, Rektörlük (GADOM)

² Dr. Öğr. Üyesi, Kırklareli Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

İYM'lerin çevre kirliliğine neden olan CO₂ üretmeleri ve yakıt olarak kullandıkları petrol rezervlerinin hızlı bir şekilde tüketilerek gün geçtikçe azalması, EA'ların öneminin artmasında etkili olmuştur.

EA'larda ise İYMA'lara göre durum daha farklıdır. Yakıt olarak kullanılan elektriğin farklı kaynaklardan üretilmesinin yanı sıra çevre dostu olmaları nedeniyle EA'lar, kullanıcılar tarafından oldukça tercih edilmektedir. 1800'lü yıllarda ilk örnekleri ortaya çıkan EA'ların sahip olduğu düşük menzil ve düşük güç kapasiteli batarya birimi dezavantajlarına günümüz teknolojik gelişmeleriyle çözümler sunulurken, EA'ların cazip bir hal alması amaçlanmaktadır. Günlük hayatta kullanılan bir diğer araç türü olan HEA'ların özellikleri tasarlanırken İYM'lerin ve elektrikli motorların (EM) avantajları birleştirilmeye çalışılmaktadır. HEA; EM'nin gücünün yetmediği durumlarda İYM'un devreye girmesi veya İYM'un fazla güç harcayarak daha düşük verimlerle çalıştığı durumlarda EM'un düşük hızlarda devreye girerek aracı tek motorla çalışmaya devam ettirebilmesi sayesinde yakıt ve enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. EA'lar ve hibrit araçlarda (HA) aracın gidebileceği menzil mesafesi ve araç performansını belirleyen ana bileşenler batarya sistemi ve güç yönetim birimleri olarak kabul edilse de EM'lerde bu bileşenler içinde kendine yer edinmiştir. EA'larda kullanılan motorların kalkış anındaki düşük devirlerde yüksek tork'a sahip olması ve hareket anındaki yüksek devirlerde yüksek güç değerlerine sahip olması araç performansı açısından önem arz etmektedir [Başer, 2016]. Elektrikli araçların özelliklerini belirleyen motorlar şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Doğru akım motorları(DAM),
- İndüksiyon motorlar (İM),
- Sürekli mıknatıslı senkron motorlar (SMSM),
- Anahtarlamalı relüktans motorlar (ARM),
- Akı anahtarlamalı motorlar (AAM).

Elektrikli Araçların Literatürdeki Gelişimi ve Değişimi

Birçok alanda olduğu gibi, EA'ların tarihi gelişimi içerisinde öne çıkan ilk önemli unsurun 1799 yılında Volta'nın bataryayı geliştirmesi olduğu görülmektedir. Volta'nın yaptığı çalışmanın akabinde, Hollanda'da 1835 yılında Straitingh tarafından ilk EA prototipi üzerinde çalışmalar yapılmıştır [Çarkıt, 2020]. 1834 ve 1836 yılları arasında Thomas Davenport tarafından; üç tekerlekli, şarj edilemeyen bataryaya sahip bir EA'nın geliştirildiği ve uygulama testlerinin ABD'de gerçekleştirildiği raporlanmıştır [Kerem, 2014]. 1838 yılında Robert Davidson, şarj edilemeyen bataryayla tahrik edilen ve 6.4 km/saat hıza ulaşabilen elektrikli lokomotifini geliştirmiştir.



Şekil 1. 1882 yılında Berlin'de Siemens tarafından üretilen "Elektromote".



Şekil 1. 1886 yılında üretilen ilk İYM ile çalışan otomobil “Motorwagen”.



Şekil 2. “Electrobats” isimli elektrikli araç.



Şekil 3. 1901 yılında New York'ta kullanılan elektrikli taksi.



Şekil 4. Londra Elektrikli Taksi şirketi tarafından kullanıma alınan elektrikli taksi.



Şekil 5. “Comuta” isimli elektrikli araç

1859 yılına gelindiğinde ise; EA’lar için çok önemli bir bileşen olan şarj edilebilir bataryalar ortaya çıkmaya başlamıştır. O yıllarda, tüm zamanların en başarılı batarya sistemi olarak kabul edilen şarj edilebilen kurşun asit batarya sisteminin temelleri Fransız bilim insanı Gaston Planté tarafından atılmıştır. Gustave Trouve, 1881 yılında ilk elektrikli binek araç olarak kabul edilen üç tekerlekli prototip ürünü Paris’te sergilemiştir. Aynı yıl, ilk elektrikli tekneyi yaparak Sen nehrinde kullanıma sunmuştur [Kartal, 2018]. 1882’de Siemens, Şekil 1’de verilmekte olan “Elektromote” adındaki dünyanın ilk elektrikli trolleybüsünü Berlin’de üretmiştir [Kerem, 2014]. Bu tarihten itibaren, EA’lar içerisinde yer alan elektrikli trolleybüsün kullanımı giderek yayılmaya başlamıştır. 550 volt (V) doğru akım (DA) ile beslenen bu trolleybüs, iki adet 2.2 kW’lık motora sahip olup iletim hattı üzerinde ortalama 12 km/saat hızında ilerleyebilmektedir. İngiltere’de 1882 yılında William Ayrton ve John Perry, elektrik tahrikli üç tekerlekli aracın uygulamasını yapmışlardır. Kurşun asit bataryaya sahip bu araç, kullanıldığı arazi şartlarına göre 16-20 km arasında değişen bir menzile ve azami hızı 14 km/saat değerine ulaşabilmektedir [Koç, 2012].

1886 yılında Karl Benz, Şekil 2’de verilmekte olan İYM ile çalışan ilk otomobil “Motorwagen”’i üretip satışa sunmuştur [URL-1]. Motorwagen, üç tekerlekli olup motoru arkada ve yolcu oturağının alt kısmında yer almaktadır. İYM’ye sahip olan bu araç 0.55 kW’lık güç ile maksimum 16 km/saat hıza çıkabilmektedir. 19. yüzyılın son dönemlerine doğru Amerika, İngiltere ve Fransa’da birçok şirket EA üretmeye başlamıştır. Bu üreticilerden en önemlisi Morris ve Salomon’un sahibi olduğu Electric Carriage and Wagon Company adlı şirkettir. Morris ve Salomon 1895 yılında iki oturma koltuğu olan Şekil 3’teki “Electrobats” isimli elektrikli aracı geliştirmişlerdir [URL-2]. 1901’de “New York Taxi” firması da Şekil 4’te verilen elektrikli araçları taksi olarak kullanmaya başlamıştır [Kerem, 2014]. Amerika’da bu gelişmeler devam ederken, 1897 yılında İngiltere’de Londra Elektrikli Taksi Şirketi (London Electrical Cab Company) tarafından Şekil 5’teki taksilerden on beş tanesi kullanıma alınmıştır [URL-3].

1900-1912 yılları arasında, EA’larda popülerliği artan araştırma ve geliştirme konularından birisi; araçların menzilin ve performansını artırma düşüncesidir. 1916 yılında, EA’lar ile İYM’ye sahip araçların avantajlarından yararlanabilmek için Woods marka HEA’lar tasarlanarak performans artırma çalışması yapılmıştır [Gökden, 2013]. EA’lar alanında gelişmeler olurken, İYM ile çalışan araçlar alanında da gelişmeler hız kazanmıştır. 1920 yılında Kanada, Polonya, İsveç, Ukrayna ve ABD’de bulunan petrol yataklarıyla; petrol miktarı bollaşarak fiyatı ucuzlamış, kara yollarının gelişimiyle uzun mesafe seyahatler uygun hale gelmiştir. İYM’ye sahip araçların kullanımını artıran bu gelişmelerin yanında Ford’un seri üretim sürecine geçmesi, o yıllarda EA’ların kullanımının azalmasında en önemli etkenlerden biri haline gelmiştir. Petrol fiyatlarının aşağı çekilmesi, yakıt ile çalışan araçların üretim ve kullanım maliyetlerini de aşağı indirmiştir. İYM alanına yönelen teknolojik çalışmaların etkisiyle, petrolü yakıt olarak kullanan araçların menzil mesafeleri artırılmıştır. Batarya ile çalışan EA’ların menzil mesafesi ise bu artışa uyum sağlayamayarak, İYM’ye sahip araçlara olan ilginin gölgesinde

kalmışlardır. İlginin değişmesinin nedenleri araştırıldığında; ticarileşebilir bir ürünün rekabet edebilmesi için maliyetinin azaltılarak teknolojik seviyesinin artırılmasının önemi ve gereği ortaya çıkmıştır [Tuncay & Üstün, 2014]. EA'lar alanında ortaya çıkan yaklaşık 50 yıllık bir duraksama ve azalan ilgi, EA'ların 1960'lı yıllarda tekrar popülerlik kazanmasıyla son bulmuştur. EA alanında yaşanan bu canlanmanın sebepleri arasında; 1960'lı yıllarda Ford Araştırma Laboratuvarı'nda geliştirilen sodyum sülfür (NaS) bataryalar yer almaktadır. EA'ların tahrik sistemlerinin işleyişi için gereken güç ve enerjinin sağlanması için NaS bataryalar geliştirilmiştir. O yıllarda Doğu Asya, Avrupa ve Amerika'daki birçok şirkette NaS bataryaların ticari prototipleri kullanılmaktaydı. Kullanım tercihlerinde, NaS bataryaların enerji depolama kapasitelerinin kurşun asit bataryaların yaklaşık olarak dört katı olması etkili olmuştur.

İçten yanmalı, elektrikli ve hibrit elektrikli araç teknolojileri alanında ortaya çıkan gelişmelerle birlikte İYM'li araçları EA'ya dönüştüren bazı önemli otomotiv şirketleri de ortaya çıkmıştır. Aynı dönemde, EA'lar alanında farklı ve yeni tasarımlar yapmak için birçok firma girişimde bulunmuştur. Örnek olarak; 1966 yılında Ford Motor aşağıda sıralanmakta olan gereklilikleri sağlayabilmek için tasarım çalışmalarına başlamıştır:

- Düşük kirlilik oranı,
- Kolay çalışma,
- İlk satın alma maliyetinin düşük olması,
- Kullanım maliyetinin düşük olması,
- Az yer kaplayacak hacimsel tasarıma sahip olması.

1966 yılında İYM ile çalışan Corvair'ı temel alarak çalışma yapan General Motors (GM) şirketi, "Electrovair II" isimli EA üzerinde deneyler yapmıştır. Ford'un yapmış olduğu çalışmalarını yakından takip eden GM firması, İYM ile çalışan "Corvair" isimli araçla aynı performansı verebilen, bir alternatif akım motoru (AAM) olan indüksiyon motorunu (İM) kullanmıştır [URL-4]. 1967 yılında ilk prototip yapılmış ve Şekil 6'da görülmekte olan bu araca "Comuta" adı verilmiştir [Koç, 2012]. Comuta'da, ön tekerlerin

tahrik işlemini sağlayan iki adet doğru akım motoru (DAM) yer almaktadır. İlgili EA'da DAM'ın titreşimini kontrol eden bir sistem geliştirilmiştir. Comuta'ya güç aktarımı toplam ağırlığı 170 kg olan 4 adet kurşun asit bataryadan sağlanmaktadır. Azami hızı 64 km/saat olan araç, 40 km/saat hız ile 64 km menzile ulaşabilmektedir [Ustabaş, 2014].

General Electric (GE) şirketi 1968 yılında "Delta" aracının uygulamasını ortaya çıkarmıştır. Azami hızı 89 km/sa'ya ulaşabilen aracın menzil mesafesi 64 km'dir. Delta elektrikli aracında nikel demir (NiFe) bataryalar kullanılmıştır. GE ile aynı yıl Ford firması elektrikli araçlarında, özellikle havacılık alanında sıklıkla tercih edilen nikel kadmiyum (NiCd) bataryaları kullanarak "E-Car" aracının prototipini tamamlamıştır. 1960'lı yıllarda EA'lar alanında artan ilgi, 1970'li yılların ortalarına doğru patlak veren petrol krizinden dolayı hızlı bir şekilde ivme kazanmıştır. Yaşanan petrol ve enerji krizinden dolayı Japonya, Amerika, Almanya, İngiltere ve İtalya gibi birçok ülkede, EA'lar alanındaki araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çalışmalarına tekrar yoğunlaşmaya başlanmıştır. 1970'li yıllar ise EA'ların Avrupa kıtasında geliştirilerek kullanıldığı dönemdir. 1973'te Electricite de France firması, konvansiyonel yakıt kullanan 80 tane aracı elektrik motoru ile hareket edebilir hale çevirmiştir. Aynı yıllarda, sanayinin ve makine teknolojisinin hızla gelişerek değişiklik gösterdiği Almanya'da Volkswagen ve Daimler-Benz firmaları EA'lar üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. İtalya'da 1975 yılında, otomotiv firması Fiat tarafından "X1/23B" adıyla prototip bir ürün hazırlanmış ve bu ürün üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Gücünü kurşun asit bataryalardan alarak DA motoru sayesinde hareket ederek azami 64 km/saat hıza ve 48 km menzil mesafesine ulaşabilen Fiat'ın X1/23B aracı 2 yolcu taşıma kapasitesi sahiptir.

Kurşun asit bataryalar ile güç verilen EA'ların ilk örneklerinde, tahrik sistemi olarak DA motorları kullanılmıştır. Gelişen ve değişen teknolojinin etkisiyle, 1980'li yıllardan itibaren EA'larının tahrik sistemlerinde, alternatif akım (AA) motorlarının kullanılmaya başlandığı görülmektedir. 1970'li yıllarda ortaya çıkan

petrol ve enerji krizinin etkisiyle ilerleyen zamanlarda çevre dostu teknolojilerin gelişimi hız kazanmıştır. EA'ların çevreye duyarlı avantajlı özelliklerinden dolayı 1980'li yıllarda birçok ülke, EA'lar alanında yapılan çalışmalara ilgi göstererek özel maddi destekler vermeye başlamıştır [URL-5]. Bu desteklerin örneği olarak; ABD Enerji Bakanlığı'nın desteğiyle ortak çalışmalar yapan General Electric (GE) ve Ford firmaları "ETX-1" aracının geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmışlardır. 200 V'luk kurşun asit bataryalar ile enerji sağlanan araçlardaki tahrik sisteminde ise indüksiyon motorları kullanılmıştır. Ford ve GE ortak çalışmalarını devam ettirerek ETX-1 aracının tahrik sistemini 1988 yılında geliştirmişlerdir. Aracın tahrik sistemine güç sağlayabilmek amacıyla kurşun asit batarya yerine NaS bataryaları tercih etmişlerdir. İlerleyen süreçte, Ford Araştırma Laboratuvarları'nda geliştirilen tahrik sistemi parçalarından esinlenerek "ETX-2" ismiyle prototip bir ürün geliştirilmiştir. NaS bataryalara sahip olan ETX-2 aracı 96 km/sa hıza ve 160 km yol gidebilme performansına sahiptir. 1988 yılında Fransa'da, birçoğu Citroen C15 veya Peugeot 205 model ürünlerinin dönüştürülmüş hali olan 500 civarında EA deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Aynı yıllarda "GES City Stromer" isimindeki EA'nın dönüşümü gerçekleştirilerek Avrupa Güvenlik Standartları'nı karşılayabilir seviyeye çıkartılmıştır [Tuna, 2008].

