

## Production Process on CNC Machines

Dr. Öğr. Ü. Mustafa YAZ, Tuğba BOZKURT

Department of Electronics and Communication Engineering, Bozok University, Yozgat/Turkey

Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından  
6602b-MMF/17-77 Proje numarası ile desteklenmiştir.

---

**Abstract:** Advances in computer technology have enabled computers to be widely used in production and planning. This paper is about programming in CNC machine applications. It improves the efficiency of CNC applications with the possibility of programming in CNC machines, the smoothness of the designs, the ease of change on operations and the addition of libraries for subsequent productions.

In CNC (computer numerical control) machines, tool paths were created by interpreting the cross-sectional views of the workpieces to be processed in any design program.

**Keywords:** CNC Programming, CNC Milling, Production Process Control Software, G-Code

---

## CNC Tezgahlarında Üretim Süreci

**Özet:** Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, üretim ve planlama alanlarında bilgisayarların yaygın olarak kullanılmasına imkân sağlamıştır. Bu yazı, CNC (Computer Numerical Control) tezgâh uygulamalarındaki programlama ile ilgilidir. CNC makinelerde programlama, tasarımların düzgünlüğü, operasyonlar üzerinde değişikliğin kolaylığı ve eklemeler yapılması açısından ve bir sonraki üretimler için kütüphaneler oluşturulması olanaklarıyla CNC uygulamalarının verimliliğini artırır.

CNC tezgâhlarında, işlenecek parçaların kesit görüntüleri, herhangi bir tasarım programından elde edilmiş DXF (Drawing Xchange Format) formatıyla yorumlanır ve takım yolları elde edilir.

**Anahtar Kelimeler:** CNC Programlama, CNC İşleme, Üretim süreç kontrol yazılımı, G-kod

---

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

M. Yaz, T. Bozkurt, 'Production process on CNC machines', Elec Lett Sci Eng, vol. 14(3), (2018), 1-9

---

### 1. Giriş

CAD, bir tasarımın oluşturulması ve geliştirilmesi aşamasında bilgisayar desteğinin kullanılması, CAM ise, üretim işlemlerinde tezgâh kontrolü, süreç planlama, montaj ve kalite kontrolünün doğrudan veya dolaylı olarak bilgisayar ara yüzü kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayar teknolojileriyle üretim, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli imalat (CAM) yazılımlarıyla kontrol edilir. Bunun yanı sıra işletmelerde üretim planlanması, kalite kontrolünün sağlanması, stok takibi ve sevkiyat gibi alanlarda da kullanılmasıyla işletmelere kolaylıklar sağlar[1,2].

Tasarım, analiz, çizim, süreç planlama, parça programlama, parça işleme vb. CAM sisteminin aşamaları olarak görülmektedir.

---

\* Corresponding author; Tel. +90 546 719 7477; , [mustafa.yaz@bozok.edu.tr](mailto:mustafa.yaz@bozok.edu.tr)

Tezgâhların programlanması basit parçalar için doğrudan tezgah konsolü üzerinden yapılabilir. Ancak zor parçaların programlanması CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) uygulamasıyla yapılabilir. Bu şekilde binlerce satır programı yazmaya gerek kalmaz ve hata payı azalır[4,5].

Üretim alanında CAD/CAM (Bilgisayar Destekli Tasarım / Bilgisayar Destekli İmalat) yazılımlarıyla, tasarım sürecinin hızlanır. Tasarım kalitesinin artar ve standart haline gelir. Tasarım yapılırken 3 boyutlu model veya 2 boyutlu teknik resimlerin elde edilmesi daha kolay hale gelir. Tasarım üzerinde değişiklikler anında daha kolay yapılır. Böylece tasarımın güncelleştirilmesi hızlanır. İstenilen imalat ortamı farklı bir bölgede veya işletmedeyse, elde edilen çizimler imalatçı kuruluşa elektronik ortamda iletilebilir. İmalatın CNC tezgah vasıtasıyla yapılması, imalatta hassasiyet, kaliteli ve zamandan tasarruf, imalat masraflarının parça başına daha düşük düzeye inmesini sağlar. İşçilik azalır, tasarım ve imalat ile ilgili dokümantasyon bilgilerinden oluşan kütüphaneler elde edilir. Bu gibi avantajların yanı sıra, çalışan personelin eğitimi ve personelin vasıf/yetişkinlik düzeyinin artması, kullanılan bilgisayar ve yan donanımlarının, yazıcıların, çiziciler, ekranların daha kaliteli olması için ekstra yatırımlar, yazılım lisanslama ücretlerinin ödenmesi gibi maliyetler gerekir.

## **2. CNC Tezgahta Koordinat Sistemi**

CNC tezgâhlarda Kartezyen koordinat sistemi referans alınarak takım yolları kodlar şeklinde ifade edilir. Programlamada ve tezgâhların çalışmasında Kartezyen koordinat sistemi esastır. Koordinat sisteminde mutlaka bir başlangıç noktasına ihtiyaç vardır. CNC sistemlerde bu koordinat sisteminin başlangıç noktasına orijin veya sıfır noktası denir. Kartezyen düzlemi ifade edilirken, iki eksenli veya üç eksenli olabilir. İki eksenli ifadelerde, eksenler (X,Y), (Y,Z) veya (X,Z) şeklindedir. Üç eksenli sistem ifade edilirken, eksenleri (X, Y, Z) şeklinde ifade edilir/kodlanır. Bunun yanı sıra iki düzlemde, nokta konumuna gitmek için talimatlar, uzunluk ve açı cinsinden olabilir. Üç boyutlu sistemlerde silindirik ve küresel koordinat sistemleri kullanılır. XYZ Kartezyen koordinatı dışında 4.cü veya 5.ci eksenler için CNC ye ilave donanım gerekir.

## **3. İş Koordinat Sistemi**

Referans noktası elde edilirken, iş parçasının altına kesici takımın değiştirilmesi için hassasiyet gerekir. Ancak bu yöntem sağlıklı değildir. Daha sağlıklı sonuç vermesi için, kesici yerine dokunmaya duyarlı sensör (prob) kullanılmalıdır. Temas anındaki X, Y ve Z koordinat değerleri tezgâh bilgisayarına girilir. İş koordinat sisteminin orijin noktası böylece elde edilmiş olur.

## **4. Tezgah Koordinat Sistemi**

Tezgâh koordinat sistemi, tezgâh ilk açıldığında sınır anahtarlarıyla başlangıcı elde edilebilir. Çalışma alanı nitelikleri üretici firma tarafından belirlenmiştir. Tezgah alınırken, tezgahın hareket kabiliyeti, hassasiyeti gibi parametrelere mutlaka bakılmalıdır.

## **5. CNC Programlama**

İşlem sırasına göre dizilen kodlarla, CNC tezgâhlarda bilgisayar destekli uygulamalar yapılmaktadır. CNC programlarının en önemli özelliği, programların mantıksal bir sırayla ve tanımlanmış bir formatla yazılmasıdır. CNC programları alfanümerik (alfabetik ve nümerik) komutlardan oluşan program satırlarından oluşur. Alfanümerik komutlar, A' dan Z' ye kadar büyük harfli alfabetik karakterler ve bunları takip eden sayısal karakterlerden oluşur[1].

CNC programlama, G/M kodlarıyla eksen pozisyonunun, beslemenin ve hız fonksiyonlarının parametrik bir ifade ile belirlenmesidir. Değişkenler, aritmetik, mantıksal ifadeler ve döngü gibi bilgisayarlı programlama özellikleri kullanılmaktadır.

CNC tezgâhlar, programa bir parça programı veya bir alt program yüklemesini sağlayan parametrik bir programlama özelliğine sahiptir. Bir veya daha fazla parçada aynı işlem yapılacağı zaman parça programı çağrılır. İşlem, makine kontrol ünitesine parametre değerlerinin basit bir şekilde girilmesiyle sağlanır.

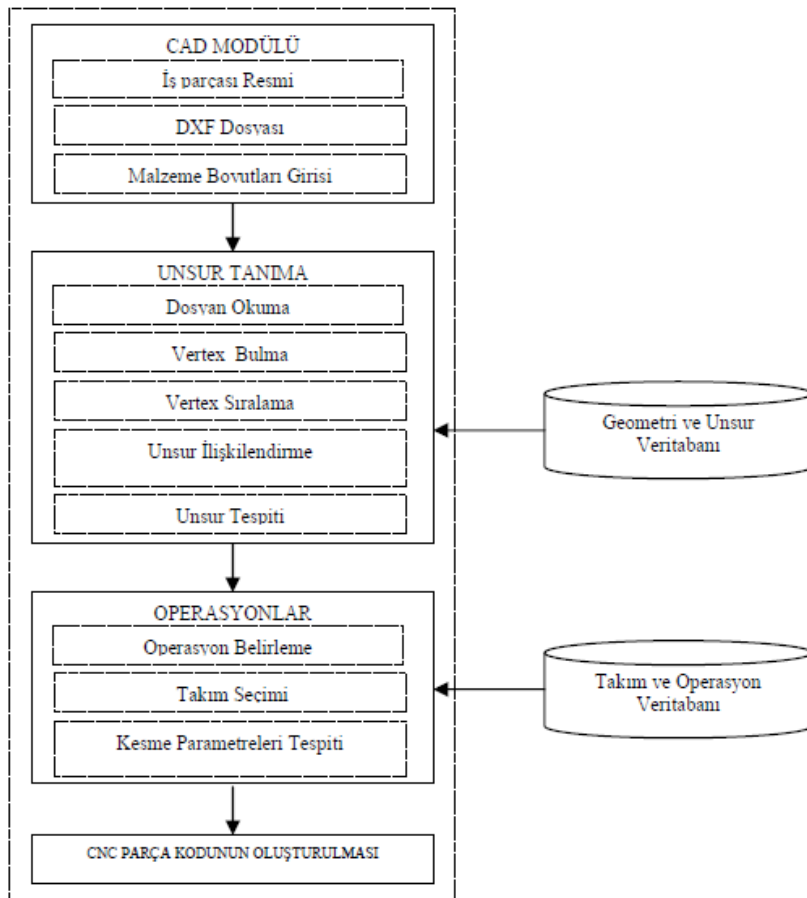
Bu çalışmada, CNC tezgâhları ve işleme merkezleri ile üretime yönelik CNC programlamanın faydalarını göstermek için iki parça işleme yapılacaktır.

## 6. Program Akış Tablosu

Şekil 1 de; ilk modülde CAD ortamında çizilmiş bir iş parçasının DXF veri formatı sisteme girdi olarak verilirken parçanın imalatı için kullanılacak olan ham malzeme boyutlarının da sisteme girilmesi gerekmektedir.

Ustur tanıma modülünde DXF veri dosyası okunur, veriler yorumlanır. Ustur verileri arasındaki ilişkiler mantıksal algoritmalar haline getirilir, ve bunlar incelenerek her ustura ait işlem türü belirlenir.

Operasyonlar modülünde, tanınan usturların kesme parametreleri ve kesici tipleri girilmektedir. Modül içinde, kesici takım uzunluğu kesilecek ustur boyundan uzun olmalıdır. Derinlik ve matkap devir hızı tanımlanırken malzemenin sertliği ve yapısı dikkate alınır. Yüksek hızlarda yumuşak veya plastik malzeme işlenirken malzeme eriyebilir ve malzeme kesici takıma sarılabilir. Tüm bu parametrelerden sonra iş parçasının işlenmesi için gerekli CNC kodu üretilir.

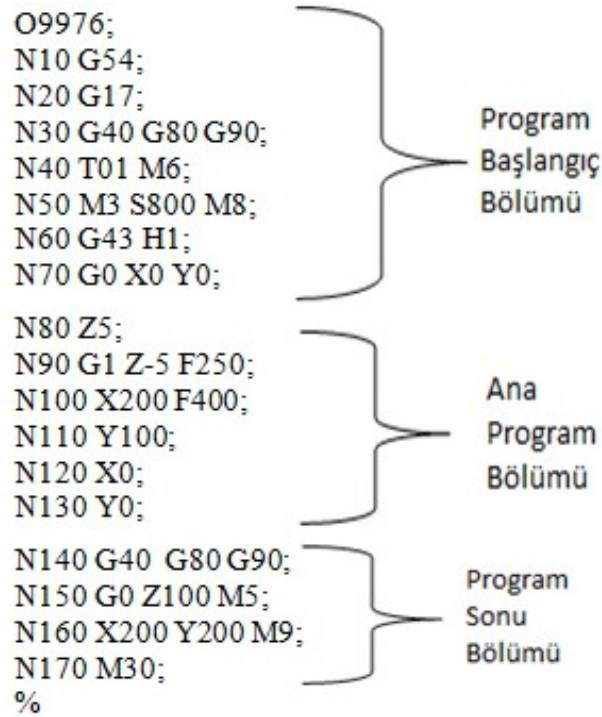


Şekil 1: Programın genel yapısı

## 7. CNC Programlama Uygulaması

CNC programları şekil 2 de gösterilemeye çalışıldığı üzere, 3 kısımdan oluşur. Bunlar;

1. Program başlangıç bölümü
2. Ana program bölümü
3. Program bitiş bölümü şeklindedir. Eğer tekrar eden yapılar varsa bu tekrar eden yapılar geri dönüşlü alt programlar halinde yazılarak program boyu kısaltılabilir.



Şekil 2: CNC Programı

Programın başlangıç bölümünde, genellikle hazırlık ve güvenlik komutları bulunur. Orijin noktası, matkap devir hızı gibi işlemler bu bölümde yer alır.

Ana program bölümü, işlenecek parçaya göre, her parça için farklıdır.

Program bitiş bölümünde bulunan komutlar programı bitirme ve güvenlik komutlarından meydana gelir. Program durdurulurken, matkabın durdurulması, ve yeni işlem için tanımlanan bir güvenli koordinata gitmesi sağlanmalıdır.

Programlama tekniği, delik, yuva, cepler, dişler, vb. gibi belirli parça özellikleri için farklı kesiciler, deliciler kullanılabilir, kesici veya deliciler için program modüllerinin oluşturulması sağlanmalıdır. Parçalar işlenirken modüller tasarım özelliklerine göre seçilir. Yeni bir parça tasarlandığında, CNC programı tasarım özellikleriyle ilişkili modülleri çağırır.

