



**FBED**

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

[fbe.dergi.comu.edu.tr](http://fbe.dergi.comu.edu.tr)  
[dergipark.gov.tr/comufbed](http://dergipark.gov.tr/comufbed)

T.C.  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

# *FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ*

CANAKKALE ONSEKİZ MART UNIVERSITY  
JOURNAL of GRADUATE SCHOOL of NATURAL and APPLIED SCIENCES



ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

**FBE**  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FBED  
İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Makale Adı / Yazar	Sayfa No
<b>Jeotermal Akışkanın Hidrokimyasal Karakterizasyonunun Belirlenmesi: Simav (Kütahya) Örneği</b> Hydrochemical Characterization of Geothermal Fluid: A case study from Simav (Kütahya) Mine Çardak <sup>1*</sup> , Deniz Şanlıyüksel Yücel <sup>2</sup> , Mustafa Ay <sup>3</sup> , Tuğba Söküt Acar <sup>4</sup> , Özlem Erol Tınaztepe <sup>5</sup> Araştırma / Research	1-15
<b>Damla ve Toprak Altı Damla Sulamanın Mısır Verimi Üzerine Etkisi</b> Effect of Drip and Subsurface Drip Irrigation on Maize Yield Aslı Demirok <sup>1</sup> , Gökhan İsmail Tuylu <sup>2*</sup> Araştırma / Research	16-31
<b>Sıfır Değerlikli Mangan ve Ultrases ile Nitratın Kimyasal Denitrifikasyonu</b> Nitrate Chemical Denitrification with Zero-Valent Manganese and Ultrasound Burcu İleri <sup>1*</sup> , Özge Terzioğlu <sup>1</sup> , Yasemin Çiçi <sup>1</sup> Araştırma / Research	32-48
<b>Application of Landsat 8 Satellite Image – NDVI Time Series for Crop Phenology Mapping: Case Study Balkh and Jawzjan Regions of Afghanistan</b> Landsat 8 Uydu Görüntü Uygulaması – Ürün Fenolojisinin Haritalanması İçin NDVI Zaman Serisi: Afganistan'ın Balkh ve Jawzjan Bölgeleri Örneği Abdul Walid Salik <sup>1*</sup> , Ersin Karacabey <sup>2</sup> Araştırma / Research	49-62
<b>Kentsel Kimlik Bileşenlerinin Kent Kullanıcıları Tarafından Belirlenmesi: Örnek Kent Çanakkale</b> Determination of Urban Identity Components by City Dwellers: Çanakkale City Case Study Elif Sağlık <sup>1*</sup> , Abdullah Kelkit <sup>2</sup> Araştırma / Research	63-79
<b>Bazı Nar Çeşitlerinde Farklı Çiçek Tiplerinin Çiçek Tozu Çimlenme Gücünün Belirlenmesi</b> Determination of Germination Capability of Pollen in Different Flower Types in Some Pomegranate Varieties Meryem Gülce Aytan <sup>1*</sup> , Hakan Engin <sup>2</sup> Araştırma / Research	80-86
<b>Mısır Ununda Karotenoid Analizi İçin Farklı Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması</b> Comparison of Different Extraction Methods for Carotenoid Analysis in Maize Flour Oğuz Ordu <sup>1</sup> , Cem Ömer Egesel <sup>2*</sup> Araştırma / Research	87-98

<b>Çivi İmalatı Yapan Bir İşletmede Gürültü Analizi</b> Noise Analysis at a Nail-Manufacturing Company Ergun Ateş*, Ebru Arabacıoğlu Araştırma / Research	99-111
<b>Spool İmalat Süreci Optimizasyonu</b> Optimization of Spool Fabrication Process Bige Küçükefe* Araştırma / Research	112-119
<b>Rüzgar Enerjisinin Önemli Geçiş Yerlerinden Olan Çanakkale Bölgesindeki Bazı Rüzgar Enerji Santralleri için Kapasite Faktörü İncelemesi</b> Capacity Factor Analysis for Some Wind Power Plants in the Çanakkale Region, One of the Important Transition Areas of Wind Energy Halil Gençel <sup>1,2*</sup> , İsmail Tarhan <sup>2,3</sup> Araştırma / Research	120-139
<b>Sürekli Değişken Modele Dayalı Gözetimli Kuantum Makine Öğrenmesi ile Kişilerin Satın Alma Davranışlarının Tespitinin Simülasyonu</b> Simulation of Detection of Purchasing Behaviors of People Using Supervised Quantum Machine Learning Based on Continuous-Variable Model Ömer Eryılmaz <sup>1*</sup> , İhsan Yılmaz <sup>2</sup> Araştırma / Research	140-156
<b>Afganistan'ın Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teorik Potansiyelleri ve Kullanım Kapasiteleri</b> Theoretical Potentials and Utilization Capacities of Afghanistan's Renewable Energy Resource Abdul Maroof Shirzad <sup>1*</sup> İsmail Tarhan <sup>1,2,3</sup> Derleme/Review	157-186