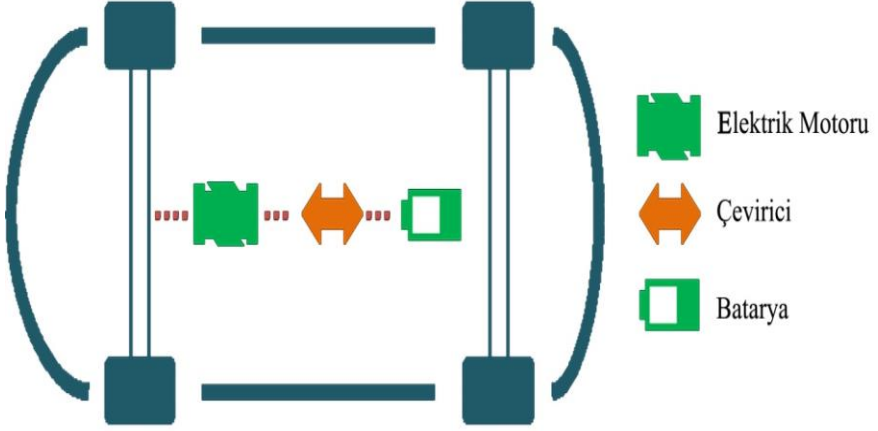
Elektrikli Araç Çeşitleri

EA'ları tamamen elektrikle çalışan araçlar ve HEA olmak üzere iki ana kısımda incelemek mümkündür. Tamamen elektrikle çalışan araçlarda, araç tahriki elektrikli motorlarla sağlanmaktadır. Şekil 7'de görüldüğü üzere; bataryalardan gelen güç, çeviriciler tarafından istenilen forma dönüştürülerek elektrik motoruna aktarılmaktadır. Tamamen elektrikle çalışan araçlardaki menzil dezavantajının ortadan kaldırılması amacıyla hem İYM hem de EM kullanılan HEA'lar ortaya çıkmıştır. HEA'lar da kendi içerisinde dört ayrı sınıfa ayrılmaktadır:

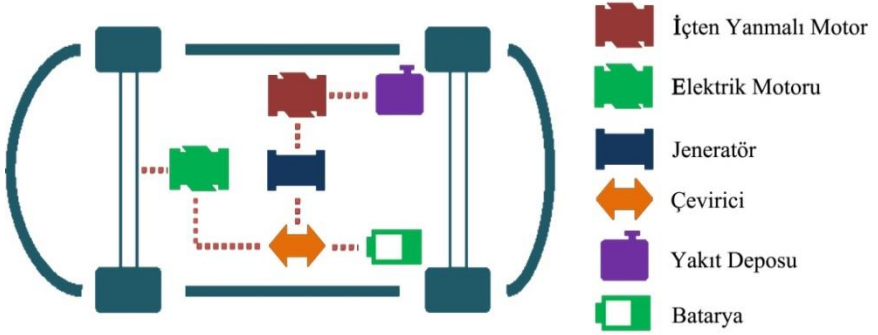
1. Seri HEA,
2. Paralel HEA,

3. Seri-paralel HEA,
4. Kompleks HEA.

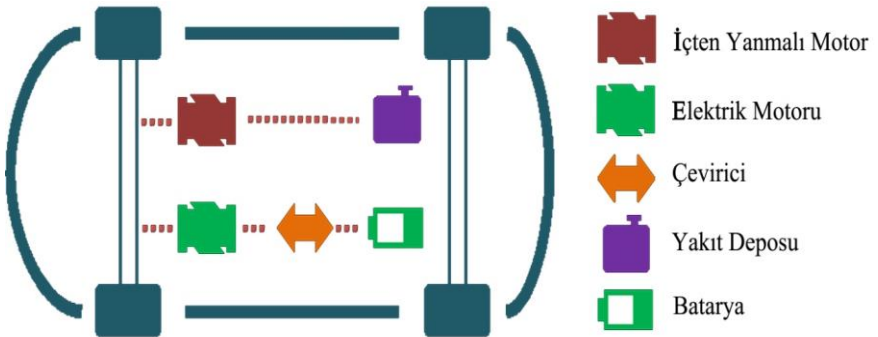
Şekil 8’de verilmekte olan seri HEA’ların tahriki EM ile sağlanmaktadır. Seri HEA’ların bileşenleri içerisinde yer alan içten yanmalı motor ise yakıt harcayarak jeneratörü çalıştırmaktadır. Jeneratörde üretilen elektrik enerjisi, çevirici üzerinden EM’ye ve/veya bataryalara aktarılmaktadır. Şekil 9’da görülmekte olan paralel HEA’nın tahriki hem EM hem de İYM ile ayrı ayrı sağlanabilmektedir. Seri HEA ile paralel HEA’nın özelliklerinin birleştirilmesiyle ortaya çıkan diğer bir araç türü ise Şekil 10’da verilmekte olan seri-paralel HEA’lardır. Seri-paralel HEA’larda, araç tahriki hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor ile ayrı ayrı sağlanabilmektedir. Ayrıca, jeneratör yardımıyla üretilen elektrik enerjisi çevirici üzerinden bataryayı şarj etmektedir veya elektrik motoruna enerji sağlamaktadır. Seri-paralel HEA, hem seri HEA hem de paralel HEA avantajlarına sahip olmasına rağmen; nispeten daha karmaşık ve maliyeti daha yüksektir. HEA türlerinden sonuncusu ise Şekil 11’de verilmekte olan kompleks HEA’lardır [Çarkıt & Üstkoyuncu, 2019]. Adından da anlaşılacağı üzere; bu sistem yapı olarak seri-paralel HEA’lara benzemesine rağmen temel farklılığı ise her iki motorun aracı tahrik etme işleminde birlikte kullanılabilmesi ve İYM’nin jeneratör yardımıyla bataryayı şarj etmesidir.



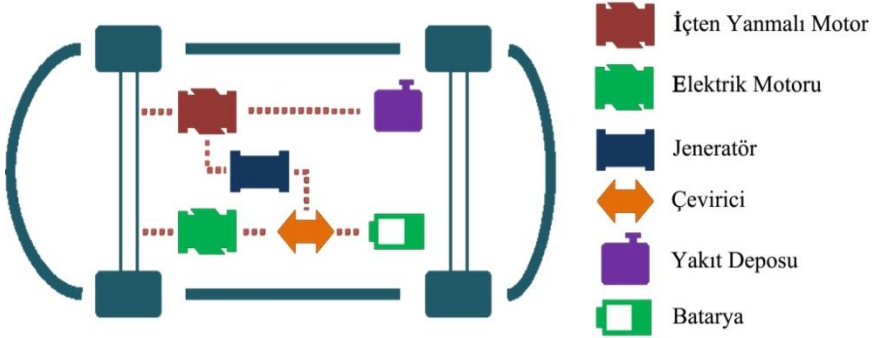
Şekil 6. Tamamen elektrikle çalışan araçların yapısı.



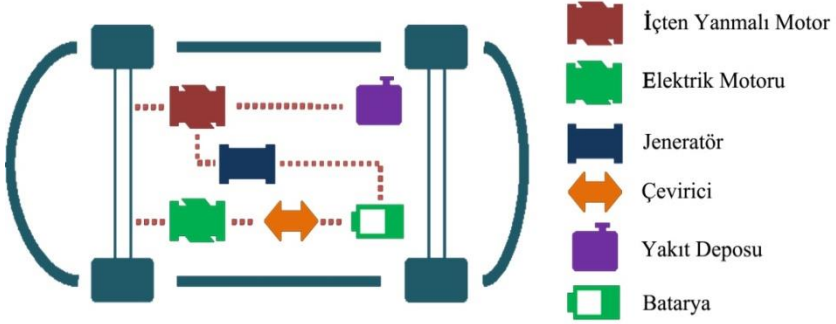
Şekil 7. Seri hibrit elektrikli araçların yapısı.



Şekil 8. Paralel hibrit elektrikli araçların yapısı.



Şekil 9. Seri-paralel hibrit elektrikli araçların yapısı.



Şekil 10. Kompleks hibrit elektrikli araçların yapısı.

Sonuçlar

EA teknolojileri içerisinde yer alan gelişmeler incelendiğinde görülmektedir ki; günümüzde kullanılan içten yanmalı motora sahip araçların sebep olduğu gürültü ve çevre kirliliği dezavantajlarının etkisiyle, elektrikli araçların üzerinde yapılan çalışmalar popülerliğini artırarak daha çok ilgi toplamış ve çalışmalar için önemli bir konuyu oluşturmuştur. Elektrikli araçların tasarımları ve çeşitleri zamana ve ihtiyaçlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Temelde tam elektrikli ve hibrit elektrikli olarak sınıflandırılan elektrikli araç çeşitlerinin kendilerine has özelliklerinden dolayı birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Önemli olan nokta; hangi özelliğin öne çıkartılması

isteniyorsa ona uygun bir araç çeşidinin tercih edilmesidir. Elektrikli araçlar popüler bir çalışma alanı oluşturduğu için kullanıcı ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğundan dolayı bu alanda yapılmakta olan birçok araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Referanslar

Başer, E. 2016. Elektrikli araçlarda yol koşullarına uygun motor seçimi algoritması geliştirme. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77 s.

Çarkıt, S. 2020. Elektrikli araç tahrik sistemleri için akı anahtarlamalı motor tasarımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68 s.

Çarkıt, S., Üstkoyuncu, N. 2019. Elektrikli araçlar ve elektrikli araçlarda kullanılan elektriksel tahrik sistemleri. Trakya Üniversiteler Birliği IV. Lisansüstü Öğrenci Kongresi, ss. 30-31.

Gökden, F.B. 2013. Elektrikli araçlar için iki fazlı yalıtımsız faz kaydırmalı çift yönlü DA-DA dönüştürücü tasarımı ve uygulaması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95 s.

Kartal, M.R. 2018. Elektrikli araçlarda kullanılan farklı batarya ve elektrik motorlarının sürüş çevrimlerine göre performans analizi elektrikli araçlarda kullanılan farklı batarya ve elektrik motorlarının sürüş çevrimlerine göre performans analizi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 150 s.

Kerem, A. 2014. Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 1-13.

Koç, C. 2012. Hibrid araçlarda değişik parametrelere göre elektrik motoru seçimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91 s.

Tuna, M. 2008. Hibrit elektrikli araçlarda (HEA) kullanılan konvertörlerin genelleştirilmiş durum uzay ortalama (GSSA) yöntemi ile modellenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135 s.

Tuncay, N., Üstün, Ö. 2014. Elektrikli araç teknolojisi önündeki fırsatlar ve tehditler. Arge Dergisi, 2(5), 12-14.

URL-1: Wikipedia (2020). Benz Patent Motorwagen. (30/07/2020 tarihinde https://en.wikipedia.org/wiki/Benz_Patent-Motorwagen adresinden ulaşılmıştır).

URL-2: Electric Vehicles News (2020). Electrobat. (30/07/2020 tarihinde <https://www.electricvehiclesnews.com/Footer/History/Companies/Electrobat.html> adresinden ulaşılmıştır).

URL-3: Jodson Concept (2020). Londra Taksi: Tarih, Markalar, (30/07/2020 tarihinde <https://tr.judsonconcept.com/4226045-london-taxi-history-brands> adresinden ulaşılmıştır).

URL-4: My Car Quest (2013). 1966 GM Electrovair II Electric Car. (30/07/2020 tarihinde <https://mycarquest.com/2013/04/1966-gm-electrovair-ii-electric-car-gm-could-have-been-the-world-leader-in-electric-car-technology.html> adresinden ulaşılmıştır).

URL-5: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (2018). Elektrikli Araçlar. (30/07/2020 tarihinde <https://www.dunyaenerji.org.tr/elektrikli-araclar/> adresinden ulaşılmıştır).

Ustabaş, A. 2014. Mikro ve makro etkileri yönünden elektrikli otomobiller (Türkiye ekonomisi örneği). Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi, 36(1), 269-291.

BÖLÜM III

Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Türkiye'deki Gelişimi

Kerim KARABACAK¹

Giriş

Enerji talebinin sürekli bir artış gösterdiği bir dönemde, sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu kapsamda, güneş enerjisi temelli fotovoltaik (PV) enerji sistemleri, dünya genelinde enerji portföylerinde daha etkili bir rol oynamakta ve çevre dostu bir enerji üretimi sağlamaktadır. Bu bölüm, özellikle Türkiye'nin bu evrimsel dönemde fotovoltaik enerji sistemlerindeki gelişimini incelemeyi amaçlamaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu, iklim yapısı ve enerji talepleri, ülkeyi fotovoltaik enerji sistemlerinin uygulanabilirliği ve yaygınlaştırılmasına özel bir önem kazandırmaktadır. Bu bölümde,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kütahya,

Türkiye'deki fotovoltaik enerji sistemlerinin geçmişten günümüze olan evrimi, teknolojik ilerlemeler, yatırımlar, politika etkileşimleri ve gelecek projeksiyonları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu bağlamda, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri alanındaki başarıları ve karşılaştığı zorluklar, sürdürülebilir enerji dönüşümüne ilişkin geniş bir perspektif sunulmaktadır.

Fotovoltaik enerji sistemleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren teknolojileri içermesi açısından enerji sektöründe önemli bir çözüm sunmaktadır. Türkiye, bu teknolojik evrimde kendi benzersiz koşulları ve stratejik hedefleriyle şekillenen bir oyuncu olmuştur. Son yıllarda, Türkiye'deki fotovoltaik enerji sistemleri, hem kapasite hem de teknoloji bakımından önemli gelişmeler kaydetmiştir. Yatırımların artması, teknolojik yeniliklerin benimsenmesi ve sürdürülebilir enerjiye olan talebin güçlenmesi, Türkiye'yi fotovoltaik enerji sektöründe önemli bir oyuncu yapmaktadır.

Türkiye'deki fotovoltaik enerji sistemlerinin gelişimi, sadece teknolojik ilerlemelerle değil, aynı zamanda politika ve stratejik yönlendirmelerle de şekillenmektedir. Türk hükümeti, sürdürülebilir enerjiye olan taahhüdünü güçlendirmek adına çeşitli politika önlemleri ve teşvikleri hayata geçirmiştir. Bu kapsamda, fotovoltaik enerji sistemlerine yönelik sağlanan finansal destekler, vergi avantajları ve enerji altyapısının geliştirilmesi gibi önlemler, sektördeki büyümeyi desteklemektedir. Ancak, bu politika önlemlerinin uygulanması ve etkilerinin değerlendirilmesi, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerindeki gelişim sürecini anlamak açısından kritik bir öneme sahiptir.

Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki evrimi, sadece teknoloji ve politika etmenlerinden etkilenmekle kalmamış, aynı zamanda ekonomik dinamiklerle de şekillenmiştir. Yatırımcıların ve enerji şirketlerinin sektöre olan ilgisi, hem yerel hem de uluslararası düzeyde büyük ölçekli fotovoltaik projelerin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Ayrıca, fotovoltaik projelerin Türkiye'nin ekonomik büyümesine olan etkisi ve yerel istihdama olan katkısı üzerindeki etkileri incelenecektir. Ekonomik dinamiklerin,

Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektöründeki gelişimini nasıl etkilediği konusundaki anlayışımızı derinleştirmek, sektördeki potansiyeli daha iyi değerlendirmemize katkı sağlayacaktır.

Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki gelişimi, sadece şu anki durumu değil, aynı zamanda gelecekteki projeksiyonları da ele almalıdır. Bu noktada, sektördeki potansiyelin tam olarak değerlendirilebilmesi için Türkiye'nin fotovoltaik enerji stratejilerine ve gelecek projelerine odaklanmak önemlidir. Yenilenebilir enerjiye dayalı enerji üretimine yönelik politikaların ve teknolojik yeniliklerin, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektöründe nasıl bir evrim geçirebileceğini anlamak, sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşma yolunda önemli bir rehberlik sağlayacaktır.

Fotovoltaik enerji sistemleri, Türkiye'de giderek daha fazla ilgi görmekte ve gelişmektedir. Akcan ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, Türkiye'nin güneydoğusundaki Batman ilinde birbirine bağlı 30 kW güneş fotovoltaik şebekenin tam bir modellemesi ve simülasyonu gösterilmiştir (Akcan & ark., 2020). Bu tür çalışmalar, fotovoltaik enerji sistemlerinin performansını coğrafi konum, güneş modülü tipleri ve güneş görme potansiyeli gibi faktörlerle ilişkilendirmektedir. Özdemir ve Özmen (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı tipteki fotovoltaik güneş panellerinin Düzce için 2014-2019 yılları arası yaz ayları performans ve verimlilik analizi yapılmıştır (Özdemir & Özmen, 2023). Bu tür analizler, fotovoltaik panellerin verimliliğini ve performansını belirlemek için önemli bir rol oynamaktadır.

Ayrıca, Varlı ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, bölgesel güneş enerji potansiyeli ve enerji santrali yatırımı değerlemesi yapılmıştır (Varlı ve ark., 2022). Bu tür çalışmalar, fotovoltaik enerji sistemlerinin ekonomik potansiyelini ve yatırım getirisini değerlendirmek için önemli bir kaynak sağlamaktadır. Öte yandan, Aslay (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemi ile güneş enerjisi sistemlerinde panel seçiminin önemi vurgulanmıştır (Aslay, 2021). Bu tür analizler, fotovoltaik panellerin seçimi ve kurulumunda karar verme süreçlerine rehberlik etmektedir. Öztürk ve ark. (2012) tarafından

yapılan bir çalışmada, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak bir evin elektrik ihtiyacını karşılamada kullanılan fotovoltaiik enerji sistemlerinin ömür boyu maliyet analizleri hesaplanmıştır (Özturk ve ark., 2012). Bu tür analizler, fotovoltaiik enerji sistemlerinin ekonomik yönlerini değerlendirmek için önemli bir kaynak sağlamaktadır.

Güneş enerjisi potansiyeli, Türkiye'nin enerji sektöründe giderek daha fazla önem kazanan bir konudur. Türkiye'nin coğrafi konumu, güneşlenme süresi ve güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça avantajlıdır. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir (Kum ve ark., 2019). Bu durum, Türkiye'nin güneş enerjisi sistemlerinin kurulması için uygun bölgeleri bulmak ve projelerin fizibilite çalışmalarını gerçekleştirmek için güneş enerjisi haritalarının kullanılmasını teşvik etmektedir (Yıldırım, 2022).

Akcan ve ark. (2020), güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Türkiye için fotovoltaiik (PV) sistemlerinin büyük önem taşıdığını belirtmektedir (Akcan & ark., 2020). Ayrıca, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin yaklaşık olarak günlük ortalama 7,5 saat güneşlenme süresi ve yıllık toplam ortalama 2741,07 saat/yıl olduğu belirlenmiştir (Gürbüz, 2021). Bu durum, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu ve güneş enerjisi sistemlerinin ülke genelinde yaygınlaşmasını desteklemektedir.