## 8. Tekrarlanan Özellikler

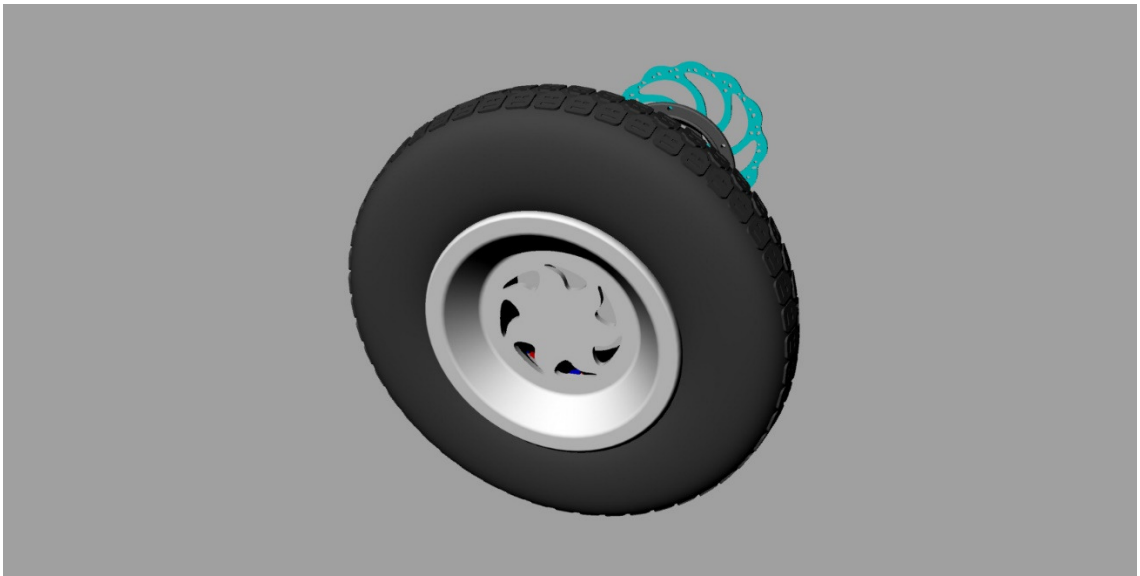
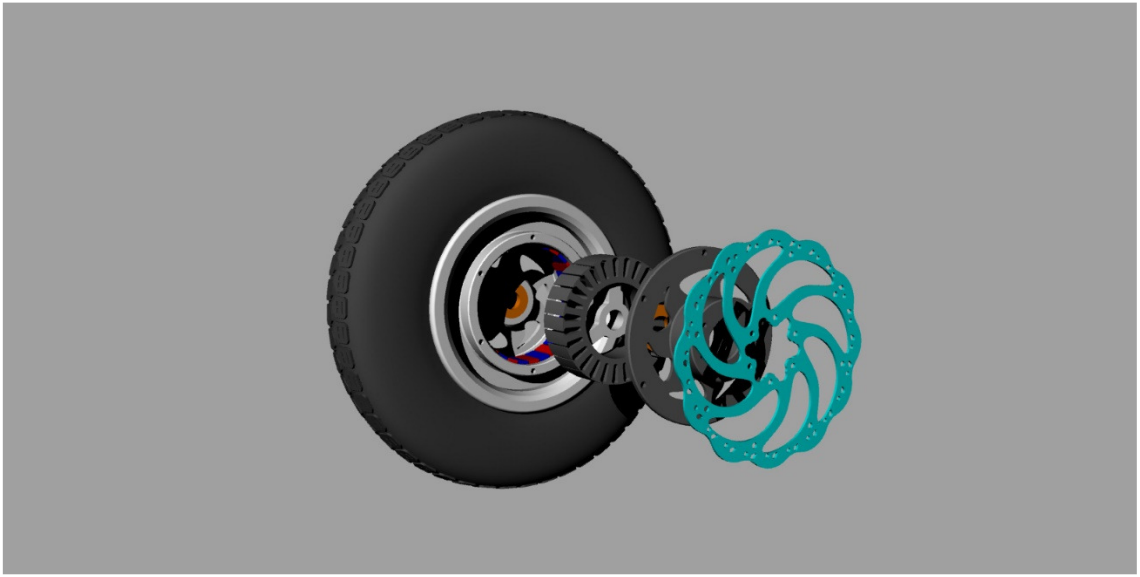
CNC programlama kullanılarak, benzer parçalar tek bir program kullanılarak işlenebilir ve gereksiz programlamayı ortadan kaldırmış olur. Program boyu kısaltılmış olur.

## 9. Örnek Çalışmalar

CNC işleme için programlama uygulanmasını göstermek için iki örnek çalışma aşağıda sunulmuştur.

### 9.1. Örnek Uygulama I

Alüminyum jant işleme örneğinde, benzer olmayan parçalardan oluşan bir grup Şekil 3' de 3D halinde gösterilmiştir. Bu parçaların her biri için farklı operasyonlar/yazılımlar gerekir. Şekil 4 için, geleneksel bir G/M kod programlama yaklaşımı kullanılarak jant delme işlemi için tablo 1 de CNC parça programını göstermektedir. Program, jant delme için ayrı ve jant kesme işlemleri için ayrı ayrı yazılmalıdır.



Şekil 3: İşlenecek Alüminyum jant 3D tasarımı ve görüntüsü



Şekil 4: İşlenmiş Alüminyum jant örnekleri

CNC makine kullanıcıları için avantaj, operatörün delik çapı, delik derinliği, ilerleme hızı ve iş mili hızı değerini (P10 ila P16 parametreleri) girmesidir. Parça programındaki takım pozisyon koordinatları, G/M programlama yaklaşımında değiştirilebilme özelliğine sahiptir[1].

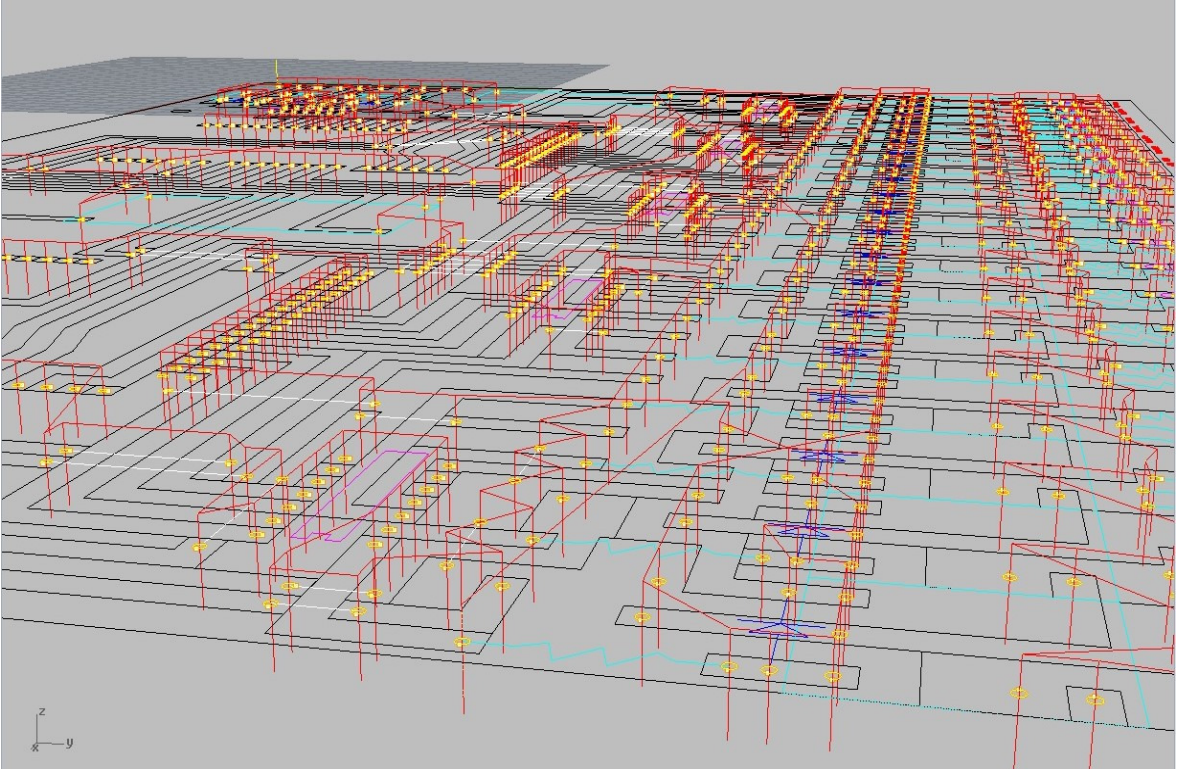
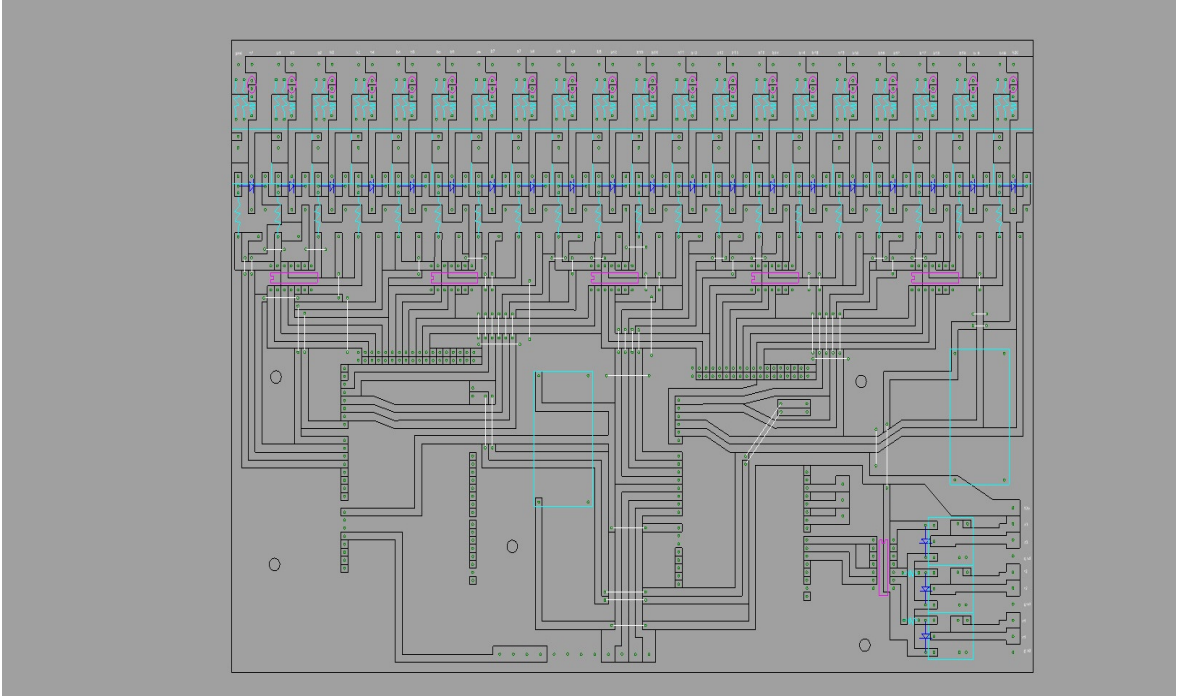
```
G00 G49 G40.1 G17 G80 G50 G90
G21
(2 1/2 Axis Profiling)
G00 Z6.0000
X53.5268 Y52.4661
G01 Z-5.0000 F1000.0
G17
G02X52.4661Y53.5268I-0.5303J0.5304 F1000.0
X53.5268Y52.4661I0.5304J-0.5303
G00 Z6.0000
X40.6949 Y81.9449
G01 Z-5.0000 F1000.0
G02Y83.4449I0.0000J0.7500 F1000.0
Y81.9449I0.0000J-0.7500
G00 Z6.0000
X52.4661 Y111.8631
.
.
.
G00 Z6.0000
X111.8631 Y290.1199
G01 Z-5.0000 F1000.0
G02X112.9238Y289.0593I0.5303J-0.5303 F1000.0
X111.8631Y290.1199I-0.5304J0.5303
G00 Z6.0000
M5 M9
M30
```

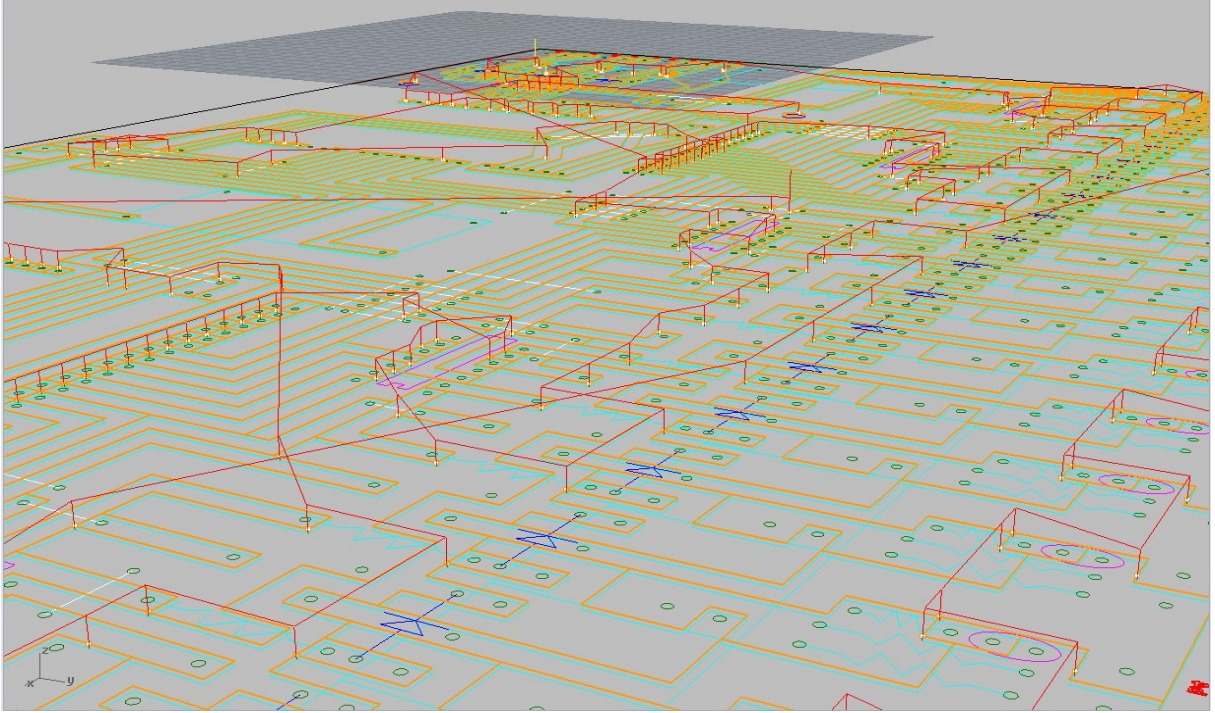
Tablo 1: Alüminyum jant delme işlemi için geleneksel G / M programı



## 9.2. Örnek Uygulama II

Benzer işlemlerden oluşan bir grup Şekil 5' te gösterilmektedir. Bu grup, bms delme işleminde benzer tasarım özelliklerine sahip bir parça ailesini temsil etmektedir. Çap ve genel uzunluk gibi ana parametrelerin değerini değiştirerek, aynı parça ailesine daha fazla sayıda parça dahil edilebilir. Tüm delme işlemi için ortalama NC talimatları sayısı tablo 2 için toplamda 4319 satırdır.