## Jeotermal Akışkanın Hidrokimyasal Karakterizasyonunun Belirlenmesi: Simav (Kütahya) Örneği

Mine Çardak<sup>1\*</sup>, Deniz Şanlıyüksel Yücel<sup>2</sup>, Mustafa Ay<sup>3</sup>,  
Tuğba Söküt Acar<sup>4</sup>, Özlem Erol Tınaztepe<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu Balıkçılık Teknolojisi Bölümü

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

<sup>3</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü

<sup>4</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü,

<sup>5</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Programı

01.04.2019 Geliş/Received, 24.05.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Yüksek sıcaklık ve basınç altında jeotermal akışkan ile uzun süre etkileşim içerisinde olan kayadaki birçok metal(loid) çözünerek suya geçmektedir. Jeotermal akışkanın içerdiği yüksek metal ve iz element konsantrasyonu nedeni ile çevresindeki su kaynakları üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Kütahya ili Simav ilçesinde Eynal, Naşa ve Çitgöl jeotermal alanları yer almaktadır. Jeotermal akışkan termal turizm, konut ve sera ısıtması amaçlı olarak kullanılmakta, atık suyu Simav çayına deşarj edilmektedir. Bölgede reenjeksiyon kuyusu bulunmamaktadır. Bu çalışmada Simav ilçesindeki jeotermal akışkanın hidrokimyasal karakterizasyonunun belirlenmesi ve olası çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç ile Eynal, Naşa ve Çitgöl jeotermal alanlarından 2014 ve 2015 yıllarında yağışlı ve kurak dönem olmak üzere 2 kez ve toplam 22 jeotermal sondajdan su örnekleme yapılmıştır. Elde edilen hidrokimyasal analiz sonuçları ulusal standartlarla karşılaştırılarak, istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Jeotermal akışkanın sıcaklığı 60.05-88.8 °C, elektriksel iletkenlik değeri 1596-2271 µS/cm arasında ölçülmüştür. Jeotermal akışkanın katyon dizilimi Na<sup>+</sup>> K<sup>+</sup>> Ca<sup>2+</sup>> Mg<sup>2+</sup>, anyon dizilimi ise SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>> HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>> Cl<sup>-</sup> şeklinde olup, akışkanın su tipi Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>'tür. As (684 µg/l), B (4203 µg/l), Fe (612 µg/l) ve Mn (531 µg/l) konsantrasyonu limit değerlerin üzerindedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre jeotermal akışkan Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, As ve B konsantrasyonuna göre çok kirlenmiş sular sınıfında yer almaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** çevresel etki, jeotermal akışkan, hidrokimya, Simav

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Mine Çardak

(e-posta: mine\_bio98@hotmail.com)