Ayrıca, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin sadece elektrik üretimi için değil, aynı zamanda endüstriyel uygulamalar ve sürdürülebilir ulaşım gibi farklı alanlarda da kullanılabileceği vurgulanmaktadır (Koçak & Paksoy, 2020; Tercan, 2021). Bu durum, güneş enerjisinin Türkiye'nin enerji portföyünde çeşitli alanlarda kullanılmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir ve ülke genelinde güneş enerjisi sistemlerinin kurulması ve kullanılması için büyük bir fırsat sunmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin enerji sektöründe sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik daha fazla yatırım yapmasını teşvik etmektedir.

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

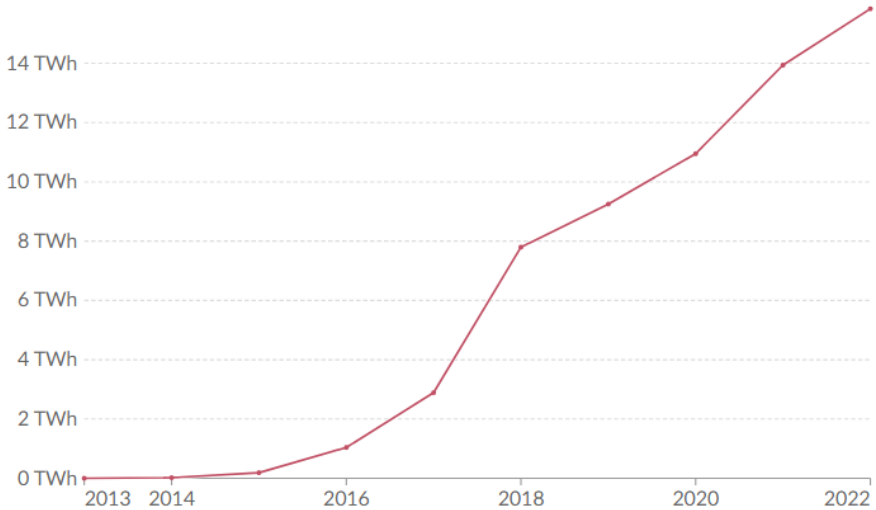
Türkiye, coğrafi konumu ve geniş güneşli gün sayıları ile önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel, fotovoltaik enerji sistemlerinin ülkede gelişimine önemli bir zemin oluşturmaktadır. Özellikle Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri, yüksek güneşlenme süreleri ile fotovoltaik enerji üretimi için ideal bölgeler arasında yer almaktadır. Bu bölgelerdeki fotovoltaik enerji potansiyeli, sadece mevcut enerji ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp aynı zamanda enerji ihracatı için de önemli bir fırsat sunmaktadır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, sadece coğrafi avantajları ile sınırlı değildir; aynı zamanda teknolojik gelişmeler ve yatırımlarla daha da artmaktadır. Özellikle fotovoltaik teknolojilerdeki ilerlemeler, verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek adına sektöre yeni olanaklar sunmaktadır.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek, sadece enerji üretimi açısından değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği artırma ve enerji bağımsızlığını sağlama açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Bu potansiyeli en iyi şekilde değerlendirmek için Türkiye, fotovoltaik teknolojilerdeki en son gelişmeleri benimsemeli ve bu alanda yapılan araştırma ve geliştirmeye daha fazla yatırım yapmalıdır. Bu şekilde, Türkiye hem iç enerji ihtiyaçlarını karşılamak hem de bölgeler arası enerji ticaretine liderlik etmek adına güneş enerjisi potansiyelini en üst düzeye çıkarabilir.

Bu çerçevede, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeliyle ilgili politika önlemleri ve teşvikler de kritik bir rol oynamaktadır. Türk hükümeti, güneş enerjisi alanında yapılan yatırımları desteklemeli, yenilenebilir enerji projelerini teşvik etmeli ve bu alandaki teknolojik yeniliklere odaklanmalıdır. Bu politika adımları, Türkiye'yi sürdürülebilir enerji üretimi konusunda öncü bir konuma taşıyarak hem ekonomik büyümeyi hem de çevresel sürdürülebilirliği destekleyecektir.

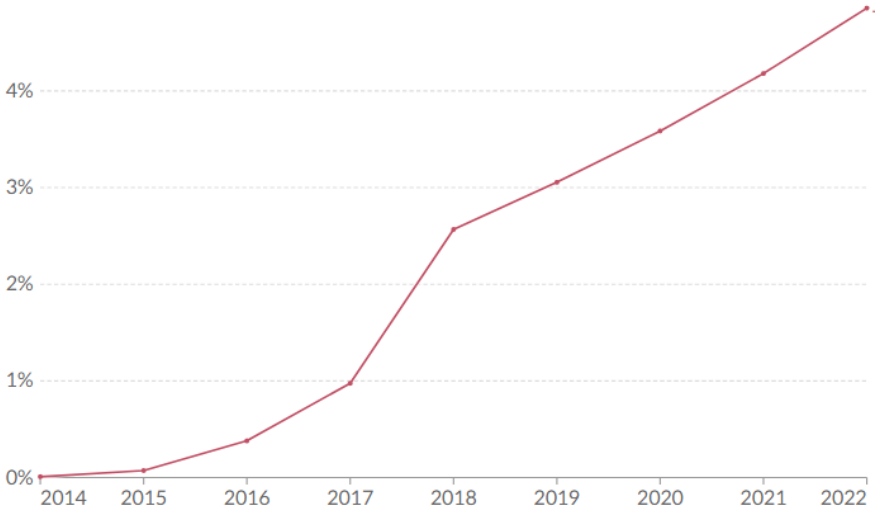
Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek ve çeşitlidir. Türkiye, yılda ortalama 2,640 saat güneşlenme süresine sahiptir. Bu, güneş enerjisi sistemlerinin etkin bir şekilde çalışması

için oldukça uygun bir ortam sağlar. Türkiye genelinde ortalama güneş radyasyonu yılda 1,000 kWh/m² civarındadır. Bu, fotovoltaik panellerin bir metrekarelik bir alanda yılda ortalama 1,000 kilovat saat enerji üretebileceği anlamına gelir. Türkiye'nin coğrafi konumu, özellikle Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri olmak üzere birçok bölgede yüksek güneşlenme sürelerini ve güneş radyasyonunu destekler. Bu bölgeler, fotovoltaik enerji sistemleri için idealdir. Türkiye, güneş enerjisi kapasite faktörleri açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Büyük güneş enerjisi santrallerinin kurulduğu ve kurulmaya devam edildiği bölgelerde, kapasite faktörleri oldukça yüksektir. Bütün bu veriler, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu ve bu alanda önemli bir büyüme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Türkiye'nin bu potansiyeli etkin bir şekilde değerlendirmesi, sürdürülebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamasına olanak tanır. Grafik 1, Türkiye' de yıllara göre fotovoltaik panellerden enerji üretimini göstermektedir. 2023 yılında fotovoltaik paneller ile üretilen enerji miktarı 15.8 tera-wat saattir.



Grafik 1. Türkiye' de yıllara göre fotovoltaik santrallerde üretilen toplam enerji miktarı. (<https://ourworldindata.org/renewable-energy>)

Türkiye’de, yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji üretimi içindeki payı, her geçen yıl artmaktadır. 2023 yılında fotovoltaik enerji sistemleri toplam kurulu gücü 9 GW değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte, 2023 yılında fotovoltaik enerji sistemleri ile üretilen elektrik enerjisi, toplam enerji üretiminin %5 ine karşılık gelmiştir. Grafik 2, Fotovoltaik enerji ile gerçekleşen elektrik enerjisi üretiminin toplam enerji üretimi içindeki payının yıllara göre değişimini göstermektedir.



Grafik 2. Fotovoltaik enerji ile gerçekleşen elektrik enerjisi üretiminin toplam enerji üretimi içindeki payının yıllara göre değişimi. (<https://ourworldindata.org/renewable-energy>)

Güneş enerjisi potansiyelimizin değerlendirilmesi, sadece enerji sektörü için değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma açısından da önemlidir. Türkiye, bu potansiyeli en üst düzeye çıkarmak ve fotovoltaik enerji sistemlerinde lider bir konuma gelmek için stratejik adımlar atmaya devam etmelidir.

Güneş enerjisi teknolojilerindeki son gelişmeleri benimsemek, sektördeki verimliliği artırmanın ve maliyetleri düşürmenin bir anahtarıdır. Ar-Ge çalışmalarına ve teknolojik yeniliklere yapılan yatırımlar, Türkiye'nin güneş enerjisi sektöründe

rekabet avantajı elde etmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda, yerel üretimi teşvik ederek ekonomik büyümeyi desteklemek ve istihdamı artırmak da önemlidir.

Politika önlemleri ve teşvikler de güneş enerjisi potansiyelimizin etkili bir şekilde kullanılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Hükümet, güneş enerjisi alanındaki yatırımları desteklemeli, enerji üretimindeki dönüşümü hızlandırmak amacıyla teşvik mekanizmalarını güçlendirmelidir. Ayrıca, güneş enerjisi projelerini hayata geçiren şirketlere vergi avantajları ve finansal destek sağlanması, sektördeki büyümeyi teşvik edecektir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, sadece iç pazar için değil, aynı zamanda bölgesel enerji ticaretinde de büyük bir rol oynayabilir. Güneş enerjisi üretimindeki artış, enerji ihracatında güçlü bir oyuncu olmamıza olanak tanır ve enerji güvenliğimizi artırabilir. Özellikle komşu ülkelerle enerji ticareti anlaşmaları yaparak bölgesel işbirliklerini güçlendirmek, Türkiye'yi enerji pazarında lider bir konuma taşıyabilir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, sadece bugünkü enerji ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda gelecek nesillere sürdürülebilir bir enerji kaynağı bırakma vizyonunu yansıtmaktadır. Güneş enerjisi, ülkemizin enerji portföyünü çeşitlendirmek ve temiz enerji dönüşümüne öncülük etmek adına büyük bir fırsattır. Bu fırsatı en iyi şekilde değerlendirmek için, devam eden yatırımlar, teknolojik yenilikler ve etkili politika önlemleri hayata geçirilmelidir.

Fotovoltaik Teknolojilerdeki Gelişmeler

Türkiye, fotovoltaik teknolojideki hızlı gelişmeleri yakından takip etmekte ve bu alanda yatırımlarını artırmaktadır. Güneş panellerinin verimliliğindeki artışlar, üretim maliyetlerindeki düşüşler ve depolama teknolojilerindeki ilerlemeler, fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki gelişimini etkileyen önemli faktörlerdir.

Türkiye'nin fotovoltaik teknolojilerdeki gelişmelere olan odaklanması, yenilikçi çözümleri benimseme ve yerel enerji üretimini artırma amacını taşımaktadır. Son yıllarda, fotovoltaik hücre

teknolojilerindeki inovasyonlar ve gelişmeler, güneş enerjisini daha etkin bir şekilde elektriğe dönüştürme kapasitesini artırmıştır. Özellikle yeni nesil güneş hücreleri, düşük ışık koşullarında bile yüksek performans sergileyerek güneş enerjisi sistemlerinin daha geniş bir coğrafi alanda etkin olmasını sağlamaktadır.

Ayrıca, fotovoltaik panellerin üretim maliyetlerindeki düşüşler, güneş enerjisi projelerinin finansmanını daha erişilebilir hale getirmekte ve yatırımcıların sektöre olan ilgisini artırmaktadır. Türkiye, bu maliyet düşüşlerini değerlendirerek büyük ölçekli güneş enerjisi santrallerini hayata geçirme konusunda önemli adımlar atmıştır. Bu durum, ülkedeki güneş enerjisi kapasitesini artırarak sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşma yolunda önemli bir kilometre taşı oluşturmuştur.

Depolama teknolojilerindeki ilerlemeler de fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki entegrasyonunu güçlendirmektedir. Güneş enerjisinin depolanması, enerji talebinin düşük olduğu dönemlerde enerji sağlama kapasitesini artırarak enerji sistemleri üzerindeki basıncı azaltabilir. Türkiye'nin bu alandaki teknolojik ilerlemeleri benimsemesi, enerji sistemlerinin daha esnek ve verimli hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin fotovoltaik teknolojilerdeki gelişmelere yönelik stratejik yaklaşımı, ülkenin sürdürülebilir enerji geleceği için umut verici bir vizyon sunmaktadır.

Fotovoltaik teknolojilerdeki son gelişmelerin ötesinde, Türkiye, yerli üretim kapasitesini artırmak ve endüstriyel entegrasyonu güçlendirmek adına stratejik adımlar atmaktadır. Ülkedeki fotovoltaik panellerin yerli üretimi, enerji güvenliğini artırmanın yanı sıra ekonomik büyümeye de katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, yerli üretimdeki artış, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerinin kurulum maliyetlerini düşürmesine ve sektörde yerel bir ekosistem oluşturmasına imkan tanımaktadır.

Türkiye, aynı zamanda enerji depolama sistemlerindeki teknolojik gelişmeleri de yakından takip etmektedir. Depolama çözümleri, enerji talebinin düşük olduğu dönemlerde fazla enerjiyi depolayarak verimliliği artırma potansiyeli taşımaktadır. Bu,

özellikle güneş enerjisi projelerinin istikrarlı ve sürekli bir enerji arzı sağlaması açısından kritik bir öneme sahiptir. Türkiye'nin enerji depolama teknolojilerine yönelik yatırımları, fotovoltaik enerji sistemlerinin güvenilirliğini ve rekabetçiliğini artırmak adına önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Bu çerçevede, Türkiye'nin fotovoltaik teknolojilerdeki gelişmeleri benimseme yaklaşımı, sadece enerji sektöründeki dönüşümü desteklemekle kalmayıp aynı zamanda yerel ekonomik büyümeye de katkı sağlamaktadır. Bu stratejik adımlar, Türkiye'nin sürdürülebilir enerji alanındaki liderliğini pekiştirmesine yardımcı olacaktır.

Türkiye'nin fotovoltaik teknolojilerdeki gelişmelere yönelik stratejik vizyonu, Ar-Ge (Araştırma ve Geliştirme) faaliyetlerine olan yatırımları içermektedir. Ülke, güneş enerjisi teknolojilerindeki en son bilimsel ve teknik gelişmeleri benimsemek ve kendi özgün inovasyonlarını geliştirmek adına Ar-Ge projelerine ağırlık vermektedir. Özellikle üniversiteler, araştırma enstitüleri ve özel sektör işbirlikleri, fotovoltaik teknolojilerin sınırlarını genişletmek ve daha verimli çözümler geliştirmek amacıyla yoğun bir şekilde çalışmaktadır.

Bu çerçevede, Türkiye'nin fotovoltaik Ar-Ge faaliyetleri, yeni malzeme teknolojileri, güneş hücre verimliliği artırma yöntemleri ve entegrasyon teknikleri gibi kritik alanlara odaklanmaktadır. Bu çalışmalar, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerinin gelecekteki zorluklara daha etkili bir şekilde yanıt vermesini sağlamak amacını taşımaktadır. Ayrıca, bu Ar-Ge faaliyetleri, ülkedeki bilim ve teknoloji altyapısını güçlendirmekte ve genç araştırmacıları bu alanlara çekerek insan kaynağı potansiyelini artırmaktadır.

Türkiye'nin fotovoltaik Ar-Ge stratejisi, sadece ulusal düzeyde değil aynı zamanda uluslararası arenada da dikkat çekmektedir. Yürütülen projeler ve elde edilen başarılar, Türkiye'nin bu alandaki küresel rekabet gücünü artırmakta ve uluslararası işbirliklerine olan talebi artırmaktadır. Bu sayede, Türkiye,

fotovoltaik teknolojilerde dünya liderleri arasındaki yerini sağlamlaştırmak için önemli bir potansiyele sahiptir.

Fotovoltaik teknolojilerdeki gelişmeler, son yıllarda Türkiye'de ve dünya genelinde büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Özellikle fotovoltaik (PV) panellerin verimliliği, maliyeti ve uygulama alanları konusunda önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Yıldırım ve Aktacı (2021), çatı üstü PV elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, fotovoltaik panel teknolojilerinin gelişimi ve elektrik potansiyeli konusunda Şanlıurfa örneğini ele almışlardır. Bu çalışma, fotovoltaik panellerin çatı üstü uygulamaları için potansiyel belirleme konusunda önemli bir adımdır(Yıldırım & Aktacı, 2021).

Ayrıca, Erel (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, sürdürülebilir enerjiye dayalı kablosuz güç transferi teknolojisinin araştırma ve analizi ele alınmıştır. Bu tür teknolojik gelişmeler, fotovoltaik enerji sistemlerinin enerji transferi ve depolama alanlarında yeni olanaklar sunmaktadır(Erel, 2022).