Şekil 5: BMS delme işlemi

```
G00 G49 G40.1 G17 G80 G50 G90
G21
(2 1/2 Axis Profiling)
G00 Z6.0000
X7.4897 Y6.3474
G01 Z-4.0000 F1000.0
Y6.3620 F1000.0
Y6.3474
G00 Z1.9975
Y11.3935
.
.
.
.
.
G00 Z1.9975
X295.5888 Y137.1449
G01 Z-4.0000 F1000.0
X295.6035 F1000.0
X295.5888
G00 Z6.0000
M5 M9
M30
```

Tablo 2: Şekil 5'deki delme işlemi için geleneksel G / M programı



## **10. Sonuç**

Günümüz ekonomisinde, üretim şirketlerinin, operasyonlarının verimliliğini artırmada yeni teknolojilerden faydalanmanın dışında bir alternatifi yoktur. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim yazılımında, tasarlanan parçaların takım yollarının oluşturulmasında G, Koordinat, takım değişikliği şeklinde kodlar elde edilmektedir. Elde edilen kodlar, CNC tezgâhlarda hareketi sağlayan kodlardır. Bu kodlar aslında makineye yaptırılmak istenen işlemin, makine tarafından tanınması için kullanılan bir programlama dilidir.

Bu çalışmada, geleneksel bir CNC programı uygulamasının iki örneği anlatılmaya çalışılmıştır. Programlama tekniği ile üretilecek bir dizi parçanın, daha kısa sürede üretilmesi, üretilen her parçada bir standart sağlanması ve zamandan tasarruf sağlanmıştır.

## **Referanslar**

1. Hamit Arslan, <https://nestinguzmani.blogspot.com/p/cnc-kodlari.html>
2. Mehmet Yasin Demirel, İbrahim Karaağaç, “An Overview Of Computer Aided Manufacturing Process”, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt55, Sayı 652, Page 512014
3. Balic, J. , “Intelligent CAD/CAM Systems For CNC Programming” Advances in Production Engineering & Management- 2006  
Apem Journal, Slovenia, Sayfa:13-22,2006
4. Rozmaria Dubovska, Jaroslav Jambor, Jozef Majerik, ” Implementation of CAD/CAM system CATIA V5 in Simulation of CNC Machining Process”, Elsevier , 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013,

## **Cost of Renewable Energy Based Power Plants**

Burak YILDIRIM<sup>a</sup>

Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bingöl<sup>a</sup>

---

**Abstract:** Due to the growing concern about gradual decline of fossil resources and the environmental problems, create a global need to produce cleaner energy from renewable sources. In this context, the number of renewable energy based power plants is increasing day by day. In this study, a comprehensive review of the costs of renewable energy-based power plants has been carried out worldwide. In this study, firstly, giving data of electrical energy consumption in the world, the final status of renewable energy sources in electricity production in the world and Turkey is shown. In the study, lastly, information about installation costs of renewable energy plants, annual operations and maintenance costs and levelized cost of energy are given.

*Keywords:* Renewable Energy Plants, Electricity Consumption, Power Plants Costs, Levelized Cost of Energy.

---

### **Yenilenebilir Enerjiye Dayalı Elektrik Üretim Santrallerinin Maliyeti**

**Özet:** Çevre sorunları ve fosil kaynakların giderek azalması ile ilgili artan endişeler, yenilenebilir kaynaklardan daha temiz enerji üretmeye yönelik küresel bir ihtiyaç doğurmaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerjiye dayalı enerji santrallerinin sayısı dünya genelinde her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, dünya genelinde yenilenebilir enerjiye dayalı enerji santrallerinin maliyetleri hakkında kapsamlı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ilk olarak dünyadaki elektrik enerjisi tüketimine ait veriler verilerek Dünyada ve Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının son durumu gösterilmiştir. Çalışmada son olarak yenilenebilir enerji santrallerinin kurulum maliyetleri, yıllık işletme ve bakım maliyetleri ve seviyelendirilmiş enerji maliyetleri hakkında bilgiler verilmiştir.

*Anahtar Kelimeler:* Yenilenebilir Enerji Santralleri, Elektrik Enerjisi Tüketimi, Enerji Santralleri Maliyetleri, Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti

---

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

Burak YILDIRIM, ‘Cost of Renewable Energy Based Power Plants’, Elec Lett Sci Eng, vol. 14(3), (2018), 10-19

---

#### **1. Giriş**

Enerji iş yapabilen bir sistemin ya da cismin kapasitesi olarak tanımlanır. Enerji türlerini ısı enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi birçok şekilde sıralayabiliriz. Enerji kaynaklarının hepsi insanlara yaşantılarını devam ettirmek için ihtiyaç duydukları enerjiyi sağlarlar. Enerji kaynakları genellikle yenilenebilir (güneş, su, rüzgar, jeotermal, biokütle, okyanus, v.b.) ve yenilenebilir olmayan (kömür, petrol, doğal gaz, nükleer enerji, v.b.) şeklinde iki gruba ayırabiliriz [1].

Enerji kaynakları kullanılışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları ile birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde sınıflandırılmaktadır. Enerji herhangi bir dönüşüme uğramamış ise bu şekline birincil enerji kaynağı adı verilir. Birincil enerji kaynağı dönüştürülerek oluşturulan enerjiye ise ikincil enerji kaynağı adı verilir. Birincil enerji kaynaklarına örnek verecek olursak kömür, petrol, doğal gaz, hidrolik, biokütle, dalga, nükleer, güneş, rüzgar, vb. şeklinde sıralayabiliriz. İkincil enerji kaynaklarını ise elektrik, mazot, benzin, kok kömürü, petrokok, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), hava gazı, vb. şeklinde sıralayabiliriz [2].

Enerji teknolojileri günümüz dünyasında insanoğlunun ekonomik ve toplumsal gelişmesinde merkezi bir role sahiptir. Fosil kaynaklara dayanan enerji üretimleri yaşam kalitemizi

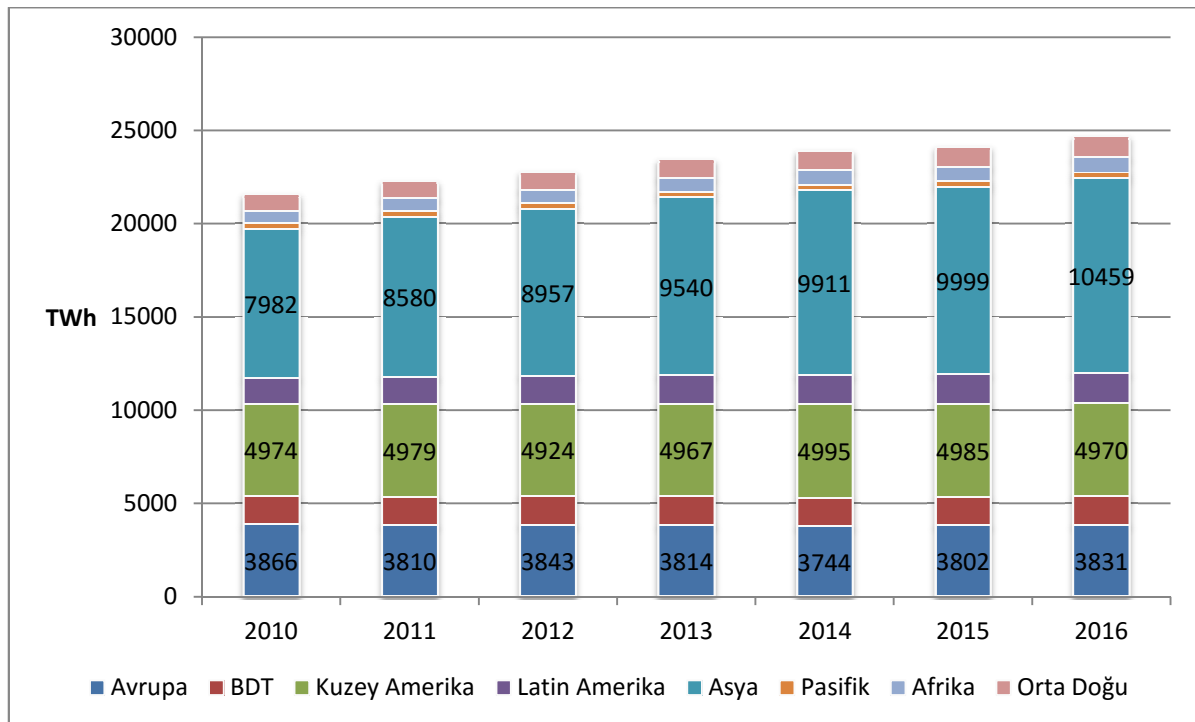
yükseltmemizi sağlamış, fakat bunun yanında çok büyük bedelleri de olmuştur. Fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanımı Dünya'ya birçok açıdan geri dönülemez zararlar vermiştir. Enerji ihtiyacının arttığı ve sınırlı kaynakların gün geçtikçe azaldığı çağımızda sürdürülebilir, çevre ve insanlık dostu kaynaklara yönelim gerekmektedir [3].

Günümüzde elektrik enerjisine olan talep ve ihtiyaç, artan nüfus ve sanayileşme nedeniyle hızla artmaktadır. Elektriğe olan ihtiyacın artması ve güç sistemlerinin daha karmaşık hale gelmesi ve belirsizliğinin artması, geleneksel olmayan üretim kaynaklarının güç sistemlerine dahil olmasına neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları çoğunlukla modern bir güç sisteminde alternatif üretim birimi olarak kullanılır ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artan penetrasyonu birçok avantaja sahiptir [4]. Günümüzde yoğun bir ilgi gören yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji santrallerinin maliyetlerinin incelenmesi ileriye yönelik yapılacak enerji yatırımlarının değerlendirilmesinde büyük önem oluşturacaktır.

Bu makalede yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji santrallerinin maliyetlerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak bölüm 2'de dünya genelinde elektrik enerjisinin genel durumu ve bu üretim içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı gösterilmiş ve bölüm 3'de bu incelemeler Türkiye için gerçekleştirilmiştir. Makalenin 4. bölümünde ise yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim santrallerinin maliyet analizleri yapılmıştır. Son olarak, Bölüm 5'de sonuçlar sunulmuştur.

## 2. Dünyada Elektrik Enerjisinin Genel Görünümü ve Yenilenebilir Kaynakların Elektrik Enerjisi Üretimindeki Yeri

Dünyada enerji tüketimi, dünya genelinde meydana gelen bölgesel değişikliklere rağmen devam eden ekonomik ve teknolojik ilerlemenin yanında nüfus artışına da bağlı olarak sürekli artmaktadır. Energy data'nın verilerine göre 2010 yılından sonraki bütün dönemlerde dünyada üretilen elektrik enerjisi miktarı sürekli olarak artmaktadır. Bu artış oranlarına ait bilgiler Şekil 1 ve Tablo 1 de verilmiştir [5]

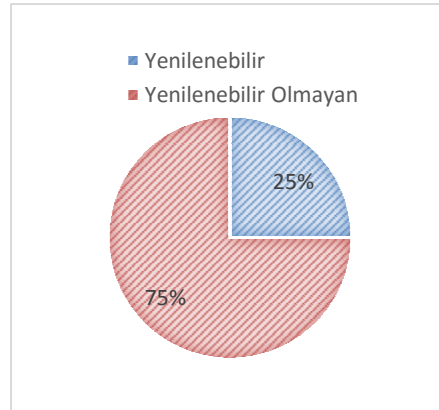


Şekil 1. Dünya da bölgelere göre üretilen elektrik enerji miktarları

**Tablo 1.** Dünya da bölgelere göre üretilen elektrik enerji miktarları

Başlık 1	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Avrupa	3865	3809	3841	3813	3744	3802	3839	3886
BDT	1483	1513	1542	1538	1542	1531	1561	1566
Kuzey Amerika	4982	4986	4927	4972	5007	4988	4993	4963
Latin Amerika	1375	1446	1496	1529	1557	1567	1583	1590
Asya	7983	8581	8958	9539	9934	10226	10691	11274
Pasifik	302	303	300	298	297	302	305	304
Afrika	675	699	727	747	772	790	801	818
Orta Doğu	892	916	958	988	1057	1111	1146	1190
Toplam	21557	22253	22749	23424	23910	24317	24919	25591

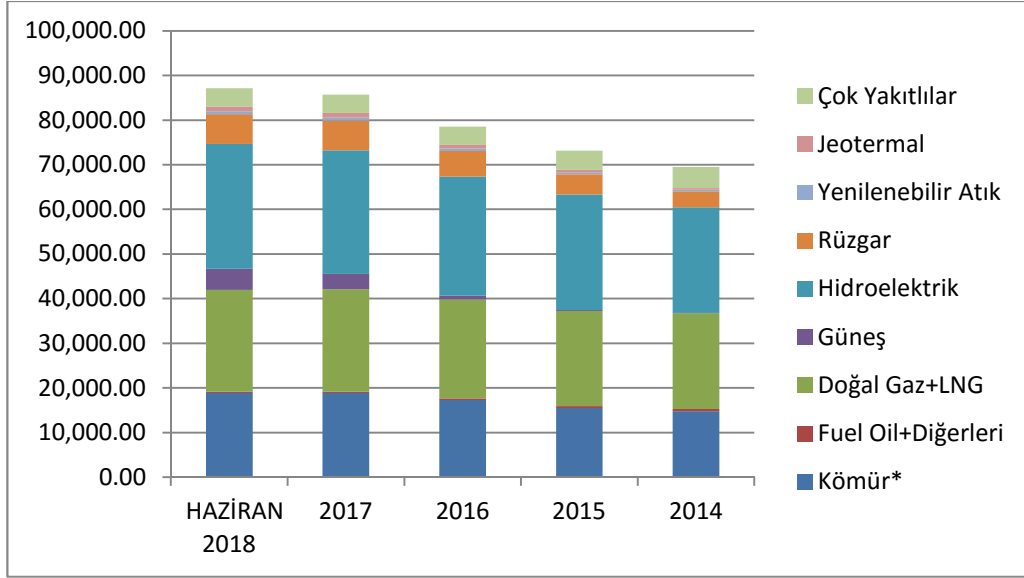
Şekil 1 ve Tablo 1’den görüleceği üzere toplam elektrik üretiminde bölgelere göre artış ve azalmalar görülür iken genel olarak dünya genelinde elektrik üretim miktarı sürekli olarak artmaktadır. Ayrıca tablo ve şekilden görüleceği üzere dünya da elektrik enerjisi üretiminin en fazla olduğu bölge 11274 TWh değeri ile Asya bölgesi iken en az olan bölge 304 TWh değeri ile Pasifik bölgesidir. Ayrıca sonuçlardan görüleceği üzere 2017 yılında dünya genelinde elektrik üretimi 672 TWh artarak 25591 TWh değerine ulaşmıştır. Şekil 2’de dünyada üretilen elektrik enerjisi üretimi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı gösterilmektedir. Bu şekilde görüleceği üzere dünyada elektrik enerjisi üretiminin %25’i yenilenebilir enerji kaynakları ile gerçekleştirilmektedir. 2016 yılı için hesaplanan %24 değerine göre dünya genelinde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının yüzdesi artmıştır [5].