ÇOMÜ BAP Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: FBA-2014-226



## **Hydrochemical Characterization of Geothermal Fluid: A case study from Simav (Kütahya)**

### **Abstract**

Many metal(loid)s in rocks are dissolved during long-term interactions with geothermal fluids at high temperature and pressure. Due to the high metal and trace element concentration contained in geothermal fluids, they have negative effects on surrounding water resources. The Eynal, Naşa and Çitgöl geothermal fields are located in Simav county in Kütahya province. The geothermal fluids are used for thermal tourism, residential and greenhouse heating, with wastewater discharged into the Simav river. There is no reinjection well in the region. This study aimed to determine the hydrochemical characterization and to assess the probable environmental effects of the geothermal fluid in Simav county. With this aim, water samples were taken from the Eynal, Naşa and Çitgöl geothermal fields twice during rainy and dry periods in 2014 and 2015 and from a total of 22 geothermal well. The hydrochemical analysis results were compared with national standards and statistically assessed. The geothermal fluids had temperature of 60.05-88.8 °C with electrical conductivity values measured as 1596-2271 µS/cm. The cation sequence in the geothermal fluid was  $Na^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ , with anion sequence of  $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$  and the water type of the fluid was Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>. Arsenic (684 µg/l), B (4203 µg/l), Fe (612 µg/l), and Mn (531 µg/l) concentrations were above limit values. According to the Turkish Water Pollution Control Regulations, the geothermal fluids are classified as heavily polluted water according to Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, As and B concentrations.

**Keywords:** environmental effect, geothermal fluid, hydrochemistry, Simav

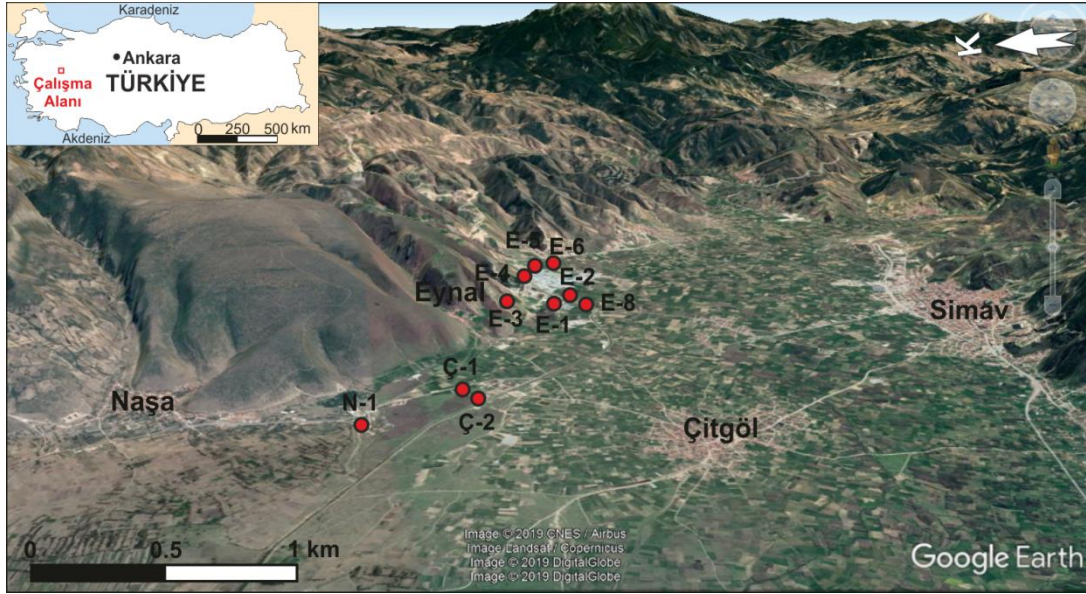
### **1. Giriş**

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buharın yeryüzüne taşıdığı ısı enerjisi olarak tanımlanır (Akkuş, 2002). Genç tektonizma ve volkanizmanın yoğun olduğu, Alp-Himalaya orojenik kuşağı içerisinde yer alan Türkiye, jeotermal kaynak zenginliği açısından dünyada yedinci sırada bulunmakta olup, Avrupa'da ise birinci sırada yer almaktadır (Şanlıyüksel ve Baba, 2011). Türkiye'deki ilk jeotermal çalışmalar 1960'lı yıllarda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır. Türkiye'de sıcaklığı 20-287°C arasında değişen yaklaşık 2000 sıcak ve mineralli su kaynağı ve ekonomik ölçekte kullanılabilen 227 jeotermal alan belirlenmiştir (Şimşek, 2015). Türkiye'nin teorik jeotermal enerji potansiyeli 31.500 ile 60.000 MWt arasında tahmin edilmekte olup fiili kullanılabilir teknik kapasitesi ise 4809 MWt olarak hesaplanmaktadır (Zaim ve Çavşi, 2018).