Öte yandan, Kılıç ve Adalı (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, çalışma ofislerinin enerji ihtiyacının güneş pilleri kullanılarak karşılanması üzerine bir maliyet analizi yapılmıştır. Bu tür çalışmalar, fotovoltaik teknolojilerin ekonomik açıdan değerlendirilmesi ve uygulama alanlarının genişletilmesi konusunda önemli bir rol oynamaktadır(Kılıç & Adalı, 2022).

Sonuç olarak, fotovoltaik teknolojilerdeki gelişmeler, Türkiye'de ve dünya genelinde sürdürülebilir enerji üretimi ve kullanımı konusunda önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu gelişmeler, fotovoltaik enerji sistemlerinin yaygınlaşması ve daha geniş uygulama alanları bulmasına olanak tanımaktadır.

Büyük Ölçekli Projeler ve Yatırımlar

Türkiye, fotovoltaik enerji üretiminde büyük ölçekli projelere odaklanarak enerji portföyünü çeşitlendirmektedir. Mega güneş enerjisi çiftlikleri ve büyük fotovoltaik santraller, ülkedeki fotovoltaik kapasitenin artmasına katkı sağlamaktadır. Yerli ve yabancı yatırımcılar, Türkiye'deki fotovoltaik potansiyelini değerlendirme konusunda önemli adımlar atmaktadır.

Bu büyük ölçekli projeler, Türkiye'nin enerji sektöründe sürdürülebilirliği artırma ve karbon ayak izini azaltma hedefleri doğrultusunda önemli bir rol oynamaktadır. Yatırımların çoğu, genellikle güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde gerçekleşmektedir. Bu bölgeler, hem büyük alanlara yayılabilecek geniş arazilere sahip olmaları hem de yüksek güneşlenme süreleri ile fotovoltaik enerji üretimi için ideal koşulları sağlamaları açısından tercih edilmektedir. Büyük fotovoltaik enerji projeleri, sadece enerji üretim kapasitesini artırmakla kalmayıp aynı zamanda bölgesel ekonomilere de olumlu etkiler sağlamaktadır. Bu projelerin inşası sürecinde yerel işgücü istihdamı, altyüklenici faaliyetleri ve yerel tedarik zinciri katılımı gibi faktörler, sürdürülebilir kalkınma ve yerel ekonomik büyüme açısından önemli bir katma değer yaratmaktadır. Türkiye'deki büyük fotovoltaik projeler, enerji talebinin karşılanmasında güvenilir bir kaynak oluşturmanın yanı sıra, ülkenin enerji bağımsızlığını artırmak ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmek adına stratejik bir öneme sahiptir. Bu projeler aynı zamanda Türkiye'yi bölgesel bir enerji lideri yapma vizyonuna önemli bir katkı sağlamaktadır. Tablo 1, Türkiye' deki 10 MW gücünden yüksek kapasitedeki fotovoltaik enerji sistemlerini listelemektedir.

Tablo 1. Türkiye' de kurulu gücü 10MW' dan yüksek olan fotovoltaik enerji santralleri

(https://www.enerjiatlası.com/gunes/#google_vignette)

Santral Adı	İl	Kurulu Güç
<u>Amasya Boyalı GES</u>	Amasya	10 MW
<u>Karapınar YEKA-1 GES</u>	Konya	1.000 MW
<u>Naturel & Esenboğa Enerji GES</u>	Ankara	118 MW
<u>Kayseri OSB Güneş Enerjisi Santrali</u>	Kayseri	50 MW
<u>Van Arısu GES</u>	Van	45 MW
<u>Özkoyuncu Madencilik Balıkesir GES</u>	Balıkesir	40 MW
<u>Kıvanç 2 GES</u>	Mersin	35 MW
<u>Teksin Enerji GES</u>	Karaman	33 MW

Santral Adı	İl	Kurulu Güç
<u>Cıngıllı GES</u>	Niğde	26 MW
<u>Akseki Büyükkalan GES</u>	Antalya	23 MW
<u>Fernas 4 GES</u>	Burdur	20 MW
<u>Küçükköy GES</u>	Antalya	19 MW
<u>Alibeyhöyüğü Güneş Enerjisi Santrali</u>	Konya	18 MW
<u>Konya Karatay Kızören GES</u>	Konya	18 MW
<u>Derinkuyu Güneş Enerjisi Santrali</u>	Nevşehir	17 MW
<u>Alages Adilcevaz Güneş Enerjisi Santrali</u>	Bitlis	16 MW
<u>Elazığ Kovancılar GES</u>	Elazığ	15 MW
<u>Gündoğan GES</u>	Adana	15 MW
<u>Özmen 1 GES</u>	Muğla	14 MW
<u>Konya Apa Güneş Enerjisi Santrali</u>	Konya	13 MW
<u>Taşkesiği GES</u>	Antalya	10 MW
<u>Makascı Mühendislik GES</u>	Konya	10 MW
<u>Büget GES</u>	Kahramanmaraş	10 MW
<u>Edikli GES</u>	Kayseri	10 MW
<u>Renoe Acıpayam GES</u>	Denizli	10 MW

Büyük ölçekli fotovoltaik projeler, Türkiye'nin enerji dönüşümüne olan taahhüdünü pekiştirmekte ve aynı zamanda bölgesel enerji güvenliğine katkıda bulunmaktadır. Bu projelerin hayata geçirilmesi, enerji arzının çeşitlendirilmesi ve güneş enerjisi kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması açısından stratejik bir önem taşımaktadır. Türkiye'nin bu alandaki yatırımları, sadece mevcut enerji taleplerini karşılamakla kalmayıp aynı zamanda gelecekteki enerji ihtiyaçlarını da öngörerek sürdürülebilir bir enerji altyapısı oluşturma vizyonunu yansıtmaktadır.

Büyük ölçekli fotovoltaik enerji santralleri, sadece yerel değil, aynı zamanda ulusal ve uluslararası ölçekte enerji piyasalarına önemli bir katkı sağlamaktadır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmeye yönelik bu büyük ölçekli projeler,

ülkenin enerji tüketimini sürdürülebilir ve çevre dostu bir yönde şekillendirmekte, aynı zamanda bölgesel enerji ticaretine olan katkılarıyla Türkiye'yi bir enerji köprüsü haline getirmektedir. Bu büyük projelerin devreye alınması, aynı zamanda yeşil enerji üretimindeki teknolojik ilerlemelerin ve maliyet azalmalarının bir yansımasıdır. Türkiye'nin bu alandaki büyümesi, güneş enerjisi sektöründe küresel rekabet avantajı elde etmesine olanak tanımaktadır. Gelecekteki büyük ölçekli fotovoltaik projelerin planlanması ve uygulanması, Türkiye'nin enerji dönüşümünde önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

Enerji Politikaları ve Teşvikler

Türk hükümeti, sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik politika ve teşvikleri ile fotovoltaik enerji sistemlerinin gelişimini desteklemektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimini teşvik eden mekanizmalar, yatırımcıları cesaretlendirmekte ve sektördeki büyümeyi hızlandırmaktadır. Türkiye'nin sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşma çabaları çerçevesinde, hükümetin enerji politikaları kapsamında fotovoltaik enerji sistemlerine yönelik çeşitli teşvik mekanizmaları bulunmaktadır. Bu mekanizmalar, özellikle güneş enerjisi projelerini çekici kılmak ve yatırımcıların bu alana ilgisini artırmak amacıyla tasarlanmıştır. Hükümet, fotovoltaik enerji sistemlerinin kurulumunu desteklemek ve enerji sektöründeki dönüşümü hızlandırmak için çeşitli finansal ve düzenleyici önlemleri hayata geçirmiştir. Bu kapsamda, enerji üreticilerine sağlanan tarife garantileri, uzun vadeli enerji alım anlaşmaları ve vergi avantajları gibi teşvikler, fotovoltaik projelere olan yatırımı teşvik etmektedir. Ayrıca, yerel üretimi desteklemek amacıyla fotovoltaik panellerin üretimi ve montajında kullanılan ekipmanlara yönelik gümrük vergisi muafiyetleri gibi politikalar, sektördeki yerel ekosistemi güçlendirmektedir. Bu teşvikler, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerinde lider konuma yükselmesine olanak tanıyan önemli bir itici güç oluşturmaktadır.

Hükümetin enerji politikalarındaki bu odaklanma, sadece kısa vadeli teşvikleri değil, aynı zamanda uzun vadeli sürdürülebilir

enerji projelerini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin enerji politikaları, fotovoltaik enerji sistemlerinin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarda sürdürülebilir bir şekilde gelişmesine katkı sağlamaktadır. Türkiye, enerji politikaları ve teşviklerini sürekli olarak güncelleyerek, fotovoltaik enerji sistemlerinin sadece kurulum aşamasında değil, aynı zamanda işletme ve bakım süreçlerinde de sürdürülebilirliğini sağlamaya odaklanmaktadır. Hükümetin bu yaklaşımı, projelerin ömür boyu performansını artırmak ve teknolojik gelişmeleri izlemek amacıyla özel sektörle işbirliği yapmayı içermektedir. Bu çerçevede, Türk hükümeti, fotovoltaik enerji sistemlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi ve bakımının yapılabilmesi için eğitim programları ve rehberlik hizmetleri sunmaktadır. Ayrıca, projelerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini desteklemek adına çeşitli ölçümler ve izleme mekanizmaları geliştirmiştir. Bu yaklaşım, fotovoltaik enerji sistemlerinin teknik performansının yanı sıra çevresel etkilerini de değerlendirerek sektörde kalite standartlarını yükseltmeyi amaçlamaktadır. Enerji politikalarındaki bu uzun vadeli vizyon, sadece yeni projelerin değil, aynı zamanda mevcut fotovoltaik enerji sistemlerinin de sürdürülebilir bir şekilde işletilmesini hedeflemektedir. Bu da Türkiye'nin sadece enerji üretiminde değil, aynı zamanda enerji yönetimi ve sürdürülebilirlik konularında da uluslararası bir öncü haline gelmesine katkı sağlamaktadır.

Türkiye, enerji politikalarını belirlerken sosyal ve toplumsal boyutları da göz önünde bulundurarak, fotovoltaik enerji projelerinin yerel topluluklar ve paydaşlar üzerindeki etkilerini en aza indirmeye odaklanmaktadır. Bu çerçevede, hükümet, projelerin planlama ve uygulama aşamalarında toplumsal katılımı artırmak için çeşitli yöntemlere başvurmaktadır. Yerel halkın projeler hakkında bilgilendirilmesi, katılımın sağlanması ve yerel ihtiyaçların dikkate alınması, fotovoltaik enerji projelerinin toplum tarafından benimsenmesini güçlendirmektedir. Ayrıca, enerji politikaları kapsamında sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu olarak, Türk hükümeti fotovoltaik projelerin bölgesel ekonomilere ve istihdama olan katkılarını güçlendirmeye yönelik çeşitli önlemleri

desteklemektedir. Yerel işgücünün eğitimi, projelerin inşası ve bakımı için yerel kaynakların kullanımı, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektöründeki sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik çabalarının bir yansımasıdır. Bu yaklaşım, sadece enerji üretimine odaklanmakla kalmayıp aynı zamanda enerji projelerinin toplumsal kabulünü artırarak, Türkiye'nin sürdürülebilir enerji dönüşümünde daha geniş bir toplumsal destek oluşturmaya yardımcı olmaktadır. Türk hükümetinin bu entegre yaklaşımı, fotovoltaik enerji sistemlerinin ülkenin enerji portföyündeki önemini artırmaya yönelik bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye'nin enerji politikalarının bir diğer önemli boyutu, Ar-Ge (Araştırma ve Geliştirme) alanına yönelik teşvik ve destekleri içermektedir. Hükümet, fotovoltaik teknolojilerin sürekli olarak geliştirilmesini ve verimliliğinin artırılmasını amaçlayan yenilikçi projelere önemli kaynaklar ayırmaktadır. Üniversiteler, araştırma enstitüleri ve özel sektör arasında güçlü bir işbirliği sağlamak amacıyla oluşturulan Ar-Ge fonları, Türkiye'nin fotovoltaik enerji teknolojilerindeki liderliğini pekiştirmeyi hedeflemektedir. Bu çerçevede, Türkiye, fotovoltaik enerji alanında yetenekli araştırmacıları ve mühendisleri çekmek ve yetiştirmek için çeşitli eğitim programları ve bursları desteklemektedir. Aynı zamanda, fotovoltaik teknolojilerin entegrasyonu, depolama çözümleri ve ağ yönetimi gibi alanlarda yürütülen projelere öncelik verilmektedir. Bu strateji, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektöründe sadece mevcut teknolojilere yatırım yapmakla kalmayıp aynı zamanda gelecekteki inovasyonlara da odaklanarak uluslararası rekabette öne çıkmasını amaçlamaktadır. Türkiye'nin Ar-Ge odaklı enerji politikaları, fotovoltaik teknolojilerin evrimini hızlandırarak ülkenin enerji dönüşümünde etkin bir rol oynamayı sürdürmektedir. Bu strateji, hem yerel sektördeki firmalara rekabet avantajı kazandırmakta hem de küresel çapta sürdürülebilir enerji çözümlerine katkı sağlamaktadır.

Zorluklar ve Çözüm Stratejileri

Türkiye'deki fotovoltaik enerji sistemlerinin gelişiminde bazı zorluklarla da karşılaşılmaktadır. Altyapı eksiklikleri, finansman

zorlukları ve enerji depolama konuları, sektörün önündeki engeller arasında yer almaktadır. Ancak, bu zorluklarla başa çıkabilmek için çeşitli çözüm stratejileri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

Fotovoltaik enerji sektöründeki zorlukların üstesinden gelmek amacıyla Türkiye, çeşitli stratejileri benimsemekte ve uygulamaktadır. Altyapı eksikliklerine yönelik olarak, hükümet, fotovoltaik enerji projelerinin yaygınlaştırılmasını desteklemek amacıyla enerji iletim altyapısını güçlendirmeye yönelik yatırımları artırmaktadır. Bu çabalar, ülke genelinde güneş enerjisi kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanma ve enerji üretimini daha dengeli bir şekilde dağıtma hedefini güçlendirmektedir. Finansman zorluklarına çözüm olarak, Türkiye, fotovoltaik projelere yönelik mali destek mekanizmalarını güçlendirmekte ve özel sektör yatırımlarını teşvik etmektedir. Devlet destekli teşvikler, düşük faizli krediler ve vergi avantajları gibi finansal önlemler, sektördeki yatırımcıların ve enerji girişimcilerinin projelerini hayata geçirme sürecindeki zorlukları en aza indirmeye yönelik önemli adımlar olarak öne çıkmaktadır. Enerji depolama konularındaki zorluklara karşı, Türkiye, gelişen enerji depolama teknolojilerini benimsemekte ve bu alandaki Ar-Ge çalışmalarını desteklemektedir. Bu strateji, enerji depolama sistemlerinin daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde entegre edilmesini sağlayarak enerji arzını daha istikrarlı hale getirmeyi hedeflemektedir. Tüm bu çözüm stratejileri, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektöründeki büyümeyi destekleyerek, sektörün karşılaştığı zorlukların üstesinden gelmeye yönelik kararlılığını yansıtmaktadır.

Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektöründeki bir diğer önemli zorluk, teknolojik yeniliklere hızlı adapte olma ihtiyacıdır. Sektör, sürekli evrilen teknolojik peyzaj nedeniyle önemli bir dinamizme sahiptir. Türk hükümeti, bu zorlukla baş etmek ve sektörün teknolojik gelişmelere ayak uydurabilmesi için çeşitli stratejileri benimsemektedir. Bunun bir parçası olarak, Ar-Ge ve inovasyonu teşvik etmek amacıyla sektöre yönelik finansal destekleri artırmaktadır. Bu çerçevede, Türkiye, üniversiteler, araştırma enstitüleri ve özel sektör arasında güçlü bir işbirliği ortamını desteklemekte ve fotovoltaik teknolojilerin Ar-Ge faaliyetlerini

hızlandırmak için projelere kaynak sağlamaktadır. Aynı zamanda, yerli ve uluslararası firmalar arasında teknoloji transferini artırmak için teşvikler sunarak, sektörün küresel en iyi uygulamalarla entegrasyonunu güçlendirmeyi hedeflemektedir. Türkiye'nin bu stratejisi, fotovoltaik enerji sektörünün rekabet avantajını sürdürmek ve ülkenin bu alanda liderliğini pekiştirmek amacıyla, teknolojik yeniliklere açık bir çevre oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu sayede, sektör, gelecekteki gelişmeleri öngörebilme ve hızlı bir şekilde adapte olabilme kapasitesini artırarak sürdürülebilir büyümeyi destekleyecektir.