**Şekil 2.** 2017 yılında elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynakların yüzdesi.

### 3. Türkiye’de Elektrik Enerjisinin Genel Görümü ve Yenilenebilir Kaynakların Elektrik Enerjisi Üretimindeki Durumu

Türkiye genel olarak elektrik üretiminde doğal gaz, hidroelektrik ve kömüre dayalı bir üretim yapısına sahiptir. Hidroelektrik üretiminde genel olarak barajlı ve akarsu tipi üretim yapıları bulunmaktadır. Kömür ve doğal gaza dayalı elektrik üretiminde ise bu yakıtların termik santrallerde yakılarak elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Türkiye’nin kaynaklara göre kurulu güçleri Şekil 3 ve Tablo 2’de gösterilmiştir [6], [7]. Şekil ve tablodan da görüleceği gibi Türkiye de en büyük kurulu güce sahip üretim birimi hidroelektrik santrallerdir. Hidroelektrik santralleri ise ikinci olarak doğal gaz üçüncü olarak kömür santralleri takip etmektedir. Ayrıca Türkiye’nin kurulu gücünün yıllara göre değişimi incelendiği zaman sürekli olarak bir artış gösterdiği ve 2018 yılı haziran ayı itibari ile 87138,90 MW değerine ulaştığı görülmektedir. Türkiye’nin nüfus artışı ve ekonomik büyümesine bağlı olarak bu sonuç oldukça doğaldır.



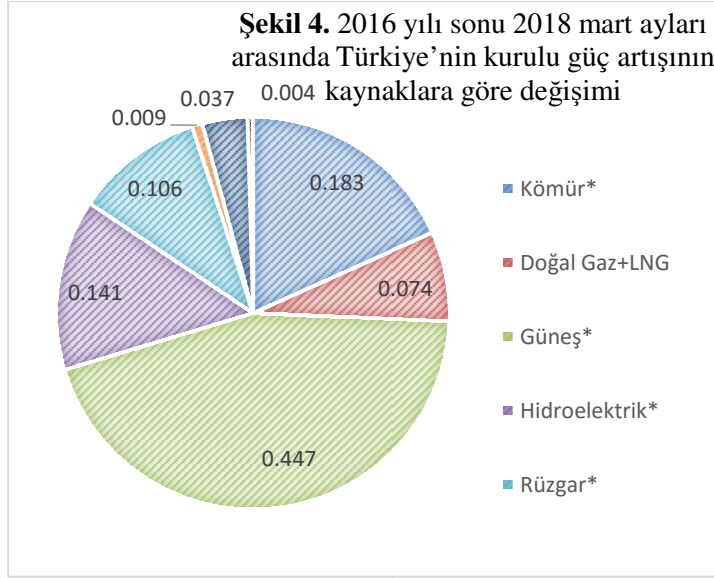


Şekil 3. 2014-2018 yılları arası Türkiye'nin toplam kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı

Tablo 2. Türkiye'nin kaynaklara göre elektrik kurulu gücü

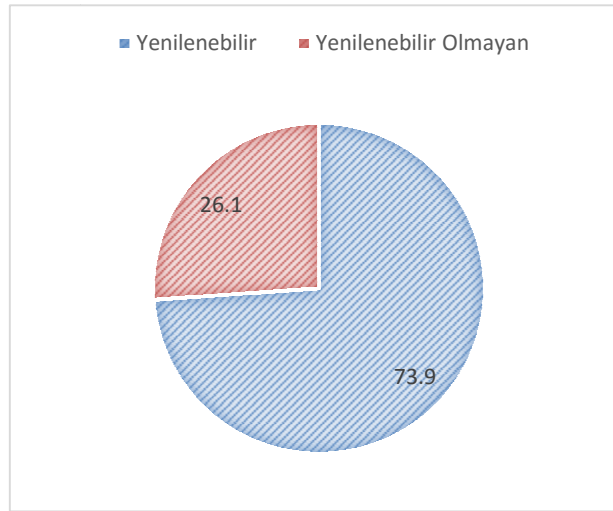
Başlık 1	2014	2015	2016	2017	Haziran 2018
Kömür*	14.771,00	15.492,60	17.316,30	18.867,60	18.908,40
Fuel Oil + Nafta+Motorin	526,90	461,30	368,70	294	294
Doğal Gaz +LNG	21.474,10	21.260,90	22.156,10	22.942,70	22.800,50
Güneş*	40,20	248,80	832,50	3.425,70	4.725,90
Hidroelektrik*	23.643,20	25.867,80	26.681,10	27.722,30	27.912,10
Rüzgar*	3.629,70	4.503,20	5.751,30	6.651,10	6.671,40
Yenilenebilir Atık+ Atık Isı	288,10	362,40	549,50	615,9	624,1
Jeotermal	404,90	623,90	820,90	1.129,20	1.144,20
Çok Yakıtlılar	4.741,80	4.325,90	4.021,10	4.058,30	4.058,30
Toplam	69.519,90	73.146,80	78.497,50	85.706,80	87.138,90

2018 yılı haziran ayı itibari ile kurulu güç incelendiği zaman Türkiye'nin kurulu gücünün %47'sinin yenilenebilir kaynaklara dayalı olduğu görülmektedir. 2016 yılı sonu 2018 haziran ayları arasında Türkiye'nin kurulu güç artışının kaynaklara göre değişimi Şekil 4 ve Tablo 3'de gösterilmiştir. Şekil ve tablo sonuçlarından görüleceği üzere en büyük değişim özellikle güneş enerjisi alanında gerçekleştirilmiştir. Bu dönemden önce 832.5 MW değerine sahip olan kurulu güç değeri 3893,40 MW artarak 4725,90 MW değerine ulaşmıştır. Şekil 5'de görüleceği üzere ayrıca bu dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların oranı toplam oranın yaklaşık %74'ünü oluşturmuştur [6], [7]. Bu sonuçlar ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynaklara olan ilgiyi göstermektedir. Uluslararası enerji kurumunun raporuna göre Türkiye'nin 500GW güneş potansiyeli bulunmaktadır [8]. Ülkemizin doğal gaz kömür gibi dışa bağımlı olduğu kaynaklara dayalı enerji tüketim oranları düşünüldüğü zaman güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ülkemiz açısından kritik önem göstermektedir.



**Tablo 3.** 2016 yılı sonu 2018 mart ayları arasında Türkiye'nin kurulu güç artışının kaynaklara göre değişimi

Başlık 1	Artış Miktarı	Yüzdesi
Kömür*	1.592,10	18,3
Doğal Gaz+LNG	644,40	7,4
Güneş*	3.893,40	44,7
Hidroelektrik*	1.231,00	14,1
Rüzgar*	920,10	10,6
Yenilenebilir Atık+ Atık Isı	74,60	0,9
Jeotermal	323,30	3,7
Çok Yakıtlılar	37,20	0,4
<b>Toplam</b>	<b>8.716,10</b>	<b>100,0</b>



**Şekil 5.** 2014-2018 yılları arası Türkiye'nin toplam kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı

#### 4. Yenilenebilir Enerjiye Dayalı Elektrik Üretim Santrallerinin Maliyet Analizleri

Yeni elektrik üretim kapasitelerinin güncel ve gelecekteki tahmini maliyet ve performans özellikleri, enerji görüşleri ve analizlerinin geliştirilmesinde kritik girdilerdir. Yeni üretim tesislerinin performans özellikleri ile birlikte inşaat ve işletme maliyetleri, gelecekteki elektrik talebini karşılayacak kapasite artırımlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu parametreler aynı zamanda mevcut kapasiteye karşı yeni kapasitenin nasıl rekabet ettiğini ve elektrik generatörlerinin konvansiyonel kirleticiler üzerinde çevresel kontrollerin uygulanması veya sera gazı emisyonları üzerindeki herhangi bir sınırlamaya nasıl tepki vereceğini belirlemeye yardımcı olur [9].

Her teknoloji, olağandışı olağan dışı kısıtlamalara veya altyapı gereksinimlerine sahip olmayan bir konumda, belirli bir boyut ve yapılandırmanın genel bir tesis tarafından temsil edilir. Mümkün olduğunda, maliyet tahminleri, işçilik ve malzeme oranları için genel varsayımlar kullanılarak, danışman tarafından bilinen fiili veya planlanmış projelerden elde edilen sistem tasarımı, konfigürasyon ve konstrüksiyon hakkındaki bilgilere dayanmaktadır.

Her bir tesis türü için belirli maliyetler aşağıdakileri içerecek şekilde ayrılmıştır:

- 1) Sivil ve yapısal maliyetler: Saha hazırlığı, drenaj, yeraltı tesislerinin kurulumu, yapısal çelik temini ve şantiyede bina inşaatı için gerekli ödenekler.
- 2) Mekanik ekipmanların temini ve kurulumu: Kazanlar, baca gazı kükürt yıkayıcıları, soğutma kuleleri, buhar türbini generatörleri, kondenserler, fotovoltaiik modüller, yanmalı türbinler, rüzgar türbinleri ve diğer yardımcı ekipman dahil ancak bunlarla sınırlı olmayan ana ekipmanlar
- 3) Elektrik ve enstrümantasyon ve kontrol: Elektrik transformatörleri, şalt cihazları, motor kontrol merkezleri, şalt sahaları, dağıtılmış kontrol sistemleri ve diğer elektrik malzemeleri
- 4) Projenin dolaylı maliyetleri: Mühendislik, dağıtılabılır işgücü ve materyaller, zanaat işçiliği, fazla mesai ve teşvikler, iskele masrafları, inşaat yönetimi başlatma ve devreye alma ve acil durum için ücretler
- 5) Mal sahiplerinin maliyetleri: Geliştirme maliyetleri, ön fizibilite ve mühendislik çalışmaları, çevresel çalışmalar ve izinler, yasal ücretler, sigorta maliyetleri, inşaat sırasında mülk vergileri ve yakındaki bir elektrik iletim sistemine bağlanma dahil elektrik bağlantı maliyetleri.

Enerji santrali teknolojilerinin her biri ile ilişkili yakıt içermeyen işletme ve bakım (O & M) maliyetleri de değerlendirilir. Bir tesisin elektrik üretimiyle önemli ölçüde değişmeyen O & M maliyetleri sabit olarak sınıflandırılır. Bunlara örnek verecek olursak, tesis personeli için maaşlar ve takvim bazında planlanan bakımlar gösterilebilir. Elektrik üretmek için katlanılan maliyetler değişkenler olarak sınıflandırılır. Bunlara işletme saatlerinin sayısına veya santralin başlama durma döngülerine göre şemalandırılabilen bakım ve sarf malzemelerinin maliyeti örnek verilebilir [9].

**Tablo 4.** Yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin ekonomik ve teknik ömürleri

Kaynak	Ekonomik Ömrü	Teknik Ömrü
Hidroelektrik	35	70
Solar PV	20	25
Yoğunlaştırılmış Solar Güç (CSP)	25	30
Rüzgar (Kara)	25	30
Rüzgar (Deniz üstü)	25	30
Jeotermal	35	50
Bio enerji	20-25	40

Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti, bir üretim varlığının ömrü boyunca elektrik birim maliyetinin net bugünkü değeridir. Genellikle, üretken varlığın ömür boyu ne kar ne de zarar etmemek için bir piyasada alması gereken ortalama fiyat için bir vekil olarak alınır. Bu, ömrü boyunca tüm maliyetleri içeren bir elektrik üretim sisteminin maliyet rekabet gücünün birinci dereceden bir ekonomik değerlendirmesidir: ilk yatırım, işletme ve bakım, yakıt maliyeti, sermaye maliyeti.

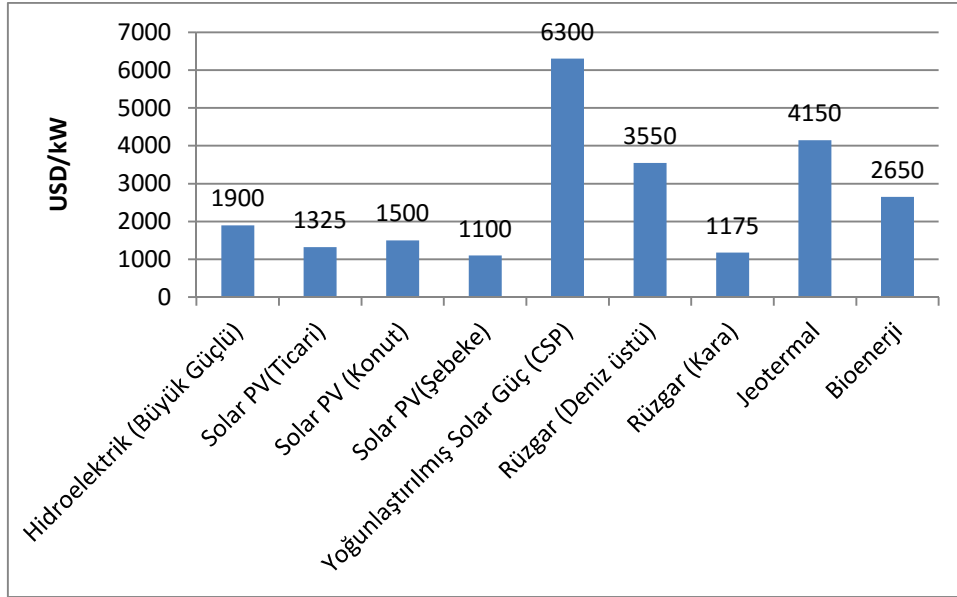
Seviyelendirilmiş maliyet, varlığın üretici profilinin ömrü boyunca sağlanan eşit değerli bir sabit gelirin, projenin ne kar ne de zarar etmemesine neden olacak değerdir. Seviyelendirilmiş maliyet, aynı zamanda, projenin ömrü boyunca ne kar ne de zarar etmemek için elektriğin satılması gereken ortalama minimum fiyat olarak kabul edilebilir. Bu, varlığın ömrü boyunca tüm maliyetlerin net bugünkü değeri, varlığın toplam elektrik enerjisi çıkıtısına bölünmesiyle kabaca hesaplanabilir [10].