Metaller sucül ekosistemlere doğal kaynakların yanı sıra artan antropojenik etki (kentsel ve endüstriyel etkiler, madencilik faaliyetlerinin etkileri, jeotermal kaynaklı etkiler vb.) ile ulaşmaktadır. Ağır metaller ve arsenik doğrudan kansere neden olan kimyasallar olarak tüm Dünya'da dikkatle takip edilmektedir. Bangladeş, Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri, Arjantin, Şili, Tayvan ve Çin gibi pek çok ülkede su kaynaklarındaki yüksek metal konsantrasyonlarına bağlı olarak sağlık problemleri saptanmıştır (Baba ve Sozbilir, 2012). Yüksek sıcaklık ve basınç altında su-kayaç etkileşimi çok sayıda mineral, metal ve iz

elementlerin doğal çözünmesinden sorumludur. Jeotermal akışkanın içerdiği yüksek konsantrasyondaki metal ve iz elementlerin yüzey ve yeraltı sularına karışımı ile önemli çevresel kirliliğe neden olmaktadır (Baba ve Armannsson, 2006). Ayrıca yapılan deşarj sonrasında alıcı ortam sıcaklığında oluşan ani değişimler sucul yaşam üzerinde tahribat yaratmaktadır (Gündüz ve ark., 2012). Davraz ve ark. (2017) Büyük Menderes Havzası'nda yer alan Hüdai jeotermal alanındaki jeotermal akışkanın yüzey sularına karıştığını ve yüzey sularında As, Al, B, Fe, Cr, Li, Pb, Mn ve Zn konsantrasyonunun artışına sebep olduğunu saptamıştır. Özen Balaban ve ark. (2017) Salihli jeotermal akışkanının As, B, Br, Fe ve Ni element içeriğinin içme ve sulama suyu standartlarından daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Jeotermal akışkanın kimyasal içeriği rezervuar kayaçlarına bağlı olarak bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Türkiye'de potansiyel oluşturan jeotermal alanların % 78'i Batı Anadolu'da yer almaktadır. Batı Anadolu'daki jeotermal kaynaklar genellikle Batı Anadolu plakasının jeolojik özelliği olan arsenik, bor, antimon, demir ve mangan ile ilişkilendirilmektedir (Gündüz ve ark., 2012; Baysal ve Gündüz, 2016).

Batı Anadolu'daki en önemli jeotermal alanlardan olan Eynal, Naşa ve Çitgöl, Kütahya ili Simav ilçesi sınırlarında yer almaktadır (Şekil 1.1). Simav ilçesi 1515 km<sup>2</sup> yüz ölçüme sahip olup, bağlı olduğu Kütahya il merkezine 142 km uzaklıktadır. İlçenin toplam nüfusu 64015 kişidir (TUİK, 2018). Simav ilçesi ve çevresi, Ege Bölgesi iklim tipi ile İç Anadolu iklim tipi arasında geçiş bölgesi özelliklerini gösteren Orta Ege iklim bölgesinde yer almaktadır (Şimşek ve Gündüz, 2007). Kütahya meteoroloji istasyonu 1929-2017 yılları arasındaki ölçüm verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık değeri 10.7 °C'dir. En düşük sıcaklık 29.12.1948 tarihinde -28.5 °C, en yüksek sıcaklık 29.07.2000 tarihinde 39.5 °C ölçülmüştür. Sıcaklık ortalamasının en düşük olduğu ay 0.3 °C ile Ocak ayı, en yüksek olduğu ay 20.8 °C ile Temmuz ayıdır. Ortalama aylık toplam yağış miktarı 558 mm, yağışın en düşük olduğu ay 15.8 mm ile Ağustos ayıdır. En yüksek kar yağışı 26.01.2006 tarihinde 60 cm ölçülmüştür. Simav ilçesinde yer alan basınçlı akifer niteliğinde olan ve jeotermal sahaların oluşmasına neden olan derin akifer sistemi olup, bölgede jeotermal akışkanın üretilmesi amacıyla derinliği 1000 m'ye ulaşan sondajlar açılmıştır (Gündüz ve ark., 2012). Sondajlardan elde edilen verilere göre bölgedeki jeotermal akışkanın sıcaklığı 42 ile 162 °C, debisi ise 0.2 ile 80 l/sn arasında değişmektedir. Eynal, Naşa ve Çitgöl jeotermal alanlarındaki akışkan termal turizm, konut ve sera ısıtması amaçlı olarak kullanılmakta, atık suyu kontrolsüz olarak çevredeki derelere deşarj edilmektedir. Bölgede reenjeksiyon kuyusu bulunmamaktadır. Bu çalışmada jeotermal akışkanın hidrokimyasal özelliklerinin belirlenerek olası çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının ve jeotermal sondajların 2018 yılı uydu görüntüsündeki konumu