Fotovoltaik enerji sektöründeki bir diğer önemli zorluk, planlama ve izin süreçlerindeki karmaşıklığıdır. Türkiye, bu zorluğa çözüm bulmak adına bürokratik süreçleri basitleştirmeyi ve projelerin hızla hayata geçirilmesini sağlamayı hedefleyen çeşitli stratejileri benimsemektedir. Bu kapsamda, hükümet, fotovoltaik enerji projeleri için izin ve lisans süreçlerini hızlandırmayı amaçlayan düzenleme ve politika değişiklikleri gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda, yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları ve özel sektör arasında etkili iletişimi teşvik etmek amacıyla paydaşlar arası diyalog platformları oluşturulmaktadır. Bu platformlar, projelerin planlama aşamasında ortaya çıkabilecek çıkar çatışmalarını azaltmayı ve toplumun projelere daha fazla katılımını sağlamayı hedeflemektedir. Türkiye'nin bu çözüm stratejileri, fotovoltaik enerji projelerinin geliştirme süreçlerini daha hızlı ve etkili hale getirerek sektördeki büyümeyi desteklemektedir. Bu yaklaşım, sadece projelerin zamanında hayata geçirilmesine katkıda bulunmakla kalmayıp aynı zamanda yerel toplulukların projelerle ilgili daha fazla bilgi sahibi olmalarını ve katılımlarını artırmalarını sağlayarak sosyal kabulü güçlendirmektedir.

Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik konularındaki küresel baskılar, fotovoltaik enerji sektöründe daha fazla dikkat ve çaba gerektirmektedir. Türkiye, enerji verimliliği konusundaki zorlukları aşmak için çeşitli stratejileri benimsemekte ve uygulamaktadır. Bu bağlamda, fotovoltaik enerji sistemlerinin daha verimli çalışmasını sağlamak amacıyla teknolojik yeniliklere ve iyileştirmelere

odaklanan Ar-Ge projelerine özel bir vurgu yapmaktadır. Bunun yanı sıra, Türkiye, enerji tüketimi ve üretimi arasındaki dengesizlikleri azaltmayı amaçlayan enerji depolama teknolojilerine yönelik stratejiler geliştirmektedir. Enerji depolama çözümleri, güneş enerjisi gibi değişken kaynakların daha etkili bir şekilde yönetilmesini sağlayarak enerji sistemini daha dengeli ve sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, enerji verimliliği konusunda farkındalığı artırmak ve toplumun bu alandaki önemli rolünü vurgulamak adına eğitim ve bilinçlendirme kampanyaları düzenlenmektedir. Bu kampanyalar, hem endüstriyel hem de bireysel düzeyde enerji tasarrufu sağlamayı teşvik ederek, fotovoltaik enerji sistemlerinin ekolojik etkilerini azaltmayı hedeflemektedir. Bu stratejiler, Türkiye'nin enerji verimliliği konusundaki zorlukları aşma çabalarını güçlendirmekte ve fotovoltaik enerji sektörünü daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru yönlendirmektedir.

Fotovoltaik enerji sektöründeki zorluklarla başa çıkma süreci, Türkiye'nin kararlılığı, çeşitlendirilmiş çözüm stratejileri ve sektöre yönelik yapılan yatırımlarla şekillenmektedir. Altyapı eksiklikleri, finansman zorlukları, enerji depolama konuları ve teknolojik yeniliklere adaptasyon gibi çeşitli zorluklara karşı, Türkiye, hükümetin liderliğinde ve özel sektörün işbirliğiyle çeşitli önlemler almıştır. Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik konularındaki küresel taleplerle başa çıkma amacı, Ar-Ge projelerine, enerji depolama teknolojilerine ve toplum bilincini artırmaya yönelik stratejilere odaklanan çözüm stratejileriyle desteklenmiştir. Türkiye'nin enerji sektöründeki bu evrim, fotovoltaik enerji sistemlerinin sürdürülebilir gelecekteki rolünü güçlendirmeye yönelik bir adımdır. Bu çerçevede, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektöründeki zorluklara karşı geliştirdiği çözüm stratejileri, sadece ulusal düzeyde değil, aynı zamanda küresel ölçekte de örnek alınabilecek niteliktedir. Türkiye'nin bu çabaları, sadece enerji üretiminde değil, aynı zamanda ekonomik kalkınmada, çevresel sürdürülebilirlikte ve toplumsal fayda sağlamada fotovoltaik enerji sistemlerinin önemini vurgulamaktadır.

Gelecek Projeksiyonları

Türkiye'deki fotovoltaik enerji sistemlerinin geleceği oldukça parlaktır. Artan yatırımlar, teknolojik yenilikler ve sürdürülebilir enerji politikaları, fotovoltaik enerji üretiminin Türkiye'de daha da yaygınlaşmasını sağlayacaktır. Bu da ülkenin enerji bağımsızlığına katkıda bulunacak ve çevresel sürdürülebilirliği artıracaktır.

Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki geleceği, sadece enerji üretiminde değil, aynı zamanda ekonomik kalkınmada ve toplumsal dönüşümde de önemli etkiler yaratacaktır. Bu çerçevede, Türkiye, fotovoltaik enerji projelerine yönelik büyük çaplı yatırımları teşvik etmeye devam edecektir. Bu yatırımlar, sektördeki iş olanaklarını artırarak yerel ekonomilere önemli katkılarda bulunacak ve istihdamı destekleyecektir. Teknolojik yeniliklerin ivme kazandığı bu süreçte, Türkiye, fotovoltaik teknolojilerdeki gelişmeleri yakından takip ederek sektördeki rekabet avantajını sürdürmeye odaklanacaktır. Gelişen fotovoltaik panellerin verimliliği, depolama teknolojilerindeki ilerlemeler ve enerji yönetimi sistemlerindeki gelişmeler, Türkiye'nin fotovoltaik enerji kapasitesini artırmasına ve enerji üretimini daha etkin bir şekilde yönetmesine olanak tanıyacaktır. Sürdürülebilir enerji politikalarının etkin bir şekilde uygulanması, Türkiye'nin karbon salınımını azaltma hedeflerine ulaşmasına katkıda bulunacaktır. Bu bağlamda, hükümetin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretimi teşvik eden mekanizmaları güçlendirmesi ve enerji verimliliği konularına daha fazla odaklanması beklenmektedir. Bu politika adımları, Türkiye'nin uluslararası sürdürülebilirlik taahhütlerine uyum sağlamasına ve yeşil enerji dönüşümünde lider bir konuma gelmesine yardımcı olacaktır. Tüm bu faktörlerin birleşimi, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri alanında sadece bir enerji üreticisi olarak değil, aynı zamanda küresel bir enerji lideri olarak konumlanmasına olanak tanıyacaktır. Bu, ülkenin gelecekteki enerji ihtiyaçlarını sürdürülebilir ve çevresel açıdan uyumlu bir şekilde karşılama potansiyelini artıracaktır.

Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki geleceğini şekillendirecek önemli bir unsur da enerji depolama teknolojilerindeki ilerlemelerdir. Türkiye, enerji depolama çözümlerine yönelik Ar-Ge çalışmalarını destekleyerek ve bu teknolojilerin entegrasyonunu teşvik ederek, enerji sektöründe önemli bir dönüşümü hızlandırmayı amaçlamaktadır. Bu çabalar, güneş enerjisi gibi değişken kaynaklardan elde edilen enerjinin depolanması ve istenildiğinde kullanılmasını sağlayarak enerji sistemlerini daha esnek ve güvenilir hale getirecektir. Özellikle akülerin maliyetlerindeki düşüşler, enerji depolama teknolojilerinin daha yaygın hale gelmesine olanak tanımaktadır. Türkiye, bu fırsatı değerlendirerek, enerji depolama sistemlerini fotovoltaik enerji projeleriyle bütünleştirmeyi ve enerji talebi ile arzını daha etkili bir şekilde dengelemeyi planlamaktadır. Bu sayede, enerji kesintilerini minimize etmek, elektrik şebekesinin güvenilirliğini artırmak ve enerji verimliliğini optimize etmek mümkün olacaktır. Ayrıca, enerji depolama teknolojilerinin kullanımının artması, enerji sistemlerinin daha fazla dağıtık ve yerel ölçekte yönetilebilir olmasını sağlayacaktır. Türkiye'nin bu yönde attığı adımlar, hem enerji güvenliğini artırmayı hem de yerel topluluklara enerji üretimi ve tüketimi konusunda daha fazla kontrol sağlamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerine entegre ettiği enerji depolama teknolojileri, gelecekteki enerji altyapısının daha sürdürülebilir ve esnek bir şekilde evrilmesine olanak tanıyacaktır.

Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri gelecekte, enerji sistemlerinin dijitalleşmesi ve akıllı şebekelerin geliştirilmesi ile daha entegre bir hale gelecektir. Bu bağlamda, Türkiye, enerji yönetimi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeleri kullanarak, fotovoltaik enerji üretimini daha etkin bir şekilde izleyecek ve yönetecek akıllı şebekelerin kurulumuna odaklanmaktadır. Akıllı şebekeler, enerji üreticileri ve tüketicileri arasında gerçek zamanlı iletişimi mümkün kılarak, enerji talebi ve arzını daha hassas bir şekilde dengeleme potansiyeli sunar. Türkiye'nin bu teknolojilere yönelik yatırımları, enerji sistemlerinin daha esnek, verimli ve

sürdürülebilir bir şekilde çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sayede, güneş enerjisi gibi değişken kaynaklardan elde edilen enerjinin en verimli şekilde kullanılması ve enerji tüketimindeki dalgalanmaların minimize edilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, akıllı şebekeler, enerji sistemlerinin güvenliğini artırarak siber saldırılara karşı dirençli bir altyapı oluşturmayı hedefler. Türkiye'nin bu alandaki stratejileri, hem enerji güvenliğini sağlamayı hem de enerji altyapısını geleceğin dijital dünyasına daha sağlam bir şekilde entegre etmeyi amaçlamaktadır. Akıllı şebekelerin kullanımı, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerini ulusal çapta daha etkili bir şekilde yönetme yeteneğini artırarak, enerji sektöründeki dönüşümün öncüsü olmasına katkı sağlayacaktır.

Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki geleceğinde, enerji sektörü ile birlikte endüstriyel ve toplumsal dönüşümü hızlandıracak bir diğer önemli unsurdur. Türkiye, fotovoltaik enerji projelerinin sosyal etkilerine odaklanarak, enerji dönüşümünün toplumun geniş kesimlerine sağlayabileceği avantajları en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, Türkiye'nin fotovoltaik enerji projelerine yönelik toplumsal kabulü artırmaya yönelik çeşitli programlar ve iletişim stratejileri geliştirilmektedir. Halkın fotovoltaik enerji sistemlerinin günlük yaşantısına olan etkileri konusunda bilinçlendirilmesi, özellikle kırsal bölgelerde, enerji yoksunluğu yaşayan topluluklar için önemli bir adımdır. Eğitim ve bilinçlendirme kampanyalarının yanı sıra, Türkiye, fotovoltaik enerji projelerine yerel katılımı artırmak amacıyla çeşitli finansal destek mekanizmalarını geliştirmektedir. Bu destekler, yerel halkın projelere ortak olmasını ve fotovoltaik enerji üretiminden elde edilen faydaların adil bir şekilde dağıtılmasını sağlamayı hedeflemektedir. Aynı zamanda, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerinin toplumsal etkilerine odaklanan stratejileri, yeni iş olanakları yaratma potansiyeli taşımaktadır. Fotovoltaik enerji sektöründeki büyüme, yeşil ekonomi alanında nitelikli iş gücü talebini artıracak ve yenilenebilir enerji sektöründe istihdam olanaklarını genişletecektir. Türkiye, bu süreçte eğitim ve meslek

kursları gibi girişimleri destekleyerek, geleceğin iş gücünü bu alanlara hazırlamayı hedeflemektedir.

Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki geleceği, uluslararası işbirlikleri ve yenilikçi projeler aracılığıyla daha da şekillenecektir. Türkiye, uluslararası enerji arenasıyla daha yakın işbirlikleri kurmayı ve bilgi paylaşımını artırmayı hedefleyerek, fotovoltaik enerji sektöründeki küresel trendlere uyum sağlamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, Türkiye, diğer ülkelerle ortak Ar-Ge projelerine katılımı teşvik eden stratejiler geliştirmektedir. Bilgi ve deneyim paylaşımı, yeni teknolojik gelişmelerin benimsenmesini hızlandırarak, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerinin uluslararası standartlara uygunluğunu artıracaktır. Aynı zamanda, bu işbirlikleri, Türkiye'nin fotovoltaik enerji alanındaki uzmanlığını güçlendirecek ve sektördeki yerini daha da sağlamlaştırarak. Uluslararası pazarlarda etkin bir oyuncu olma hedefi doğrultusunda, Türkiye, fotovoltaik enerji teknolojilerini ihraç etme konusunda yeni stratejiler belirlemektedir. Bu stratejiler, Türk şirketlerinin yurtdışındaki projelerde yer almasını teşvik ederek, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektöründe küresel bir aktör haline gelmesine katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda, bu ihracat odaklı stratejiler, Türkiye'nin ekonomik büyümesini destekleyecek ve ülke ekonomisine yeni gelir kaynakları sağlayacaktır. Sonuç olarak, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri gelecekte sadece ulusal sınırlar içinde değil, aynı zamanda uluslararası alanda da önemli bir rol oynayacaktır. Uluslararası işbirlikleri ve projeler, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektörünü küresel düzeyde daha rekabetçi ve sürdürülebilir hale getirme potansiyelini artıracaktır.

Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerinin geleceği, sadece enerji sektöründeki teknolojik gelişmelerle sınırlı kalmayacak, aynı zamanda toplumsal, ekonomik ve uluslararası boyuttaki etkileşimlerle de şekillenecektir. Ülke, fotovoltaik enerji projelerine yönelik kararlılığı, ulusal ve uluslararası işbirlikleriyle pekiştirmeye devam ederek, bu alandaki liderliğini güçlendirecek ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine önemli katkılarda bulunacaktır. Fotovoltaik enerji sistemleri, Türkiye'nin enerji portföyünü

çeşitlendirerek enerji bağımsızlığına katkıda bulunacak ve aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği destekleyecektir. Hükümetin politika ve teşvikleri, sektördeki büyümeyi hızlandırarak, fotovoltaik enerjiyi daha erişilebilir ve rekabetçi hale getirecektir. Toplumsal kabulün artırılması ve yerel katılımın teşvik edilmesi, fotovoltaik enerji projelerinin yaygınlaşmasında kritik bir rol oynayacaktır. Türkiye'nin bu alandaki eğitim ve bilinçlendirme çabaları, enerji dönüşümünün her kesim tarafından benimsenmesini sağlayarak, fotovoltaik enerjinin ülkenin enerji geleceğinde daha geniş bir rol oynamasını destekleyecektir. Uluslararası işbirlikleri ve projeler, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sektörünü küresel düzeyde daha rekabetçi hale getirmesine yardımcı olacaktır. Bilgi paylaşımı, Ar-Ge projeleri ve ihracat odaklı stratejiler, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri alanındaki uzmanlığını güçlendirerek, ülkenin uluslararası arenada etkin bir rol oynamasına imkan tanıyacaktır. Sonuç olarak, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri, sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ve enerji güvenliği konularında önemli bir katalizör olmaya devam edecektir. Gelecekteki projeksiyonlar, Türkiye'nin bu alandaki kararlılığını ve liderliğini sürdürerek, fotovoltaik enerji sistemlerini ülkenin enerji peyzajındaki vazgeçilmez bir unsur haline getirmesine olanak tanıyacaktır.

Sonuç

Türkiye, fotovoltaik enerji sistemlerinin gelişimi konusunda önemli adımlar atmış ve bu alandaki potansiyelini değerlendirmiştir. Sürdürülebilir enerjiye olan bu odaklanma, Türkiye'yi gelecekte daha temiz ve yeşil bir enerji geleceğine taşıyacaktır.

Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki gelişimi, sadece enerji sektöründe değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik boyutlarda da önemli etkiler yaratmaktadır. Bu süreç, ülkenin enerji bağımsızlığını artırarak, enerji güvenliğini sağlamak ve karbon ayak izini azaltmak açısından kritik bir rol oynamaktadır. Türkiye, fotovoltaik enerji sistemlerine olan bu stratejik yaklaşımını sürdürmeye devam ederek, sürdürülebilir bir enerji geleceğine adım atmaktadır. Fotovoltaik enerji sistemlerinin yaygınlaşması, sadece

enerji üretiminde değil, aynı zamanda yerel ekonomilerde de olumlu etkiler yaratmaktadır. Yerel iş olanaklarının artması, yeni sektörlerin gelişimi ve yerel katılımın teşvik edilmesi, fotovoltaik enerji projelerinin toplumsal kalkınmaya olan katkılarını önemli ölçüde artırmaktadır. Türkiye'nin bu alandaki sosyal ve ekonomik faydaları, fotovoltaik enerji sistemlerinin ülkenin genel kalkınma stratejilerine entegrasyonunu güçlendirmektedir. Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerindeki bu ilerlemeler, aynı zamanda uluslararası bir örnek teşkil etmektedir. Ülke, sürdürülebilir enerjiye geçiş konusundaki kararlılığı ve uyguladığı politikalarla, diğer ülkeler için bir model olma potansiyelini taşımaktadır. Türkiye'nin deneyimleri, fotovoltaik enerji sistemlerinin başarılı bir şekilde nasıl entegre edilebileceğine dair önemli öğretiler sunmaktadır. Sonuç olarak, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri, enerji dönüşümüne yönelik ulusal çabalarının bir yansıması olarak öne çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ve toplumsal refahın birleşim noktasında, fotovoltaik enerji sistemleri Türkiye'nin gelecekteki enerji portföyünde vazgeçilmez bir rol oynamaya devam edecektir.

Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki gelişimi, enerji sektörüne yalnızca temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı eklemekle kalmamış, aynı zamanda inovasyon, Ar-Ge yatırımları ve teknoloji transferi gibi alanlarda da önemli bir itici güç olmuştur. Türkiye, bu süreçte ulusal ve uluslararası düzeyde bir dizi projeyi başlatarak, fotovoltaik enerji teknolojilerindeki yenilikleri benimsemeyi ve sektöre katkı sağlamayı amaçlamıştır. Özellikle Ar-Ge projeleri, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerindeki ilerlemesini desteklemiş ve sektördeki yenilikçi uygulamaların gelişimine öncülük etmiştir. Bu projeler, üniversiteler, araştırma kurumları ve endüstriyel ortaklar arasında güçlü bir işbirliği ağı oluşturarak, sektördeki bilgi birikimini artırmıştır. Türkiye'nin bu alandaki başarıları, ülkenin fotovoltaik enerji sistemlerinde sahip olduğu potansiyelin sadece bir göstergesidir. Teknoloji transferi açısından, Türkiye, uluslararası alanda önde gelen fotovoltaik teknoloji şirketleri ile işbirlikleri kurarak, en güncel teknolojileri ülkeye getirmeyi hedeflemiştir. Bu çabalar, Türkiye'nin fotovoltaik

enerji sistemlerindeki kurulum ve bakım süreçlerinde uluslararası standartları benimsemesine ve sektördeki en iyi uygulamalara entegre olmasına olanak sağlamıştır. Bu bağlamda, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerindeki başarısı, sadece enerji sektöründe değil, aynı zamanda bilim, teknoloji ve endüstri arasındaki sinerjiyi güçlendirerek, ülkenin genel rekabet gücünü artırmıştır. Fotovoltaik enerji sistemleri, Türkiye'nin gelecekteki enerji haritasında sadece temiz enerji üretimine değil, aynı zamanda teknoloji ve inovasyon merkezi olma yolunda önemli bir kilometre taşı olma potansiyelini taşımaktadır.

Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri konusundaki başarı hikayesi, sadece enerji dönüşümüne ve teknolojik gelişmelere odaklı değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal katılım bağlamında da önemli bir yol haritası sunmaktadır. Bu başarı, sürdürülebilir enerjiye olan geçişin, ekonomik büyüme, çevresel koruma ve toplumsal kalkınma arasında sağlam bir denge kurabileceğini göstermektedir. Fotovoltaik enerji sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, Türkiye'nin enerji sektörü daha çeşitli, esnek ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmaktadır. Bu, enerji arzının güvenilirliğini artırırken, aynı zamanda çevresel etkileri minimize etme amacını taşımaktadır. Türkiye'nin bu dengeyi sağlama çabaları, diğer ülkeler için de benzer enerji dönüşümü stratejilerine ilham kaynağı oluşturabilir. Fotovoltaik enerji sistemlerindeki bu gelişmeler, toplumsal katılım ve farkındalık açısından da önemli bir zemini oluşturmaktadır. Türkiye'nin yerel halkı, fotovoltaik projelerde aktif bir şekilde yer alarak, enerji üretimine olan katkılarını artırmakta ve bu süreçte ekonomik faydalar elde etmektedir. Bu model, sadece enerji sektöründe değil, aynı zamanda toplumların enerji projelerine entegre olma konusunda nasıl motive edilebileceğini gösteren bir örnek teşkil etmektedir. Sonuç olarak, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri, sadece enerji üretimini dönüştürmekle kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir bir geleceğin anahtarını sunmaktadır. Bu başarı, Türkiye'nin enerji sektöründeki kararlılığını ve toplumsal, ekonomik açıdan sürdürülebilir bir gelecek vizyonunu yansıtmaktadır.

Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerindeki bu başarılar, gelecek için bir dizi fırsatın kapısını aralamaktadır. İlerleyen yıllarda, Türkiye'nin enerji portföyüne daha fazla fotovoltaik enerji entegre edilerek, enerji arzının çeşitlendirilmesi ve enerji güvenliği sağlanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda, ülke, fotovoltaik enerji sistemlerinin kapasitesini artırarak, enerji talebinin karşılanmasında daha etkin ve çevresel etkileri minimize eden bir yaklaşım benimsemeyi planlamaktadır. Bununla birlikte, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerindeki gelecek projeksiyonları, yenilikçi teknolojilerin benimsenmesi ve enerji depolama çözümlerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Enerji depolama teknolojilerinin daha geniş bir ölçekte kullanılması, enerji üretimindeki dalgalanmaları dengeleyerek, sürekli ve güvenilir bir enerji arzını destekleyecektir. Ayrıca, akıllı şebeke altyapıları ve enerji verimliliği önlemleri gibi alanlarda yapılacak yatırımlar, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerini daha etkin ve sürdürülebilir kılacaktır. Bu noktada, Türkiye'nin fotovoltaik enerji alanındaki başarıları, uluslararası arenada da dikkat çekmektedir. Türkiye, fotovoltaik enerji projelerindeki tecrübelerini paylaşma ve diğer ülkelerle işbirliği yapma konusundaki çabalarını artırarak, küresel çapta bir enerji dönüşümüne katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu sayede, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri dünya genelinde bir referans model olabilir ve diğer ülkelerin benzer sürdürülebilir enerji projeleri geliştirmelerine ilham kaynağı olabilir. Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerindeki gelecek vizyonu, enerji sektöründeki dönüşümün ötesinde, sürdürülebilirlik, inovasyon ve küresel işbirliğinin birleşim noktasında yatmaktadır. Bu vizyon, Türkiye'yi enerji alanında lider bir ülke konumuna taşıyarak, sürdürülebilir bir geleceğin mimarı olma potansiyelini beraberinde getirmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri konusundaki başarıları, sadece enerji dönüşümüne katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilirlik, teknoloji transferi ve toplumsal katılım gibi geniş bir perspektifi de içermektedir. Fotovoltaik enerji, Türkiye'nin enerji portföyüne entegre edilerek,

ülkenin enerji güvenliğini artırmak ve çevresel etkilerini azaltmak için önemli bir araç haline gelmiştir. Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye'deki başarısı, sadece enerji sektörüne değil, aynı zamanda ekonomik kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refah gibi alanlarda da olumlu etkiler yaratmıştır. Türkiye'nin bu alandaki çabaları, uluslararası bir örnek teşkil ederek, diğer ülkelerin benzer dönüşüm süreçlerinde rehberlik etme potansiyelini taşımaktadır. Geleceğe yönelik projeksiyonlar, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerindeki başarı hikayesini daha da derinleştirmeyi ve enerji sektöründeki liderliğini pekiştirmeyi amaçlamaktadır. Yenilikçi teknolojilere yapılan yatırımlar, enerji depolama çözümlerinin geliştirilmesi, akıllı şebeke uygulamaları ve uluslararası işbirlikleri gibi alanlardaki stratejik adımlar, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemlerini daha rekabetçi ve sürdürülebilir kılacaktır. Sonuç olarak, Türkiye'nin fotovoltaik enerji sistemleri, sadece enerji üretimini dönüştürmekle kalmamış, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği desteklemiş ve toplumsal katılımı artırmıştır. Bu başarılar, ülkenin enerji geleceği için sadece bir dönüm noktası olmanın ötesinde, sürdürülebilir bir enerji modelinin inşasına dair bir ilham kaynağı oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. (2020). Pvsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu. *European Journal of Science and Technology*, 248-261. <https://doi.org/10.31590/ejosat.685909>

Aslay, F. (2021). Topsis çok kriterli karar verme yöntemi ile güneş enerjisi sistemlerinde panel seçimi. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1008727>

Çınaroğlu, M. (2021). Şebekeye bağlı üç adet fotovoltaik enerji santralinin pvsyst programı ile analizi; kilis örneği. *El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi*. <https://doi.org/10.31202/ecjse.865649>

Erel, M. (2022). Sürdürülebilir enerjiye dayalı kablosuz güç transferi teknolojisinin araştırma ve analizi. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 22(4), 798-804. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1123921>

Gürbüz, H. (2021). Yerli elektrikli aracın elektrik sarfiyatını güneş ve rüzgâr enerjisi ile karşılama potansiyeli. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.896937>

Kiliç, M. and Adalı, S. (2022). Çalışma ofislerinin enerji ihtiyacının güneş pilleri kullanılarak karşılanması. *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 716-728. <https://doi.org/10.29130/dubited.952679>

Koçak, B. and Paksoy, H. (2020). Using solar thermal energy in industrial applications. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 769-782. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.846737>

Kum, G., Sönmez, M., & Karabaş, M. (2019). Gaziantep ilinde güneş enerjisi potansiyelinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi (ahp) ile belirlenmesi. *Journal of Geography*, 61-72. <https://doi.org/10.26650/jgeog2019-0031>

Ozturk, M., Çırak, B., & Özek, N. (2012). Life cycle cost analysis of domestic photovoltaic system. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 18(1), 1-11. <https://doi.org/10.5505/pajes.2012.76486>

Özbyay, H. and Karafil, A. (2019). Cost analysis of solar power plant for bilecik province. Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(2). <https://doi.org/10.35193/bseufbd.581946>

ÖZDEMİR, T. and Özmen, Ö. (2023). Farklı tipteki fotovoltaiik güneş panellerinin düzce için 2014-2019 yılları arası yaz ayları performans ve verimlilik analizi. Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 11(1), 381-398. <https://doi.org/10.29130/dubited.1060952>

Tercan, Ş. (2021). Sürdürülebilir ulaşım için güneş enerjili teknelerin kullanılması ve çevresel etkileri. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(1), 223-232. <https://doi.org/10.35234/fumbd.785031>

VARLI, H., TUNA, M., & TOMBUL, P. (2022). Bölgesel güneş enerji potansiyeli ve enerji santrali yatırımı değerlemesi: sincan örneği. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34(2), 657-666. <https://doi.org/10.35234/fumbd.1117094>

Yıldırım, H. (2022). İzmir menemen bölgesinin güneş ışınım tahmini için angström-prescott modeli temelli yaklaşımların değerlendirilmesi. Deu Muhendislik Fakültesi Fen Ve Muhendislik, 24(70), 179-192. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2022247017>

Yıldırım, E. and Aktacir, M. (2021). Çatı üstü pv elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi: şanlıurfa örneği. Dümf Mühendislik Dergisi, 12(1), 69-77. <https://doi.org/10.24012/dumf.860242>

<https://ourworldindata.org/renewable-energy>

https://www.enerjiatlası.com/gunes/#google_vignette

BÖLÜM IV

Elektronik Sistemlerde Hata/Arıza Arama Cihazlarının Kullanımı

Musa Faruk ÇAKIR¹

Giriş

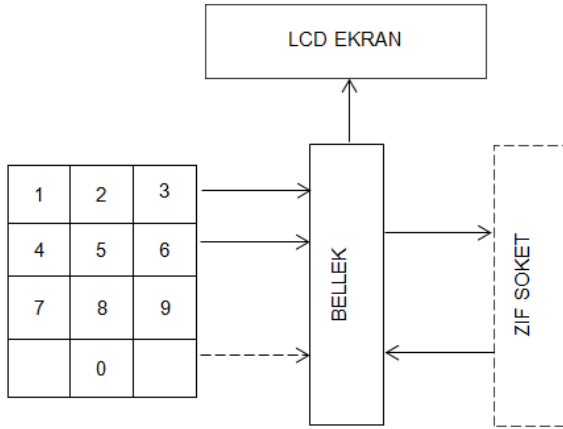
Uygulamada test cihazları olarak da bilinen gelişmiş hata/arıza arama cihazlarının temeli yazılıma dayanır. Kısaca, sağlam devre elemanlarının elektriksel özellikleri ve karakteristikleri test cihazına yüklenir. Test edilecek devre elemanı, test cihazına bağlandığında ekranda öz eğrisi görülür. Bu eğriler, sağlam normal elemanın eğrisi ile karşılaştırılarak sağlam veya bozuk olup olmadığı belirlenir. Ayrıca test altındaki devre elemanının adı ve uç dizilişleri kısa sürede anlaşılabilir. Bir diğer yazılıma dayalı gelişmiş test cihazı, fonksiyonel test yaparak sonuca ulaşacak şekilde tasarlanmıştır. Böyle cihazlar sağlam bir devre ile şüphelenilen devreyi karşılaştırarak test ederler. Bu tip cihazlarda, test altındaki devre için besleme kaynağı gerekmez ve ölü devreleri test etmek için idealdir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektronik Otomasyon Bölümü, mcakir@karatekin.edu.tr

Günümüzde yazılım temelli test cihazları birçok firma tarafından üretilip satılsa da, onları bir birinden ayıran en önemli özellik dış görünüş değil, yazılımdaki farklılıklardır. Bu bölümde hata/arıza arama ve test cihazları hakkında genel bilgiler verilecektir.

1.El Tipi Test Cihazları

El tipi test cihazları, analog ve dijital tümleşik devre elemanlarını devre dışında test etmek için tasarlanmış taşınabilir cihazlardır. Bu tip cihazlar üretilirken belleklerine test edebilecekleri tümleşik devre elemanlarının elektriksel bilgileri yüklenir. Test edilecek tümleşik devre cihaza takılıp çalıştırıldığında, cihaz belleğindeki elektriksel bilgiler test edilen tümleşik devre ile karşılaştırılır. Çok hızlı yapılan bu işlemin sonunda, test altındaki tümleşik devrenin adı, uçlarının tanıtımı ve sağlamlığı hakkındaki bilgiler, üzerindeki LCD ekrandan okunur. Şekil-1 taşınabilir tümleşik devre test cihazların fonksiyonel blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 1. Taşınabilir Tümleşik Devre Test Cihazının Fonksiyonel Blok Diyagramı

Analog ve Dijital devre elemanı Test Cihazları

Şekil 2’de iki farklı analog lineer taşınabilir tümleşik devre test cihazı gösterilmektedir. Bu cihazlar kullanılarak bilinmeyen veya adı silinmiş tümleşik devrelerin tarama ile tanınması sağlanmaktadır. Opamplar, komparatorlar, optik izolatörler, gerilim regülatörler ve özel fonksiyonlu devre elemanları test edilmektedir. Cihaz, döngü modları ile düzensiz ve aralıklı oluşan arıza tespitinde büyük kolaylık sağlar.

ABI firmasının ürettiği cihaz ile 16 pine kadar olan analog tümleşik devreler ZİF soket üzerinden cihaza bağlanabilir. LEAPER firmasının ürettiği cihaz ise, 14 pin’den 24 pin’e kadar olan analog tümleşik devreler ZİF soket üzerinden cihaza bağlanabilmektedir.



A- ABI firmasının ürünü

B- LEAPER firmasının ürünü

Şekil 2. İki Farklı Taşınabilir Analog Tümleşik Devre Test Cihazı

Şekil 3, iki farklı firmaya ait dijital, taşınabilir tümleşik devre test cihazlarını göstermektedir. Örneğin, ABI firmasının ürettiği el tipi test cihazı ile 40 pin’e kadar olan dijital TTL, CMOS, hafıza ve ara yüz devre elemanları test edilebilir. Uygun test modu seçilerek, aralıklarla oluşan ve sıcaklık kaynaklı hatalar belirlenebilir. Menü’den araştırma modu seçilip, pin sayısı girilerek kütüphanesine yüklenmiş katalog bilgilerinden test edilen tümleşik devre tanımlanabilir veya fonksiyonel eş değeri bulunabilir. Tümleşik

devrenin numarası girilerek, devre elemanının fonksiyonel tanımı ve hatalı pin'lerin durumu ekran üzerinden okunur.

VIZATEK firmasının ürünü olan test cihazı ile 14 pin'den 24 pin'e kadar olan 7400 TTL ile CD 4000 ve CD 4500 CMOS dijital tümleşik devreler test edilebilir.



ABI firmasının dijital IC test cihazı B) VIZATEK firmasının dijital IC test cihazı

Şekil 3. İki Farklı Taşınabilir Dijital Tümleşik Devre Test Cihazı

İki ve Üç uçlu (Aktif-Pasif) devre elemanları Test Cihazları

Uygulamada aktif (BJT, FET, MOSFET, Tristör, Triyak, Opamp gibi) ve pasif (direnç, bobin, kondansatör gibi) devre elemanlarını test etmede kullanılan bir diğer test cihazı şekil 4'deki gibidir. Cihaz üzerinde besleme uçları, ekran, ZİF soket ve test başlatma butonu bulunur. Bunun dışında cihaza fonksiyonellik sağlayan, hafızasına yüklenmiş yazılımdır.