Tablo 5, Şekil 6 ve 7 de yenilenebilir enerji santrallerinin sistem maliyetleri ve yıllık işletme ve bakım maliyetlerine ait veriler gösterilmiştir [11]. Ayrıca Tablo 6 ve Şekil 8’de yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji santrallerinin enerji üretimi için seviyelendirilmiş enerji maliyetleri gösterilmiştir [12]–[17].

**Tablo 5.** Yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin sistem ve yıllık işletme ve bakım maliyetleri

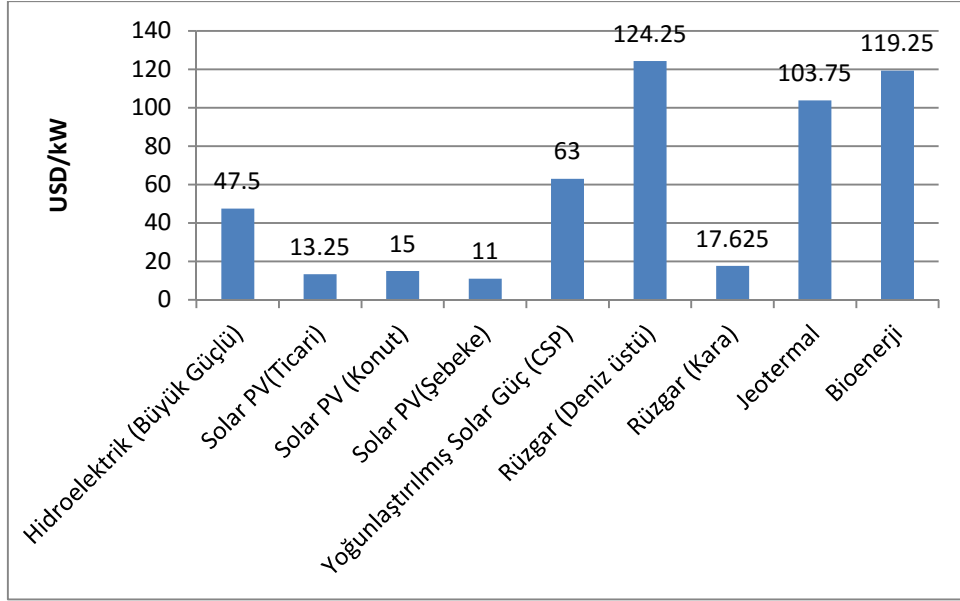
Santral çeşidi		Sistem Maliyeti	Yıllık İşletme ve Bakım Maliyetleri (%)
Hidroelektrik	Büyük Güçlü	1300-2500	2.5
	Küçük Güçlü	2000-3500	2.5
Solar PV(Ticari)	Çin	1200-1450	1.0
	Almanya	1200-1500	1.0
	ABD	2800-3400	1.0
Solar PV (Konut)	Çin	1350-1650	1.0
	Almanya	1450-1800	1.0
	ABD	3800-4200	1.0
Solar PV(Şebeke)	Çin	1050-1300	1.0
	Almanya	1000-1200	1.0
	ABD	1800-2400	1.0
Yoğunlaştırılmış Solar Güç (CSP)		5100-7500	1.0
Rüzgar (Deniz üstü)	Çin	3300-3800	3.5
	Almanya	4200-4900	3.5
Rüzgar (Kara)	Çin	1050-1300	1.5
	Almanya	1650-1850	1.5
Jeotermal		1600-6700	2.5
Bioenerji		800-4500	2.5-6.5

\*Sistem yıllık işletme ve bakım maliyetleri toplam sistem maliyetlerinin yüzdesi olarak verilmiştir.



**Şekil 6.** Yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin ortalama sistem maliyetleri

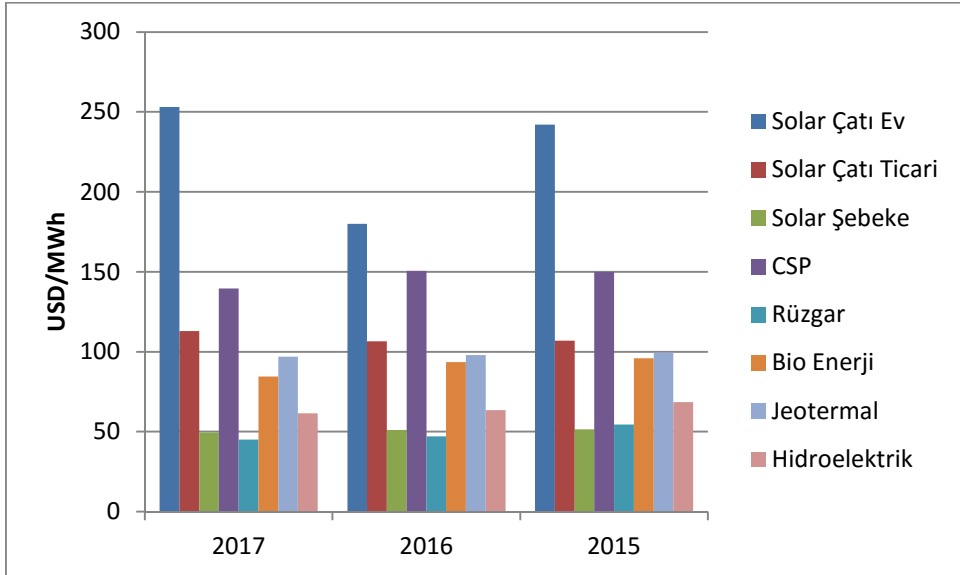




Şekil 7. Yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin ortalama yıllık işletme ve bakım maliyetleri

Tablo 6. 2015-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin seviyelendirilmiş enerji maliyetleri

Santral çeşidi	2017	2016	2015
Solar Çatı Ev	187-319	138-222	184-300
Solar Çatı Ticari	76-150	78-135	78-136
Solar Şebeke	46-53	46-56	43-60
Yoğunlaştırılmış Solar Güç (CSP)	98-181	119-182	119-181
Rüzgar	30-60	32-62	32-77
Bio Enerji	55-114	77-110	82-110
Jeotermal	77-117	79-117	82-117
Hydropower	49,6-73,9	57,4-69,8	59,6-78,1



Şekil 8. 2015-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin seviyelendirilmiş enerji maliyetleri

Tablo 4' yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin teknik ve ekonomik ömürleri görülmektedir. Ekonomik açıdan 35 yıl ile en fazla ömür süresi hidroelektrik ve jeotermal santrallere ait iken teknik ömür olarak en fazla ömür 70 yıl ile yine hidroelektrik santrallere aittir.

Tablo 5'de yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin sistem maliyetleri ve yıllık işletme bakım maliyetleri kW başına USD değerinden gösterilmiştir. Bu tabloya ait değerlere ait grafikler Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir. Şekil 6 ve 7'deki değerler santrallerin en düşük olduğu bölgenin değerlerinin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Tablo ve şekil sonuçlarından da görüleceği üzere kW başına en düşük sistem maliyeti 1100 USD ile şebeke boyutlu PV sistemlere aittir. En pahalı maliyet ise 6300 USD değeri ile yoğunlaştırılmış solar güç santrallerine ait iken işletme ve bakım maliyeti en fazla olan santral ise 124.25 USD değeri ile deniz üstü rüzgar santralleridir.

Tablo 6'da 2015-2017 yılları arası yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin seviyelendirilmiş enerji maliyetleri verilmiştir. Şekil 8'de ise bu enerji maliyetlerinin ortalamalarına ait grafikler gösterilmiştir. 2017 yılı sonu için solar çatı ev ve ticari hariç diğer tüm santrallerin enerji maliyetleri genel olarak düşmüştür. Yoğunlaştırılmış solar güç santralleri tüm yıllar için en fazla enerji maliyeti gerektiren santral tipi olarak devam etmektedir. Seviyelendirilmiş enerji maliyetleri incelendiği zaman en düşük maliyet 2017 yılı için 45 USD değeri ile rüzgara aittir. Rüzgarı 49.5 USD maliyet ile şebeke tipi solar santraller takip etmektedir.

## 5. Sonuçlar

Elektrik, modern çağda en önemli enerji kaynağıdır, ama aynı zamanda en geçici olanıdır ve üretildiği kadar hızlı tüketilmesi gereken bir kaynaktır. Bu, elektrik üretimi ekonomisini modellemeyi diğer ürünler için aynı uygulamayı gerçekleştirmekten daha karmaşık hale getirir. Doğru modelleme önemlidir, çünkü gelecekteki yatırım kararlarının temelini oluşturur. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik santrallerinin maliyetleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca dünya genelinde ve özelde Türkiye'de yenilenebilir enerjiye dayalı santrallerin durumları gösterilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda ülkemizde son yıllarda yapılan yatırımların büyük çoğunluğunun yenilenebilir kaynaklı santrallere yönelik yapıldığı görülmektedir. Özellikle bu kaynaklar içerisinde solar santrallerin oranı diğer kaynaklara göre daha belirgin bir şekilde artış sağladığı görülmektedir. Enerji maliyetleri bölümünde de görüldüğü gibi şebeke boyutlu solar santrallerin seviyelendirilmiş enerji maliyetlerinin küçük olması ve ayrıca Türkiye'nin mevcut güneş gücü potansiyeli göz önüne alındığında bu sonuç oldukça doğaldır. Yapılan incelemelerde ayrıca genel olarak yıllara göre yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin enerji maliyetlerinin daha da azaldığı görülmektedir. Bu azalmalarda genel anlamda enerji santrallerinin içerisinde her geçen gün yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin oranının artmasını sağlamaktadır.

## Referanslar

- [1] Ceylan M., *Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı*. Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2016.
- [2] Kaya K. ve Koç E., "Enerji üretim santralleri maliyet analizi," *Mühendis ve Makina*, vol. 56, no. 660, pp. 61-68, 2015.
- [3] Keyhani A., *Design of smart power grid renewable energy systems*. John Wiley & Sons, 2016.
- [4] Chowdhury S.ve arkadaşları, *Microgrids and active distribution networks*. The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [5] "World-electricity-production-statistics," 2018. [Online]. Available:

- <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>. [Accessed: 21-Oct-2018].
- [6] “TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ İSTATİSTİKLERİ,” 2018. [Online]. Available: [http://www.emo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=88369](http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369). [Accessed: 21-Feb-2018].
- [7] “Türkiye’nin kurulu gücü,” 2018. [Online]. Available: <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc>. [Accessed: 21-Feb-2018].
- [8] Yıldırım B., “INVESTIGATION WITH MODAL ANALYSIS OF EFFECTS OF HIGH PV PENETRATION ON POWER SYSTEM VOLTAGE STABILITY,” *Int. J. Energy Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 17–26, 2017.
- [9] “Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants,” *U.S. Energy Information Administration*. [Online]. Available: [https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capcost\\_assumption.pdf](https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capcost_assumption.pdf). [Accessed: 20-Sep-2018].
- [10] “Projected Costs of Generating Electricity,” *International Energy Agency*. [Online]. Available: <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2005/5968-projected-costs.pdf>. [Accessed: 05-Sep-2018].
- [11] “Renewables 2017 Methodology,” *International Energy Agency*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/media/publications/mtrmr/Renewables2017Methodology.pdf>. [Accessed: 01-Sep-2018].
- [12] “Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources 2018,” *U.S. Energy Information Administration*. [Online]. Available: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity\\_generation.pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf). [Accessed: 20-Aug-2018].
- [13] “Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources 2017,” *U.S. Energy Information Administration*. [Online]. Available: [https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo17/pdf/electricity\\_generation.pdf](https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo17/pdf/electricity_generation.pdf). [Accessed: 20-Aug-2018].
- [14] “Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources 2016,” *U.S. Energy Information Administration*. [Online]. Available: [https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo16/pdf/electricity\\_generation\\_2016.pdf](https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo16/pdf/electricity_generation_2016.pdf). [Accessed: 20-Aug-2018].
- [15] “Lazard’s Levelized Cost of Energy 9,” *Lazard*. [Online]. Available: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-analysis-90/>. [Accessed: 20-Aug-2018].
- [16] “Lazard’s Levelized Cost of Energy 10,” *Lazard*. [Online]. Available: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-analysis-100/>. [Accessed: 20-Aug-2018].
- [17] “Lazard’s Levelized Cost of Energy 11,” *l*. [Online]. Available: <https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf>. [Accessed: 21-Aug-2018].

## 3D Mass Visualization of Thyroid CT Images thru Marching Cubes Method

Ahmet Haşim YURTTAKAL\*<sup>a</sup>, Hasan ERBAY<sup>b</sup>, Türkan İKİZCELİ<sup>c</sup>, Seyhan KARAÇAVUŞ<sup>d</sup>, Gökalp ÇINARER<sup>a</sup>

Department of Computer Technologies, Yozgat Bozok University, Yozgat-Turkey<sup>a</sup>

Department of Computer Engineering, Kirikkale University, Kirikkale-Turkey<sup>b</sup>

Department of Radiology, University of Health Sciences, Istanbul-Turkey<sup>c</sup>

Department of Nuclear Medicine, University of Health Sciences, Kayseri-Turkey<sup>d</sup>

**Abstract:** Thyroid cancer is the type of cancer caused by the cells of the thyroid gland. This is less common than other types of cancer. If the correct diagnosis is made and appropriate treatment is given, the disease can be completely removed.

Herein, we present an algorithm to 3D visualize thyroid cancer using 2D Dicom images. As is known, Dicom is the de-facto file standard in medical imaging, and these files contain useful metadata as well. We use some of these meta-attributes to calculate the Hounsfield Unit. In other words, the pixel values are calculated according to the average attenuation of the tissue corresponding to a scale of -1024 to + 3071 on the Hounsfield scale. Dicom images used in the study were obtained from patients under the supervision of specialist doctors. Thyroid cancer tumors were modelled in 3D using the pixel values thru Marching Cubes Algorithm.

**Keywords:** Computed Tomography (CT), Marching Cubes Algorithms, Hounsfield Unit (HU)

### Marching Küpleri Yöntemi ile Tiroid CT Görüntülerinin 3D Kitle Görselleştirilmesi

**Özet:** Tiroid kanseri, tiroid bezinin hücrelerinin neden olduğu kanser türüdür. Bu diğer kanser türlerinden daha az görülür. Doğru tanı konular ve uygun tedavi verilirse hastalık tamamen kaldırılabilir.