ZİF sokete bağlanacak devre elemanının uçları 1 2 3 şeklinde gösterilmiştir. Eğer iki uçlu bir devre elemanı test edilecekse, ZİF soket üzerinde 1-2 , 1-3 veya 2-3 nolu uçlara bağlanıp, test butonuna basıldığında 2 saniye sonra, test edilen devre elemanının sembolü,

hangi uçlara bağlandığı ve elektriksel değeri (eğer kondansatör ise ESR –eşdeğer Seri Direnci-) ekranda gözükür.

Eğer üç uçlu bir devre elemanı test edilecekse, aynı işlem uygulanır ve ekrandan sembolü, hangi uçların ne olduğu (Emitör, Kollektör, Beyz, Anot, Katot, Geyt, A₁, A₂ gibi), eğer transistör ise cinsi (NPN-PNP), elektriksel değer olarak β 'sı, V_{BE} gerilimi izlenir. Farklı firmaların aynı amaç için ürettiği test cihazları Şekil 5'deki gösterilmiştir.



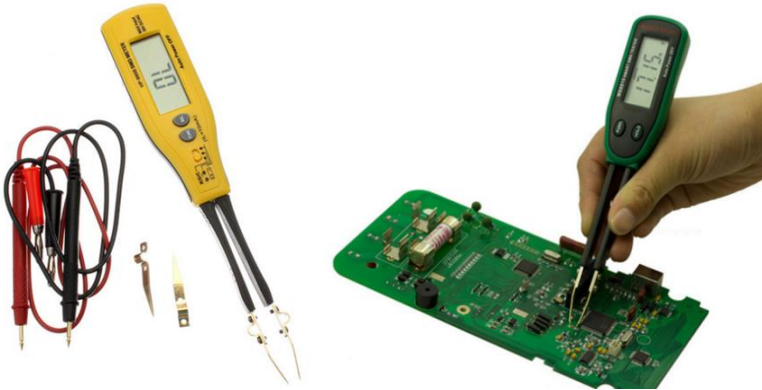
Şekil 4. Dijital 2 ve 3 Uçlu Devre Elemanları için Tester



Şekil 5. Farklı Firmalara Ait 2 ve 3 Uçlu Devre

Elemanları için Dijital Tester

Çip şeklinde iki uçlu, diyot, zener diyot, LED, PN eklemler ve direnç kondansatör gibi pasif devre elemanlarının test edilmesinde kullanılan bir diğer gelişmiş test cihazı SMD (Surface Mounting Devices -Yüzey Montajlı Devre elemanları) test cihazlarıdır. El tipi portatif olan bu cihazlar Şekil 6'daki gibi cımbıza benzer. Test edilecek devre elemanı iki uç arasında değiştirilirse, dijital ekrandan ölçülen değer izlenir. Ayrıca ölçülen değeri hafızada tutma özelliği de vardır.



Şekil-6 SMD test cihazları

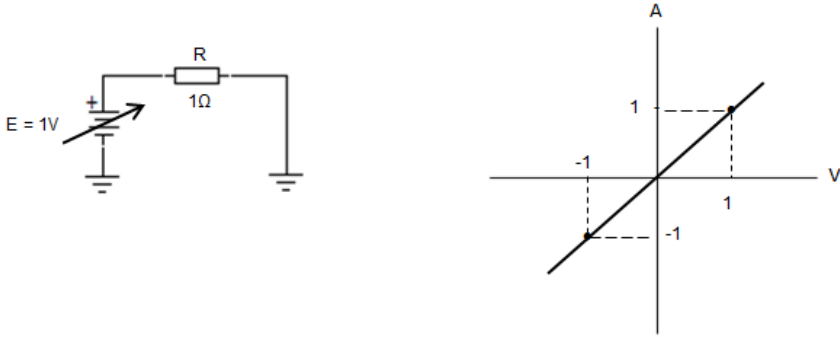
2. V-I Test Cihazları

ASA (Analog Signature Analysis – Analog İşaret Analizi) olarak da bilinen V-I test, özellikle devre şeması veya dokümantasyon eksik olduğunda, baskılı devre kartları için mükemmel ve etkili bir hata/arıza tanı tekniğidir. V-I (ASA) testinde, her bir devre elemanının sağlamlığı elektriksel karakteristiğinden (öz eğrisinden) anlaşılabilir gibi, sağlamlığından emin olunan bir devre veya devre elemanı, sağlamlığından şüphelenilen ile de karşılaştırılmalı olarak eşleştirilir. Sinyaller veya özeriler arasındaki farklılık olası hatayı gösterecektir. V-I test cihazları günümüzde dijital olarak da üretilmektedir.

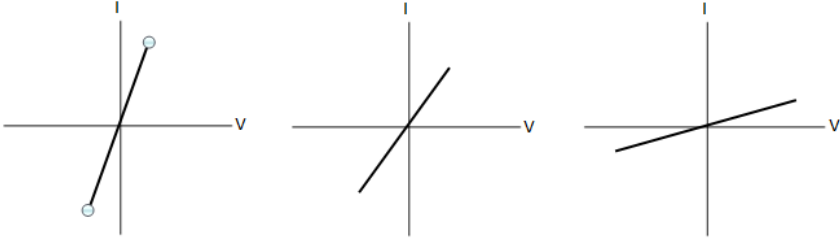
2.1. Devre Elemanlarının V-I Karakteristikleri

Ohm kanunu ($R=V/I$); test altındaki devrenin karakteristik empedansını temsil eder. Elektronikte kullanılan her bir devre elemanının dik koordinat sistemindeki karakteristiği (eğrisi) farklıdır. Örneğin, Şekil 7A’da ki devrede E kaynağı 1V yapılırsa, direnç üzerinden geçen akım da ohm kanununa göre 1A olacaktır. Eğer E kaynağı 2V yapılırsa, direnç üzerinden geçen akım da 2A olacaktır. E kaynağının polaritesi değiştirilirse, (-1V yapılırsa) akımın da yönü değişecektir. (-1A olacaktır) Gerilimdeki ve akımdaki her bir artış Şekil 7B’deki dik koordinat eksenleri üzerinde işaretlenip birleştirilecek olursa, direncin karakteristik eğrisi elde edilir.

Direncin eğimi, uçlarındaki gerilim ve üzerinden geçen akım ile değişir. Örneğin, direnç üzerinden geçen akım artarsa (direnç küçülürse), karakteristik dikey eksene doğru yaklaşır, yatay eksen ile yaptığı açı dikleşir. Şekil 8, sağlam, farklı değerlerdeki dirençlerin karakteristiğini göstermektedir. Sağlam bir doğrultma diyotunun ve zener diyotun karakteristiği Şekil-9’da gösterilmiştir.

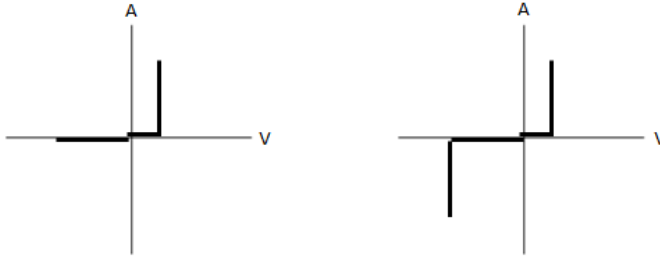


Şekil 7. Bir Direncin V-I Eğrisi



A) Küçük değerli direnç B) Orta değerli direnç C) Büyük değerli direnç

Şekil 8. Farklı Değerdeki Dirençlerin V-I Karakteristiği

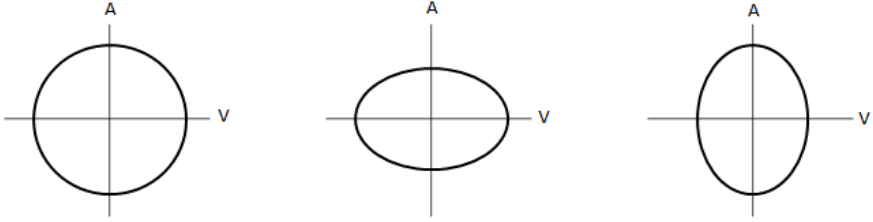


A) Doğrultma diyotunun karakteristiği B) Zener diyotunun karakteristiği

Şekil 9. İki Farklı Sağlam Diyotun V-I Karakteristiği

Çeşitli değerlerdeki sağlam kondansatörlerin V-I karakteristiği şekil-10'da, bobinlerin V-I karakteristiği şekil-11'deki gibidir. Karakteristiklerin dairesel veya eliptik oluşu, kapasitans

veya indüktans değerleri ile ilgili olduğu gibi, şekiller üzerinde frekansın da etkisi vardır.

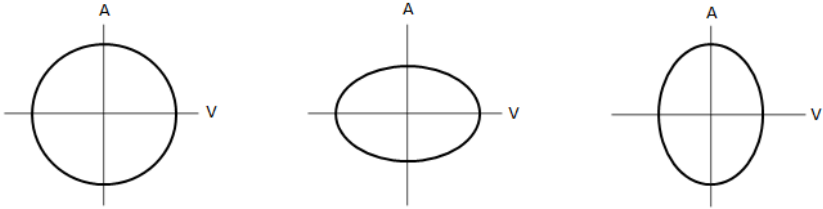


A-Orta değerli

B-Küçük değerli

C-Büyük değerli

Şekil 10. Sağlam Kondansatörlerin V-I Karakteristiği

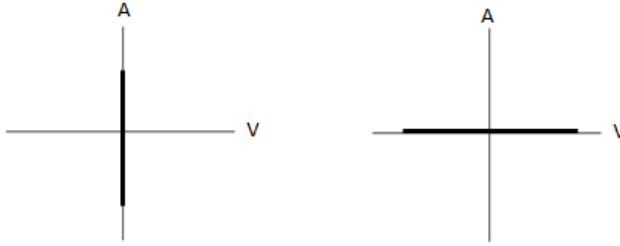


A-Orta değerli

B-Büyük değerli

C-Küçük değerli

Şekil 11. Sağlam Bobinin V-I Karakteristiği



A-Kısa devre

B-Açık devre

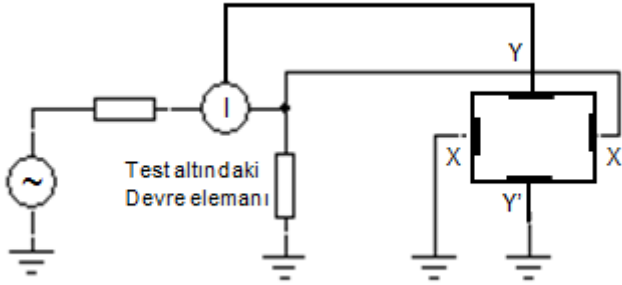
Şekil 12. Kısa Devre ve Açık Devre Karakteristiği

Şekil 12, kısa devre ve açık devre karakteristiğini göstermektedir. Kısa devre durumunda (direnç sıfır olacağından) Şekil 12 A'daki gibi, ekranda dikey bir çizgi gözükecektir. Çünkü teorik olarak uygulanan gerilimin her hangi bir değeri için akım sonsuz olacaktır. Oysa ki açık devre durumunda (direnç sonsuz olacağından) Şekil 12 B'deki gibi ekranda yatay bir çizgi

gözükecektir. Çünkü uygulanan gerilimin değeri ne olursa olsun akım sıfır olacaktır. V-I test cihazları analog ve dijital olmak üzere iki farklı teknoloji ile üretilmektedirler.

2.2. Analog V-I Test Cihazları

Şekil 13, bir V-I test cihazının prensip şemasını göstermektedir. Test için kullanılan sinyal, test altındaki devreye bir akım sınırlayıcı direnç (R_s) üzerinden uygulanan genellikle sinüsoidal bir sinyaldir. V-I test cihazında analog işaretin yakalanabilmesi için, gerilimi ve frekansı ayarlanabilir sinyal kaynağına, akım ölçümüne ve ekrana ihtiyaç vardır. Test altındaki devrenin çektiği akım ekranın Y plakalarına uygulanırken, aynı devrenin uçlarındaki gerilim de X plakalarına uygulanır.



Şekil 13. V-I Test Cihazının Prensip Devresi

V-I testinde, hassas akım sınırlamalı sinüzoidal bir sinyal, test problemleri yardımı ile test altındaki devre elemanlarının uygun noktalarına dokundurulur. Sonuç olarak, akan akım, gerilim düşümü ve sinyalin faz kayması arasındaki ilişki (karakteristik empedans) bir monitör üzerinden izlenir. Devre elemanı uçlarındaki gerilim ekran üzerinde yatay bir iz sapması olarak gözlenirken, akan akım, dikey iz sapması olarak gözlenir. (X eksenini gerilimi, Y eksenini akımı gösterir.) Ekranda elde edilen şekle “Analog İşaret” denir.

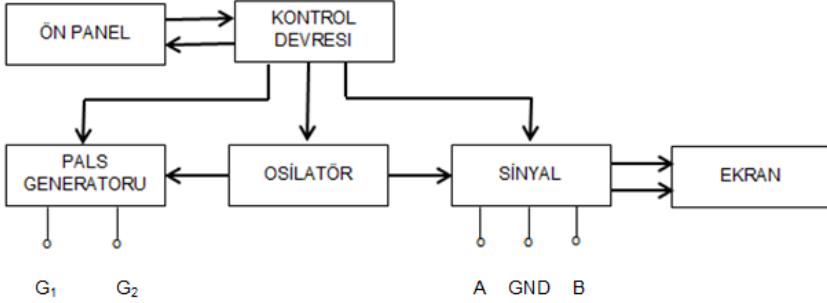
V-I test cihazları, test altındaki devre elemanının iki ucu arasına, akım sınırlı bir ac gerilim uygulayarak çalışır. Gerilim, işaretin katot ışınları ekran üzerinde yatay yönde sapmasına neden olurken, akım, dikey ekseninde bir sapmaya neden olur. Her ikisi

birlikte, test altındaki devre elemanının özelliğini belirten “analog işaret” üretir. Ekrandaki işaret incelenerek, test altındaki devre elemanının iyi, kötü veya marjinal olduğu çok kısa bir sürede söylenebilir.

2.3. Analog V-I Test Cihazının yapısı ve Kullanımı

Bir analog V-I test cihazının özelliğini ve kullanımını cihaz üzerinden anlatmak daha anlaşılır olacaktır. Bunun için açıklamalar HUNTRON firmasının ürettiği test cihazları üzerinden anlatılacaktır.

İlk V-I test cihazı modellerinden olan Huntron Tracker 2000 V-I test cihazının fonksiyonel blok diyagramı Şekil 14’de, ön görünüşü Şekil 15’deki gibidir.



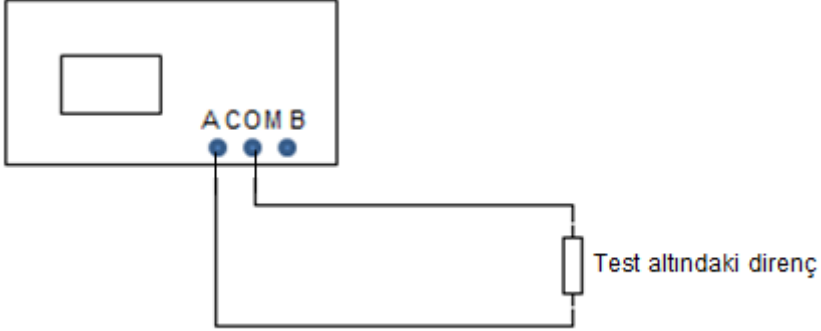
Şekil 14. V-I Test Cihazının Fonksiyonel Blok Diyagramı



Şekil 15. Huntron Tracker 2000 V-I Test Cihazı

2.3.1. Direnç, Kondansatör ve Bobinlerin Test Edilmesi

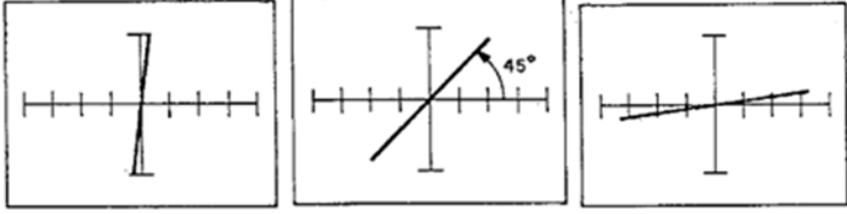
Dirençlerin Test Edilmesi: V-I test cihazı ile bir direncin test edilmesi için temel devre Şekil 16'daki gibidir. Test edilecek direnç, probalar yardımı ile A veya B kanallarından biri ile COM uçları arasında bağlanır.



Şekil 16. Test Edilecek Direncin V-I Test Cihazına Bağlanması

Ölçme problemlerinin uçlarındaki saf (bir başka devre elemanı ile bağlı olmayan) bir direnç, ekranda ışıklı bir çizgi olarak saatin dönüşünün ters yönünde (açık devre konumuna doğru) döner. Dönme derecesi (yatay eksen ile yaptığı açı) direnç değerinin bir fonksiyonudur.