Bu çalışmada, 2D dicom görüntüleri kullanarak tiroid kanserini 3D'ye görselleştirmek için bir algoritma sunuyoruz. Bilindiği gibi, Dicom tıbbi görüntüleme için kullanılan başlıca dosya standardıdır ve bu dosyalar da yararlı meta veriler içerir. Hounsfield Birimini hesaplamak için bu meta özelliklerin bazılarını kullanırız. Başka bir deyişle, piksel değerleri, Hounsfield ölçeğinde -1024 ila + 3071 arasındaki bir ölçeğe karşılık gelen dokunun ortalama zayıflamasına göre hesaplanır. Çalışmada kullanılan dicom görüntüleri uzman doktorların gözetiminde hastalardan elde edildi. Tiroid kanseri tümörleri, Marching Cubes Algoritması ile piksel değerlerini kullanarak 3D olarak modellenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Computed Tomography (CT), Marching Cubes Algorithms, Hounsfield Unit (HU)

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

Yurttakal AH, Erbay H, İkizceli T, Karacavus S, Çınar G, '3D Mass Visualization of Thyroid CT Images thru Marching Cubes Method', Elec Lett Sci Eng , vol. 14(3) , (2018), 20-26

## 1.Introduction

Thyroid cancer is the type of cancer caused by the cells of the thyroid gland. Thyroid cancer is relatively uncommon compared to other type of cancers. It affects 35-40% of Turkish society and occurs especially in women. Thyroid cancer after breast cancer in women in Turkey into second place. If the correct diagnosis is made and appropriate treatment is given, the disease can be completely removed [1].

On the other hand, Computed Tomography (CT) is a special x-ray technique that displays the body in cross-sections with the aid of X-rays. As in the X-ray examination, calcified or bony structures (eg skeleton) appear white on CT images, soft tissues (eg heart) gray, and air tissues (eg, lung and intestine) appear black.. CT scanning is often the best method for detecting many different cancers since the images allow your doctor to confirm the presence of a tumor and determine its size and location [2].

\* Corresponding author; Tel:+90-3542175064 E- mail:[ahmet.yurttakal@bozok.edu.tr](mailto:ahmet.yurttakal@bozok.edu.tr)

Department of Computer Technologies, Yozgat Bozok University Bahçeşehir 66100, Yozgat-Turkey,

ISSN 1305-8614 © 2016 [www.e-lse.org](http://www.e-lse.org) All rights reserved.



3D visualization has been implemented in many problem areas and has therefore become an important tool for exploring data and discovering information. Volumetric data can be defined as a collection of 3D points  $P_i=(x_i,y_i,z_i)$  [3].

In this paper, we present an algorithm to 3D visualize thyroid cancer using 2D dicom images. We employed the Marching Cubes Method for generating 3D structures. We extensively use Hounsfield Units values throughout the algorithm to isolate all bone structures and water structures so that we create a 3D mesh of those structures thru the Marching Cubes.

The rest of the paper is organized as follows. In section II we recall Marching Cubes Method. Then, in section III, we describe Hounsfield Unit and give Hounsfield scale for the quantitative measure of radiodensity. Finally, we present experimental results in section IV.

## 2. Marching Cubes Method

The Marching Cubes (MC) Method by William Lorensen and Harvey Cline is commonly used algorithm for extraction of isosurface out of volumetric data. It uses a divide and conquer approach in which volume data is processed through voxels. The algorithm creates a triangular mesh by calculating isosurfaces from separate data. By drawing all these triangles, we can build a 3D visualization of the CT-Scans [4].

Multiple image slices for processing are arranged as a multidimensional array. And two adjacent slices are taken into account at a time as shown in Figure 1.

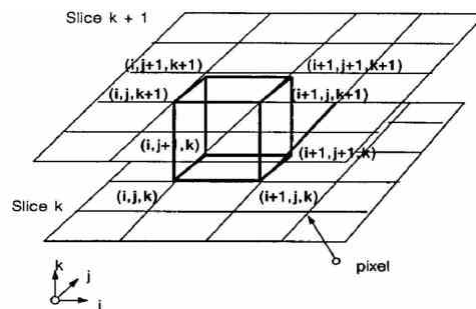


Figure 1: Cube formed on grid [5]

The Marching Cube Algorithm consist of two main sections. The first part is to find out how to define the surface sections that cut the individual cube. If we classify each corner above or below the equivalent value, the total corner classifications have a total of 256 possible configurations. In these 256 feasible configurations, two of them are unimportant. For the remainder of the configurations, we must decide whether the isosurface has passed along each edge of the cubes, and we must use these margins to create one or more triangular patches for isosurface. When the value of the vertex is greater than or equal to isovalue it is internal, and when it is less than isovalue it is external [4]. We assigned 0 to vertex outside the surface and appoint 1 to vertex inside the surface in Figure 2.

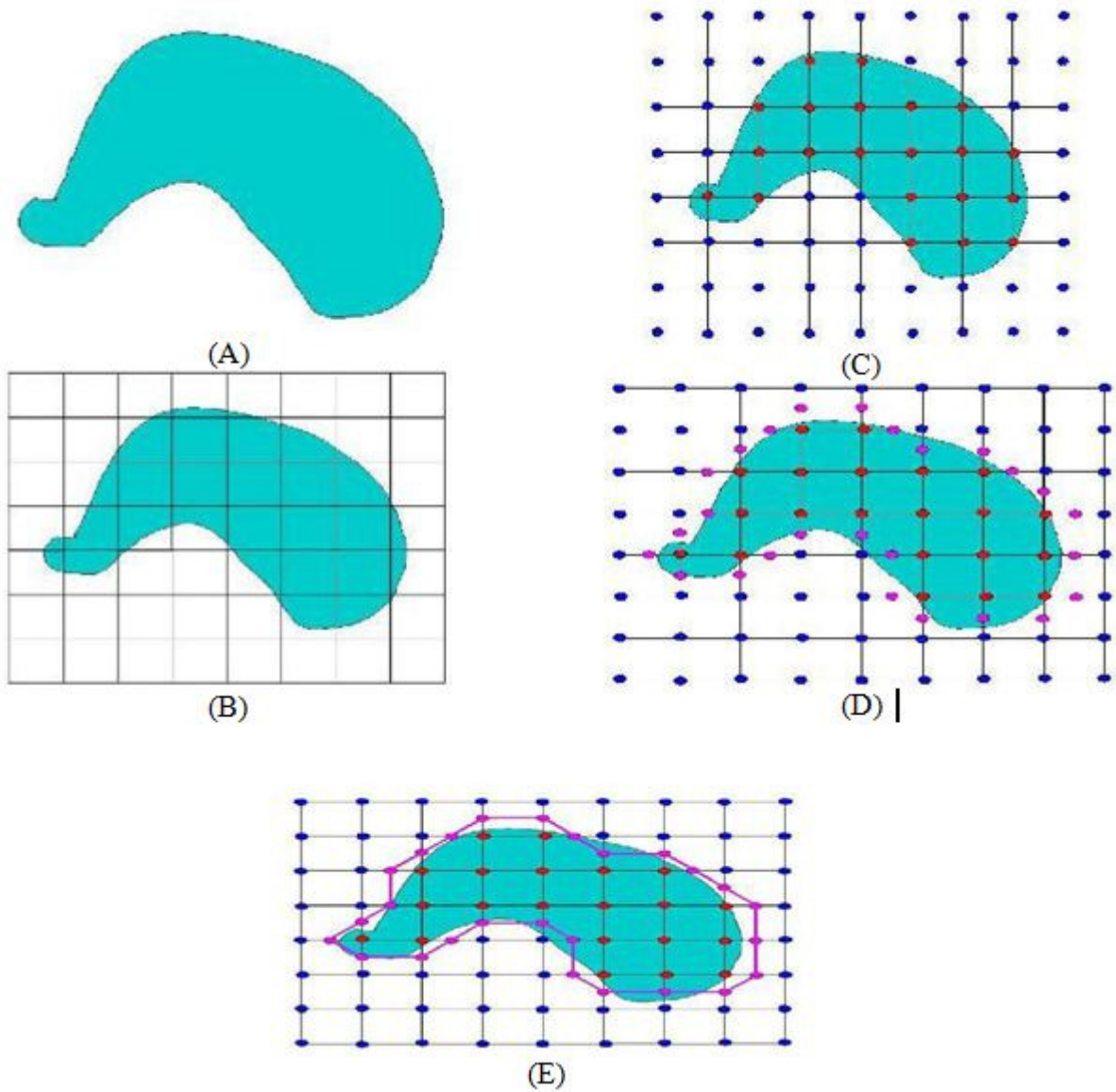


Figure. 2: Pre-Processing (A) Image (B) Segmented Image (C) Intersected Point (D) Offset Points (E) Join all Offset points [6].

When symmetries cases are considered in Figure 4, there are only 14 unique configurations in the remainder of the 254 configurations indeed in Figure 3.

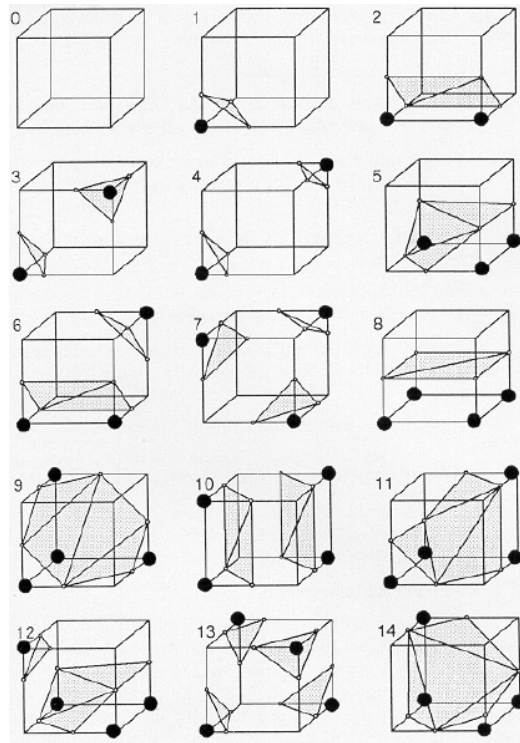


Figure 3: Unique configurations

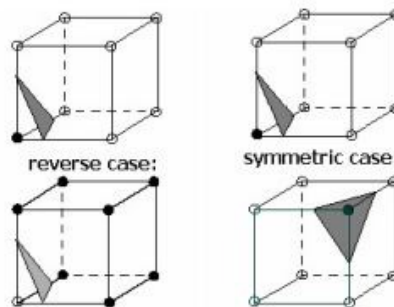


Figure 4: Symmetry cases

If only one corner is less than the equivalent, it forms a single triangle that intersects the edges that meet in this corner. There are 8 equal configurations belongs to this situation in Figure5. [4].

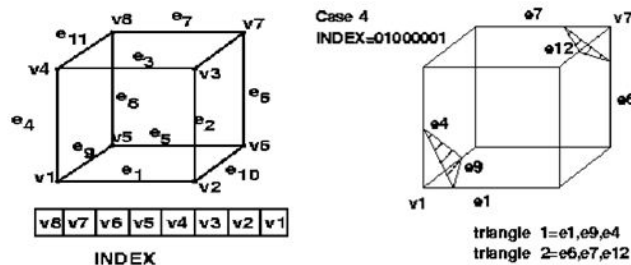


Figure 5: Triangulation

The second section in Marching Cubes Method is to calculate a unit normal for each triangle vertex. It is used to create Gouraud-shaded images in the rendering algorithms. [4].

To calculate surface normal, we need to determine gradient vector  $g$ . The gradient at cube vertex  $(a, b, c)$ , is estimated using central differences along the three coordinate axes by:

$$\text{Gradient}_x(a,b,c)=\text{Density}(a+1,b,c)-\text{Density}(a-1,b,c) / \Delta x \tag{2.1}$$

$$\text{Gradient}_y(a,b,c)=\text{Density}(a,b+1,c)-\text{Density}(a,b-1,c) / \Delta y \tag{2.2}$$

$$\text{Gradient}_z(a,b,c)=\text{Density}(a,b,c+1)-\text{Density}(a,b,c-1) / \Delta z \tag{2.3}$$

In Equation (2.1), (2.2), (2.3), Density  $(a, b, c)$  is the density at pixel  $(a, b)$  in slice  $k$ .  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  are lengths of the cube edges [5]

### 3.Hounsfield Unit

The pixel value in a Computed Tomography image gives us a direct way to roughly identify the type of tissue to which each pixel belongs. Thus, we can simply flatten out the image from the image by matching the image with known intervals. So we calculated the Hounsfield Unit. [7].

The Hounsfield unit is a numerical measure of radiodensity. Pixels in an image acquired by Computed Tomography are indicated radiodensity. The value of pixel is showed on the Hounsfield scale based on the average attenuation of the corresponding tissue from -1024 to 3000. [7].

We converted raw pixel data to HU. Herewith, CT's DICOM images usually contain two most commonly called metadata. These are RescaleSlope and RescaleIntercept. The formula for calculating HU from the raw pixel value is given below [7]:

$$\text{HU} = \text{PixelValue} * \text{RescaleSlope} + \text{RescaleIntercept} \tag{3.1}$$

The materials corresponding to the Hounsfield value are shown in Table 1 [8].

Table 1: Hounsfield Unit-Material [8]

Material	Hounsfield Unit
Air	-1000
Water	0
Blood	25
Muscle	25 to 40
Bone	200 to 1000

### 4.Experimental Results

Thyroid dicom images were taken from a local hospital. The properties of the images used in the study are given in Table 2. This means we have 3,27 mm slices, and each voxel represents 1,36 mm. A CT slice is typically reconstructed at 512 x 512 voxels, each slice represents approximately 700 mm of data in length and width.

We implement the algorithm in Python programming language and open source scientific libraries such that Pydicom, Matplotlib, Scikit-Learn.

Table 2: Properties of images

Properties	Value
Slice Thickness (mm)	3,27
Pixel Spacing (row, col) (mm)	1.367188, 1.367188
Number of Slices	247
Dimensions	512x512

Using DICOM's metadata, we can find the size of each voxel as the slice thickness. That's why we have resampled each slice into 1x1x1 mm pixels and slices to view the CT in 3D isometric form and to compare different scans. After sampling, new dimensions are 808x700x700. CT images are shown in Figure 6 by skipping every 10 slices to get an overview of the work.

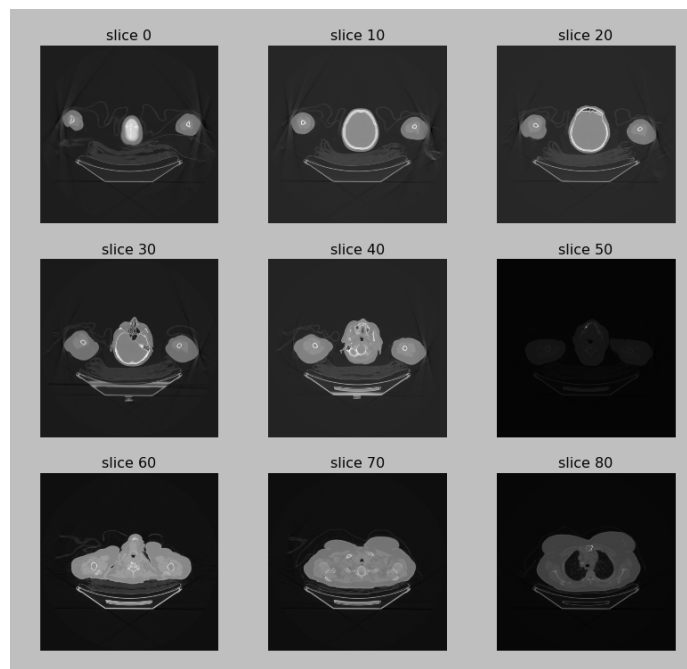


Figure 6: Slices

The histogram of all voxel data is shown in Figure 7. According to the histogram Mostly there is plenty of soft tissue a little fat

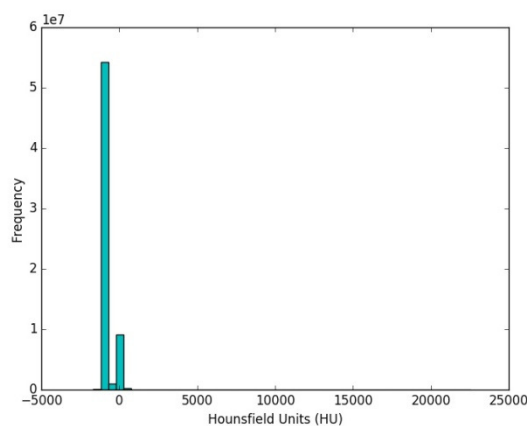


Figure 7: The histogram of all voxel data

Thyroid CT dicom images thresholded it to values over 350 HU In this way, all bone structures were isolated and then We created a 3D mesh of bone structures using Marching Cubes



Algorithm In Figure 8a, bone structures are shown. Dicom images thresholded it to values over 0 HU. All tumor structures were isolated and then We created a 3D mesh of tumor. In Figure 8b, tumor structures are shown.

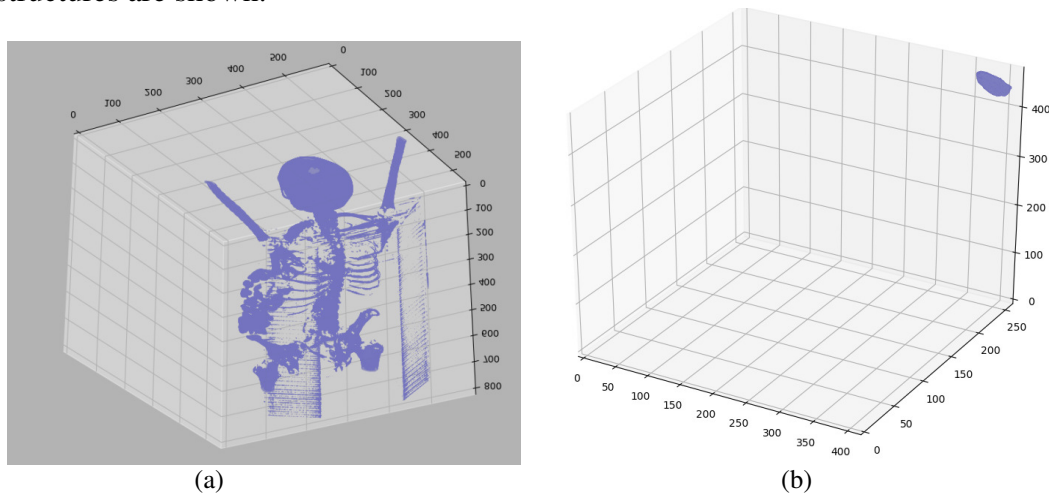


Figure 8: Tumor (a) and Bone (b) Structures

Calculated verts matrix is  $\begin{bmatrix} 361. & 252. & 453. \\ 362. & 252. & 452. \\ 362. & 251. & 453. \\ 411. & 254. & 443. \\ 411. & 254. & 444. \\ 411. & 254. & 445. \end{bmatrix}$  Calculated faces matrix is  $\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 4 & 3 & 0 \\ 0 & 3 & 2, \\ 4494 & 4508 & 4495 \\ 4495 & 4508 & 4509 \\ 4495 & 4509 & 4491 \end{bmatrix}$

This application is also used practically in the evaluation of tumors. A tumor is benign if the HU value is less than 10 [9]. As a result, the tumor volume is calculated. According to the results obtained, the tumor is benign.

## References

- 1.Thyroid Cancer. (n.d.). Retrieved March 21, 2018, from <https://www.thyroid.org/thyroid-cancer/>
- 2.Computed Tomography. (n.d.). Retrieved March 21, 2018, from <https://www.radiologyinfo.org/en/submenu.cfm?pg=ctscan>
- 3.Jones M, Leu A, Satherley R, Treavett S. Glossary. In: Chen M, Kaufman A, Yagel R, editors. Volume graphics. London: Springer; 2000. p. 395–406.
- 4.Sio, C. C., Ngan, M., Yi, J., & Chen, X. (2011). Volume Rendering with Marching Cube Algorithm. *University of Southern California, date Feb, 11.*
- 5.William E. Lorensen, Harvey E. Cline, “Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm” *Computer graphics*, volume 21, July 1987.
- 6.An Implementation of the Marching Cubes Algorithm. (n.d.). Retrieved March 21, 2018, from [http://www.cs.carleton.edu/cs\\_comps/0405/shape/marching\\_cubes.html](http://www.cs.carleton.edu/cs_comps/0405/shape/marching_cubes.html)
- 7.Surface Extraction: Creating a mesh from pixel-data using Python and VTK. (2014, October 26). Retrieved March 21, 2018, from <https://pyscience.wordpress.com/2014/09/11/surface-extraction-creating-a-mesh-from-pixel-data-using-python-and-vtk/>
- 8.Hounsfield scale. (2018, March 14). Retrieved March 21, 2018, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Hounsfield\\_scale](https://en.wikipedia.org/wiki/Hounsfield_scale)
- 9.Anonymous,“Adrenal Adenoma Imaging.” *Overview, Radiography, Computed Tomography*, 9 Mar. 2017, [emedicine.medscape.com/article/376240-overview](http://emedicine.medscape.com/article/376240-overview).

## Torque Analysis of Shaded Pole Induction Motors Considering Space Harmonics Effect

Adem DALCALI<sup>1\*</sup>, Mehmet AKBABA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronics and Communication Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedü Eylül University, Bandırma, Balıkesir / Turkey

<sup>2</sup>Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Karabük University, Karabük / Turkey

---

**Abstract:** Shaded pole induction motors (SPIM) are often preferred in small power applications because of their ability to operate from single phase system without any control, simple construction, easy production and low-cost features. These motors are easy to manufacture but the most difficult to analyze mathematically. In this study, motor inductance behavior is deduced to calculate working magnitudes. Inductance values are expressed in terms of rotor position so that they can be used in current and torque calculations. By theoretical analysis of the motor, the voltage and torque equations are derived in detail for the steady-state condition. Then the torque behavior of the motor according to the slip is obtained.

*Keywords:* Shaded pole induction motor, space harmonics, self inductance, torque equation

---

## Gölge Kutuplu Asenkron Motorların Uzay Harmoniklerini İçeren Tork Analizi

**Özet:** Gölge kutuplu asenkron motorlar (GKAM) herhangi bir kontrolöre gerek duymadan bir fazlı kaynaktan çalışabilmeleri, basit yapıları, kolay üretim ve düşük maliyet özellikleri nedeniyle endüstride özellikle küçük güç uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedirler. Bu motorlar üretimi kolay fakat matematiksel analizi en zor olan elektrik makinalarıdır. Bu çalışmada, çalışma büyüklüklerinin hesaplanması amacıyla motorun endüktans davranışı çıkarılmıştır. Endüktans değerlerinin akım ve moment hesaplamalarında kullanılabilmesi için rotor konumuna bağlı olarak ifade edilmiştir. Motorun teorik analizi yapılarak, gerilim ve moment denklemleri sürekli hal durumu için detaylı olarak çıkarılmıştır. Daha sonra kaymaya göre motorun tork davranışı elde edilmiştir.

*Anahtar Kelimeler:* Gölge kutuplu senkron motor, uzay harmoniği, özendüktans, tork denklemi

---

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

A. Dalcalı, M. Akbaba 'Torque Analysis of Shaded Pole Induction Motors Considering Space Harmonics Effect', Elec Lett Sci Eng , vol. 14(3) , (2018), 27-34

---

### 1. Giriş

Bir fazlı motorlar arasında gölge kutuplu asenkron motorlar(GKAM) üretimi en kolay fakat matematiksel analizi en zor olan elektrik makinalarıdır. Motorun değişken yapıda bir hava aralığına ve eliptik döner manyetik alana sahip olması bu motorların matematiksel analizini zorlaştırmaktadır. GKAM'lar küçük güç uygulamalarında maliyet ve üretim kolaylığı bakımından genellikle tercih edilmektedirler. Yüksek güçlü uygulamalarda ise düşük verime sahip olmalarından dolayı tercih edilmemektedirler. Bu yüzden genellikle 300 W kadar üretilmektedirler [1].

GKAM'ların modellenmesinde ve motor performans analizlerinin gerçekleştirilmesinde genel kabul görmüş bir metot bulunmamaktadır. Bu durumdan dolayı literatürde bu motorların özellikle endüktans ve tork karakteristikleri üzerine az sayıda çalışma yapılmıştır [2]. Zhou ve Rajanathan 2D sonlu elemanlar analizini kullanarak başlangıç torkunun optimizasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Başlangıç torkunu etkileyen faktörlerin rotor oyuk şekli ile stator kutup şekli olduğunu tespit etmişlerdir [3]. Genetik algoritma (GA) optimizasyon tekniği kullanılarak 3

farklı tip motor modeli oluşturan ve analizlerini gerçekleştiren Sarac ve Cvetkovski, her bir motorun anma yükünde verim, tork ve çıkış gücü değerlerini elde etmişlerdir. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda verim ve elektromanyetik tork değerlerinde artış gözlemlenmiştir [4].

Bu çalışma ile GKAM'ların tork modelinin ayrıntılı bir şekilde elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla motorun endüktans davranışı analitik denklemler ve deneyler yardımıyla elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ile motorun gölge kutup sargısı ve rotoruna ait parametreler hesaplanmıştır. Tüm bu elde edilen parametreler sonucunda motor sargılarının gerilimi ve tork denklemleri detaylı olarak çıkarılmıştır.

## 2. Motor Endüktans Parametrelerinin Tespiti

Alternatif akım makinalarında çalışma büyüklüklerinin hesaplanmasındaki doğruluk derecesi endüktansların doğru olarak tespit edilmesiyle doğrudan ilişkilidir [5]. Elektrik makinalarında relüktansın değişmesi ve nüvede kullanılan malzemenin doyma etkisinden dolayı endüktans değeri rotor konumuna ve akıma bağlı olarak değişen lineer olmayan fonksiyonlardır [6]. Stator sargısının öz endüktansı rotoru sincap kafesli ve yarı kutup halkaları takılmamış motorun giriş empedansının ölçülmesi ile ölçülmüştür. Şekil 1'de deneyde kullanılan rotor ve deney düzeneği sunulmuştur.



Şekil-1 Sincap kafesli rotor ve deney düzeneği

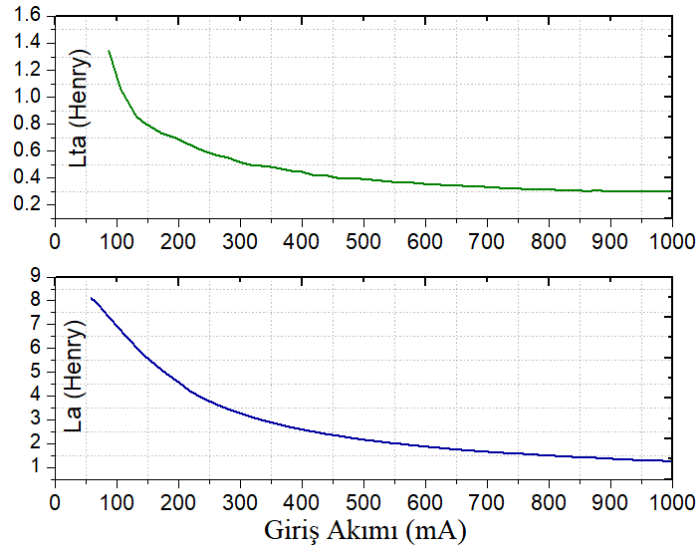
Demir kayıpları ihmal edilerek stator sargısı öz endüktansı Denklem 1'den elde edilir.

$$L_a = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V}{I_a}\right)^2 - R_a^2} \quad (1)$$

Denklemde  $f$  stator sargısına uygulanan gerilimin frekansı (Hz),  $R_a$  sargısının etkin direncidir. Stator sargısı kaçak endüktansı stator sargısının toplam akısı ile statordan rotora geçen ve rotor çevrimleri tarafından halkalanan akının farkı ile yardımıyla ölçülür. Motorun rotor oluklarına bobin adımı bir kutup adımına eşit olan  $n_2$  adet sarımlı ölçme bobini sarıldı. Stator sargısına gerilim uygulanarak rotordaki ölçme bobininde endüklenen  $E_2$  gerilimleri, stator sargı akımı  $I_a$  ve uygulanan  $V$  gerilimleri ölçülerek bulunur. Bu ölçmelerden stator sargısı toplam kaçak endüktansı Denklem 2'den elde edilir [7,8].