Low (Düşük): Bu aralık, değeri 1Ω ile $1k\Omega$ arasındaki dirençlerin gözlenmesi için tasarlanmıştır. Şekil 17, “Low” konumunda 1Ω , 50Ω ve 400Ω 'luk dirençlerin ekran üzerindeki eğimlerini göstermektedir. 1Ω 'luk direncin eğimi 90° 'ye yaklaşırken, 50Ω 'luk direncin eğimi 45° ve 400Ω 'luk direncin eğimi yatay eksene yaklaşmaktadır. O halde bu konumda 1Ω 'dan küçük dirençler kısa devre, 400Ω 'dan büyük dirençler açık devre gibi gözükabilir.



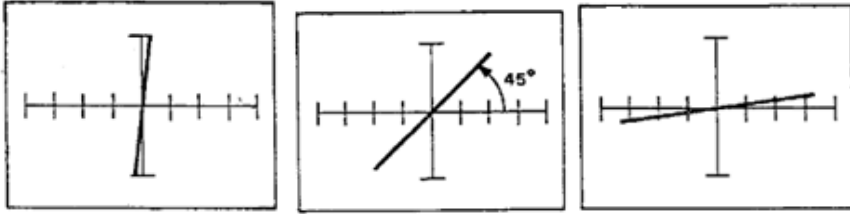
1Ω'luk direnç

50Ω'luk direnç

400Ω'luk direnç

Şekil 17. Üç Farklı Direnç Değerinin "Low" Konumunda Eğimleri

Med-1 (Orta-1): Değeri 50Ω ile 10kΩ arasındaki dirençlerin gözlenmesi için tasarlanmıştır. Şekil 18, "Med-1" konumunda 50Ω, 1kΩ ve 10kΩ'luk dirençlerin ekran üzerindeki eğimlerini göstermektedir. 50Ω'luk direncin kısa devre, 10kΩ'luk direncin açık devre gibi gözüktüğüne dikkat ediniz.



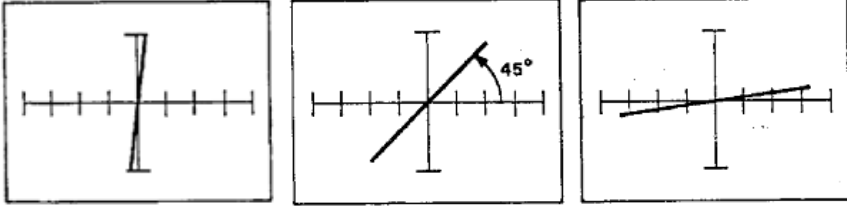
50Ω'luk direnç

1kΩ'luk direnç

10kΩ'luk direnç

Şekil 18. Üç Farklı Direnç Değerinin "Med-1" Konumunda Eğimleri

High (Yüksek): Değeri 3kΩ ile 1MΩ arasındaki dirençlerin gözlenmesi için tasarlanmıştır. Şekil 19, bu aralıkta 3kΩ, 50kΩ ve 1MΩ'luk dirençlerin eğimlerini göstermektedir. Değeri 3kΩ'dan küçük olan dirençlerin eğimi dikey eksene yaklaşırken, 1MΩ'dan büyük olan dirençlerin eğimi yatay eksene yaklaşmaktadır.



3k Ω 'luk direnç

50k Ω 'luk direnç

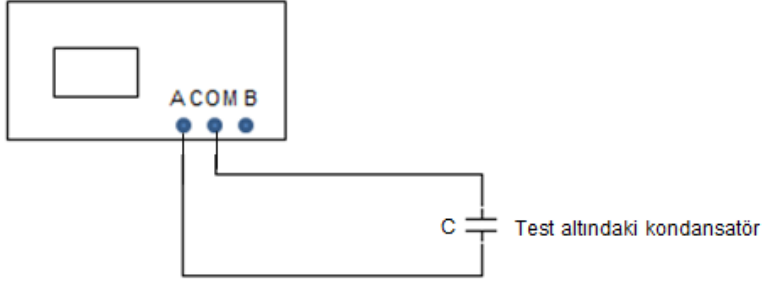
1M Ω 'luk direnç

Şekil 19. Üç Farklı Direnç Değerinin "High" Konumundaki Eğimleri

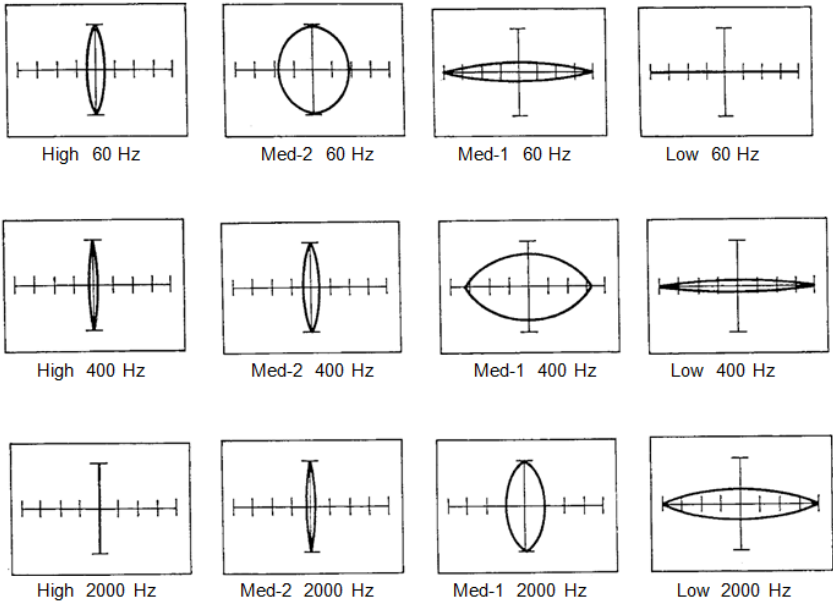
Dirençler test edilirken, uygun aralığın seçilmesi önemlidir. Örneğin 1 Ω 'luk direnç "high" aralığında test edilirse kısa devre, 1M Ω 'luk direnç "low" aralığında test edilirse açık devre gibi davranabilir.

Kondansatörlerin Test Edilmesi: Bir kondansatörün V-I test cihazı ile test edilmesi ile ilgili devre Şekil 20'deki gibidir. Sağlam bir kondansatör için ekranda görülecek şekil, kondansatörün değerine, test sinyalinin frekansına ve seçilen empedans aralığına bağlı olarak daire veya elips şeklinde olabilir.

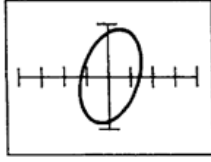
Şekil-21, 0.22 μ F'lık bir kondansatörün dört farklı aralık ve üç frekans değerinde ekran şeklini göstermektedir. Kondansatörün "Low" aralığında ve 60 Hz'lik test frekansında açık devre, "High" aralığında ve 2000 Hz'lik test frekansında kısa devre gibi gözüktüğüne dikkat ediniz. Kondansatör bu iki aşırı uç arasında elips şekli göstermektedir. Tablo 1, her bir aralık ve test frekansı değerinde test edilecek minimum ve maksimum kondansatör kapasite değerlerini göstermektedir. Şekil-22'de sağlam ve hatalı kondansatörlere ait ekran şekilleri verilmiştir.



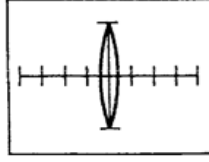
Şekil 20. Test Edilecek Kondansatörün V-I Test Cihazına Bağlanması



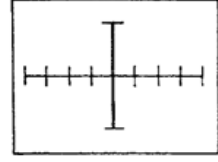
Şekil 21. 0.22 µF'lık Bir Kondansatörün Çeşitli Aralık Ve Frekanslardaki Test Şekilleri



Low

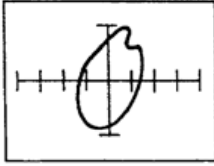


Medium-1

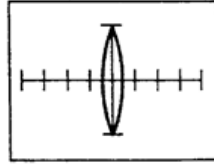


Medium-2/High

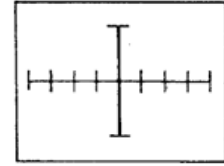
100 μ F 25V sağlam bir kondansatörün çeşitli aralıklardaki ekran şekilleri



Low



Medium-1



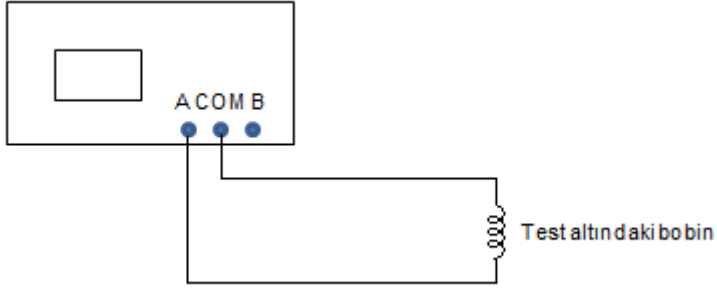
medium-2/High

100 μ F 25V hatalı bir kondansatörün çeşitli aralıklardaki ekran şekilleri

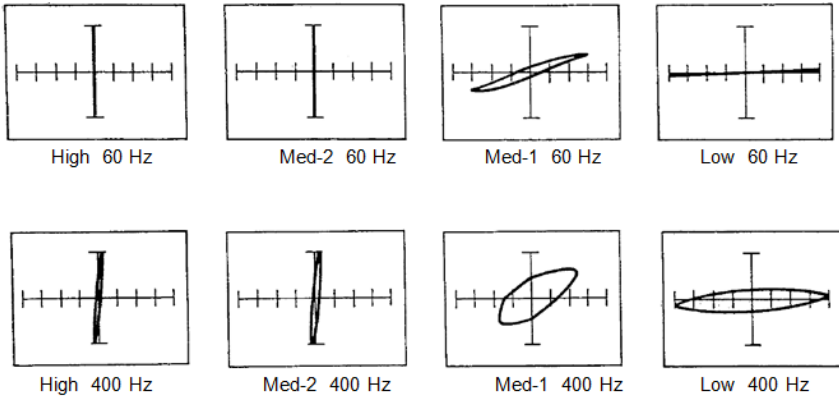
*Şekil 22. Sağlam Ve Hatalı Kondansatörlerin Ekran Şekilleri
Tablo-1 V-I Test Cihazı İle Test Edilecek min. ve max. Kondansatör Değerleri*

ARALIK	TEST FREKANSI		
	50/60 Hz	400 Hz	2000 Hz
HIGH	0.001 μ F – 1 μ F	500 pF - 0.1 μ F	100 pF – 0.02 μ F
MEDIUM-2	0.01 μ F – 2 μ F	0.001 μ F – 0.5 μ F	200 pF – 0.05 μ F
MEDIUM-1	0.2 μ F – 50 μ F	0.02 μ F – 5 μ F	0.005 μ F – 1 μ F
LOW	5 μ F – 2000 μ F	0.5 μ F – 100 μ F	0.2 μ F – 25 μ F

Bobinlerin Test Edilmesi: Bobinler de kondansatörler gibi test edilir. Test edilecek bir bobinin V-I test cihazına bağlanması Şekil 23'deki gibidir. Sağlam bir bobin için ekranda görülecek şekil, bobinin değerine, test sinyalinin frekansına ve seçilen empedans aralığına bağlı olarak daire veya elips şeklinde olabilir. Şekil 24, 250 mH'lik bir bobinin dört farklı aralık ve üç frekans değerinde ekran şeklini göstermektedir.

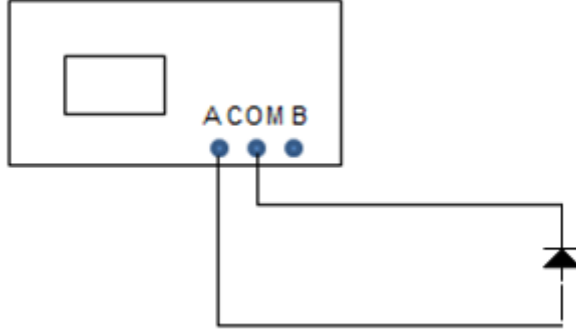


Şekil 23. Test Edilecek Bobinin V-I Test Cihazına Bağlanması

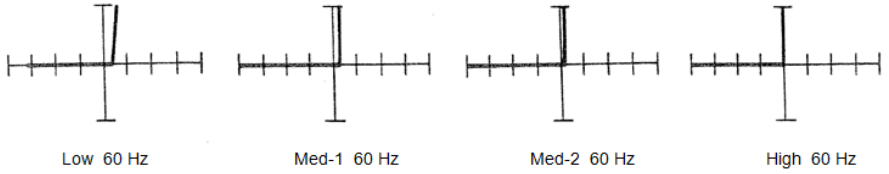


Şekil 24. 250 mH'lik Bir Bobinin Çeşitli Aralık Ve Frekanslardaki Test Şekilleri

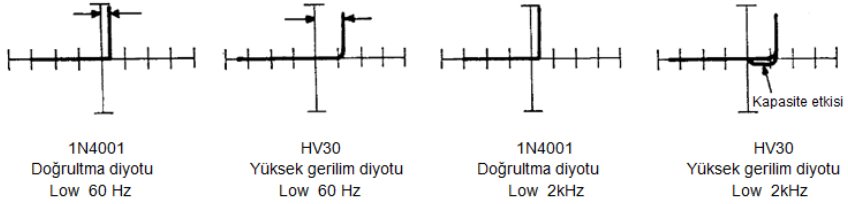
Doğrultucu Diyotların Test Edilmesi: Şekil 25, test edilecek bir diyotun V-I test cihazına bağlantısını göstermektedir. Değişik aralıklarda 60 Hz'lik test frekansındaki ekran görüntüleri şekil-26'daki, yüksek gerilim diyotunun (HV30) ekran görüntüsü şekil-37'deki gibidir. Şekil 28, sızıntı akımı yüksek bir diyotun eş değerini, Şekil 29 ise sağlam ve sızıntılı bir diyotun karakteristiğini göstermektedir.



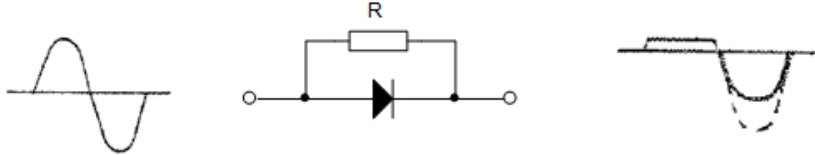
Şekil 25. Test edilecek diyotun V-I test cihazına bağlanması



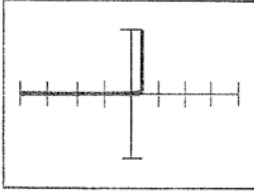
Şekil 26. Bir silisyum diyotun 60 Hz ve çeşitli aralıklardaki test şekilleri



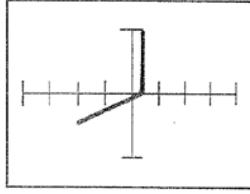
Şekil 27. Alçak ve Yüksek Gerilim Diyotlarının Ekran Görüntüsü



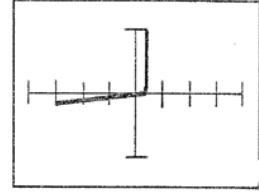
Şekil 28. Sızdıran Bir Diyotun Eşdeğeri ve Ekran Şekli



Sızıntı yok (sağlam diyot)



Sızıntı direnci 1kΩ



Sızıntı direnci 10kΩ

Şekil 29. Sağlam ve Sızıntılı bir Direncin Low Aralığı ve 60 Hz'deki Ekran Görüntüleri

Sonuç

Elektronikte kullanılan bazı devre elemanlarının V-I karakteristiği verilmiştir. Bu devre elemanlarının dışında kalan diğer devre elemanlarının da V-I karakteristiği mevcuttur. V-I karakteristikleri kullanılarak sistemlerde hata/arıza arama işlemleri sonuca ulaşmada büyük kolaylık sağlamıştır.. Hata/arıza tespiti ve onarımı birimi, artık birçok firmada Ar-Ge kadar önemli bir konuma gelmiştir. Sistemlerin hata/arıza durumunu gidermek, yeni bir sistem almaktan çok daha ucuzdur. Bu durum hata/arıza arama cihazlarına olan ilgiyi arttırmıştır.

KAYNAKÇA

<https://huntron.com>

Khandpur, R. (2006). *Troubleshooting electronic equipment*. McGraw-Hill, Inc..

Smirnov, K. K., Nazarov, A. V., & Blinov, V. V. (2021). Methods of designing electrical equipment for testing very large scale integrated circuit. *International Journal of Nanotechnology*, 18(9-10), 847-868.

Mourad, S., & Zorian, Y. (2000). *Principles of testing electronic systems*. John Wiley & Sons.

Jones, J., & Hayes, J. (2001). Investigation of the occurrence of: no-faults-found in electronic equipment. *IEEE Transactions on Reliability*, 50(3), 289-292.

Tomal, D., & Widmer, N. (2003). *Electronic troubleshooting*. McGraw-Hill, Inc..