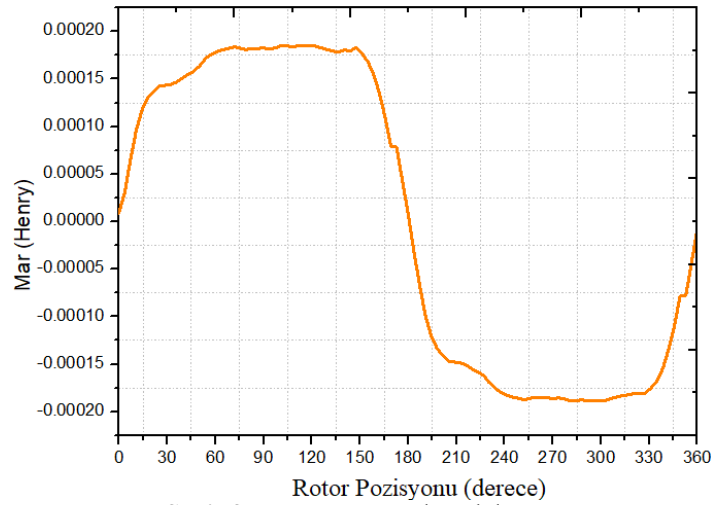
$$L_{ta} = \frac{1}{2\pi f} \left( \sqrt{\left(\frac{V}{I_a}\right)^2 - R_a^2} - \frac{4 \times E_2 \times N}{n_2 I_a} \right) \quad (2)$$

Giriş akımı değeri 0-1000 mA arasında değiştirilerek motorun stator sargısı öz endüktansı ve kaçak endüktansı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil-2 Stator sargısı kaçak ve öz endüktansı

Rotor belirli açılarla döndürülerek elde edilen stator sargısı ve bir rotor gözünün ortak endüktansı Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil-3 Stator-rotor ortak endüktansı

### 3. Teorik İnceleme

Elektrik makinalarının teorik incelemesinde akımlar Denklem 3’de verilen gerilim denklemlerinden hesaplanır.

$$[V] = [R] \cdot [I] + \left[ \frac{d\psi}{dt} \right] \quad (3)$$

GKAM için stator sargısı gerilim denklemi Denklem 4’deki gibi olacaktır.

$$V_a = R_a i_a + \frac{d\psi_a}{dt} + \frac{d\psi_{ab}}{dt} + \sum_{m=1}^{S_2} \frac{d\psi_{arm}}{dt} \quad (4)$$

Denklemde  $\psi_a = L_a i_a$  ve  $\psi_{ab} = M_{ab} i_b$  'yi ifade etmektedir. Stator sargısı ile 1. rotor gözünden (m-1) kadar ileride bulunan m. rotor gözü arasındaki ortak endüktansın ifadesi Denklem 5'de verilmiştir.

$$M_{arm} = Ge \left( \sum_{k=1}^{N_1} M_{ark} \cdot e^{j\delta k} \cdot e^{j(k\theta + k(m-1)\alpha)} \right) \quad (5)$$

Denklem 4 ve Denklem 5'ya göre stator sargısı gerilim denklemi etkin fazörleri cinsinden Denklem 6'de sunulmuştur.

$$\begin{aligned} \bar{V}_a = R_a \bar{I}_a + j\omega & \left( L_a \bar{I}_a + M_{ab} \bar{I}_b + \right. \\ & \left. \frac{S_2 M_{ar1}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta\alpha 1} + \bar{I}_{rt1} e^{-j\delta\alpha 1}) \right) \\ & + j\omega \left( \frac{S_2 M_{ar3}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta\alpha 3} + \bar{I}_{rt1} e^{-j\delta\alpha 3}) \right) \\ & + j\omega \left( \frac{S_2 M_{ar5}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta\alpha 5} + \bar{I}_{rt1} e^{-j\delta\alpha 5}) \right) \\ & + j\omega \left( \frac{S_2 M_{ar7}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta\alpha 7} + \bar{I}_{rt1} e^{-j\delta\alpha 7}) \right) \\ & + j\omega \left( \frac{S_2 M_{ar9}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta\alpha 9} + \bar{I}_{rt1} e^{-j\delta\alpha 9}) \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Yarık kutup halkası gerilim denklemi, stator sargısı gerilim denklemi ile tam bir benzerlik göstermektedir. Yarık kutup halkası akım ve geriliminin yüksek dereceden harmonikleri çok küçük olduğundan ihmal edilecektir. Bu durumda gerilim eşitliği Denklem 7'de verilmiştir.

$$\bar{V}_b = R_b \bar{I}_b + j\omega L_b I_b + j\omega M_{ab} \bar{I}_a + \frac{1}{\sqrt{2}} \text{Fazör} \left( \sum_{m=1}^{S_2} \frac{d\psi_{brm}}{dt} \right) \quad (7)$$

Yarık kutup halkası gerilim denklemi etkin fazörleri cinsinden Denklem 8'de sunulmuştur.



$$\begin{aligned}
 \bar{V}_b = R_b \bar{I}_b + j\omega & \left( L_b \bar{I}_b + M_{ab} \bar{I}_a + \right. \\
 & \left. \frac{S_2 M_{br1}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta b1} + \bar{I}_{r1} e^{-j\delta b1}) \right) \\
 & + j\omega \left( \frac{S_2 M_{br3}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta b3} + \bar{I}_{r1} e^{-j\delta b3}) \right) \\
 & + j\omega \left( \frac{S_2 M_{br5}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta b5} + \bar{I}_{r1} e^{-j\delta b5}) \right) \\
 & + j\omega \left( \frac{S_2 M_{br7}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta b7} + \bar{I}_{r1} e^{-j\delta b7}) \right) \\
 & + j\omega \left( \frac{S_2 M_{br9}}{2} (\bar{I}_{rd1} e^{j\delta b9} + \bar{I}_{r1} e^{-j\delta b9}) \right)
 \end{aligned} \tag{8}$$

#### 4. Moment Analizi

GKAM’da hava aralığı relüktansının değişken olması ile makinada oldukça güçlü akı, akım ve gerilim harmonikleri endüklenecektir. Endüklenen bu harmonikler moment denkleminde yansıyacaktır. Buna GKAM’ların simetrik olmayan sargılarının varlığı da eklenirse gerilim ve moment denklemleri karmaşık bir yapıya sahip olacaklardır [9].

Akımların zamana göre değişimleri gerilimlerle ilişkili olduğundan torku üretmez. Sadece endüktansların konuma göre kısmı türevleri torku üretir. Bu nedenle enerjinin korunumu denklemlerinden Denklem 9 elde edilir.

$$T = \frac{P_0}{2} [I]^t + \left[ \frac{\partial L}{\partial \theta} \right] [I] \tag{9}$$

Gölge kutuplu asenkron motorlarda rotor çevresi düzgün olduğundan stator sargısının öz endüktans, yarık kutup halkasının öz endüktansı ve stator sargısı ile yarık kutup halkası arasındaki ortak endüktans rotor konumundan bağımsızdır. Bu nedenle stator sargısı ile yarık kutup halkası kendi aralarında moment oluşturmazlar. Buna göre moment stator sargısı-rotor gözleri, yarık kutup halkası- rotor gözleri ve rotor gözlerinin kendi aralarında karşılıklı etkileşimlerinden meydana gelir. Stator sargısı ile 1. Rotor gözü akımının karşılıklı etkileşiminden meydana gelen moment Denklem 10 ile ifade edilir.

$$T_{ar1} = P_0 i_a i_{ar} \frac{\partial M_{ar}}{\partial \theta} \tag{10}$$

denklemden,

$$\frac{\partial M_{ar}}{\partial \theta} = Ge \left( \sum_{k=1}^{N_1} k M_{ark} e^{j(\delta ak + \pi/2)} \cdot e^{jk\theta} \right) \tag{11}$$

şeklinde. Rotorda toplamda  $S_2$  tane göz olduğu dikkate alınarak stator akımı ile rotor akımlarının meydana getirdikleri toplam moment Denklem 12 ile ifade edilir[10].

$$T_{ar} = \frac{P_0 S_2}{2} Ge \left( \sum_{i=1}^9 \sum_{k=1}^{N_1} \bar{I}_a \left( \begin{array}{l} \bar{M}_k \left( \bar{I}_{rdi} e^{j(2\omega+(k-i)\theta)} \right) \\ + \bar{I}_{rri} e^{j(2\omega+(k+i)\theta)} \right) \\ + \bar{M}_k \left( \bar{I}_{rdi}^* e^{j(k+i)\theta} + \bar{I}_{rri}^* e^{j(k-i)\theta} \right) \\ + \bar{M}_k^* \left( \bar{I}_{rdi} e^{j(2\omega-(k+i)\theta)} \right) \\ + \bar{I}_{rri} e^{j(2\omega-(k-i)\theta)} \right) \\ + \bar{M}_k^* \left( \bar{I}_{rdi}^* e^{j(i-k)\theta} + \bar{I}_{rri}^* e^{-j(k+i)\theta} \right) \end{array} \right) \right) \quad (12)$$

Bu denklemde 1., 2., 3., 5., 6. ve 8. terimleri sinüsoidal momentler meydana getireceklerinden ortalama değerleri sıfır olacaktır. Dolayısıyla toplam ortalama momente katkıları olmayacaktır. Buna göre stator akımı ile rotor akımlarının meydana getirdikleri ortalama momentin denklemi aşağıda verilmiştir.

$$T_{ar0} = \frac{P_0 S_2}{2} Ge \left( \sum_{k=1}^9 \bar{I}_a \left( \bar{M}_k^* \bar{I}_{rdk}^* + \bar{M}_k \bar{I}_{rpk} \right) \right) \quad (13)$$

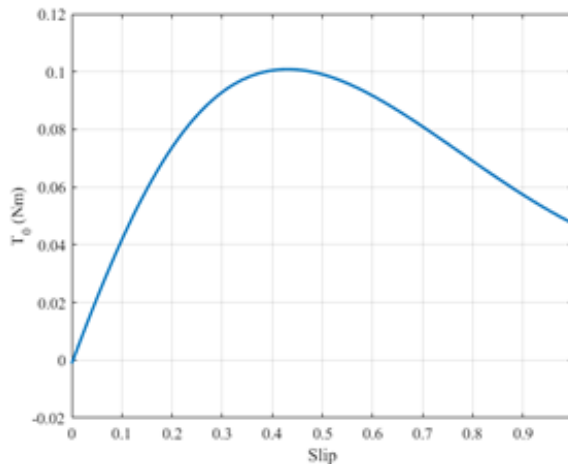
Denklemde ifade edilen  $k = 1, 3, 5, 7$  ve  $9$ 'dur. Yarık kutup halkası ile rotor gözleri arasındaki ilişki, stator sargısı ile rotor gözleri arasındaki ilişki tam bir benzerlik içinde olacaktır.

$$T_{br0} = \frac{P_0 S_2}{2} Ge \left( \sum_{k=1}^9 \bar{I}_b \left( \bar{M}_{kb}^* \bar{I}_{rdk}^* + \bar{M}_{kb} \bar{I}_{rpk} \right) \right) \quad (14)$$

GKAM'larda stator çevresinin değişken bir yapıya sahip olmasından dolayı rotor gözlerinin öz endüktansları ve gözler arasındaki ortak endüktans rotor konumu ile değişmektedir. Bu durum makinada bir relüktans momenti endüklenmektedir. Rotor gözlerinin kendi aralarında oluşturacakları toplam moment[11,12];

$$T_{rr} = \frac{P_0 S_2}{2} \left( i_{r1} i_{rm} \frac{\partial L_r}{\partial \theta} + \sum_{m=2}^{S_2} i_{r1} i_{rm} \frac{\partial M_{r1m}}{\partial \theta} \right) \quad (15)$$

Denklem 15'in ilk terimi gözlerin öz endüktanslarının rotor konumu ile değişiminden kaynaklanmaktadır. Deneyle elde edilen endüktans ve direnç parametreleri kullanılarak oluşturulan MATLAB (Lisans no: 40692431) programında GKAM'a ait tork kaymanın bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Şekil 4'de motor torkunun kaymaya göre değişimi verilmiştir.



Şekil-4 Torkun kaymaya göre değişimi

## **5. Sonuçlar**

GKAM'ların modellenmesinde ve motor performans analizlerinin gerçekleştirilmesinde genel kabul görmüş bir metot bulunmamaktadır. Bu makinalar üzerine yapılan araştırmalarda, araştırmacılar hava aralığı çevresini düzgün ve malzemelerin doyumunu ve güçlü harmonikleri dikkate almama gibi varsayımlarla incelemelerde bulunmuşlardır. Bu çalışmada yapılan varsayımların azaltılmasına, endüktans hesabının ve teorik analizin temel denklemler ve fiziksel yapı üzerine oturtulmasına çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle motorun endüktansları rotor konumuna bağlı olarak elde edilmiştir. Makinanın sürekli hal analizleri için stator sargısı gerilim denklemi ve yarık kutup halkası gerilim denklemleri elde edilmiştir. Stator sargısı ile rotor gözlerinin, yarık kutup halkası ile rotor gözlerinin ve rotor gözlerinin kendi aralarında meydana getirdiği momentler belirlenmiştir. Hazırlanan program yardımıyla motor torkunun kaymaya göre değişimi elde edilmiştir. Bu alışma ile gölge kutuplu makinaların teorik analizinde sorun olan endüktansların doğru bir şekilde tespiti konusunda büyük bir aşama kaydedilmiştir. Her bir tork bileşeni açıkça ifade edilerek sinüsoidal moment oluşturan tork bileşenleri terk edilmiştir.

## **Referanslar**

- [1] Dalcalı, A., Akbaba, M., "Comparison of the performance of bridge and bridgeless shaded pole induction motors using FEM", *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 54(3), 341-350, 2017.
- [2] Ojaghi, M., Daliri, S., "Analytic Model for Performance Study and Computer-Aided Design of Single-Phase Shaded-Pole Induction Motors", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 32(2), 649-657, 2017.
- [3] Zhou, D., Rajanathan, C. B., Sapeluk, A. T., "Finite-Element-Aided Design Optimization of a Shaded-Pole Induction Motor for Maximum Starting Torque", *IEEE Transactions On Magnetism*, 36 (5): 3551–3554, 2000.
- [4] Sarac, V., Cvetkovski, G., "Different motor models based on parameter variation using method of genetic algorithms", *Przeglad Elektrotechniczny*, 3, 162–165, 2011.
- [5] Dalcalı, A., etin, O., Ocak, C., Temurtař, F., "Bir Elektromanyetik Fırlatıcı Bobininde Mermiye Etkiyen Kuvvetin ok Katmanlı Sinir Açı ile Kestirimi", 1(3), 1-10, 2018.
- [6] Akcayol, M. A., "Anahtarlamalı relüktans motorun endüktans değişiminin sinirsel-bulanık modellenmesi", *Politeknik Dergisi*, 5(4), 287–292, 2002.
- [7] Dalcalı, A., Akbaba, M., "Analysis of Space Harmonics in Shaded Pole Induction Motor by Discrete Hartley Transform", *Proceedings of Researchfora International Conference*, Tallinn, Estonia, 2017.
- [8] Akbaba, M., "Modeling of the Saturated Leakage Reactance of Induction Motors as a Time Varying Parameter for Transient Computations", *Electric Machines and Power Systems*, 20(5), 539-548, 1992.

- [9] Temurtas, H., Temurtas, F., “An application of neural networks for harmonic coefficients and relative phase shifts detection”, *Expert Systems with Applications*, 38, 3446-3450, 2011.
- [10] Akbaba, M., Fakhro, S. Q., "Field Distribution and Iron Loss Computation in Reluctance Augmented Shaded-Pole Motors Using Finite Element Method", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 7(2), 302–307, 1992.
- [11] Akbaba, M., Fakhro, S. Q., "An Improved Computational Technique of the Inductance Parameters of the Reluctance Augmented Shaded-pole Motors Using Finite Element Method", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 7(2), 308–314, 1992.
- [12] Dalcalı, A., “Gölge kutuplu asenkron motorların yeni bir matematiksel modeli ve uzay harmonikli eşdeğer devresi”, *Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük*, 2017.