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Arazi Çalışmaları

Simav ilçesindeki arazi çalışmaları kurak ve yağışlı dönemlerde (Eylül 2014 ve Mart 2015) gerçekleştirilmiştir. Eynal jeotermal alanındaki sondajlardan sekiz (E-1'den E-8'e kadar), Çitgöl jeotermal alanındaki sondajlardan iki (Ç-1 ve Ç-2), Naşa jeotermal alanındaki sondajlardan ise bir (N-1) örnekleme yapılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında jeotermal sondajların koordinatları ve yükseklik değerleri Garmin Nuvi 200 marka el tipi GPS ile belirlenmiştir. Jeotermal akışkanın sıcaklık (T, °C), pH, elektriksel iletkenlik (EC,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), değerleri arazide WTW Multi 340i pH/iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Kullanılan proplar her ölçüm öncesi ve ölçüm sonrasında saf su ile yıkanarak temizlenmiş, her arazi çalışmasından önce buffer solüsyonları ile günlük kalibrasyonları yapıldıktan sonra kullanılmıştır. Örnekleme için ilk kez kullanılacak olan sert plastik su kapları kullanılmıştır. Suların örnekleme sırasında, örnek kapları doldurulmadan önce örnekleme yapılacak sularla üç kez çalkalanmıştır. İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) analizi için alınan su örnekleri, 0.45  $\mu\text{m}$  gözenekli filtrelerle (Millipore), 50 ml'lik kaplara filtrelenmiştir. Elementlerin dibe çökmelerini ve yüzeye tutunmalarını önlemek amacıyla, su örneklerinin pH'ını 2-3 aralığına indirmek için 0.2 ml yüksek saflıktaki nitrik asit (Merck) ilave edilmiştir. Filtreleme işlemi, iyon kromatografisi (IC) analizleri için alınan örneklerde de tekrarlanmıştır ancak, nitrik asit ilavesi yapılmamıştır. Tüm örnekler su kabında hava kalmayacak şekilde doldurularak arazi tipi buzdolabında saklanıp (+4 °C), laboratuvara ulaştırılmıştır.

### 2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Jeotermal akışkanın sodyum ( $\text{Na}^+$ ), potasyum ( $\text{K}^+$ ), kalsiyum ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnezyum ( $\text{Mg}^{2+}$ ), alüminyum (Al), arsenik (As), bakır (Cu), baryum (Ba), bor (B), çinko (Zn), demir (Fe), kobalt (Co), krom (Cr), kurşun (Pb), lityum (Li), mangan (Mn), silisyum (Si) analizleri ICP-MS (Nexion 2000, Perkin Elmer, Kağıthane, İstanbul) cihazı ile ACME Laboratuvarında Kanada'da yaptırılmıştır. Analizi yapılan elementlerin dedeksiyon limitleri  $\mu\text{g}/\text{l}$  olarak; Na (50), K (50), Ca (50), Mg (50), Al (1), As (0.5), B (5), Ba (0.05), Co (0.02), Cr (0.5), Cu (0.1),

Fe (10), Li (0.1), Mn (0.05) Ni (0.2), Pb (0.1), Si (40), Zn (0.5) şeklindedir. Klorür ( $Cl^-$ ) ve sülfat ( $SO_4^{2-}$ ) analizleri IC (LC-20A SP, Shimadzu, Japan) cihazı ile Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi yaptırılmıştır. Bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) tayini Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme laboratuvarında titrasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

### 2.3. İstatistiksel Analizler

Araştırma için gerekli olan hidrokimyasal veriler elde edildikten sonra bilgisayar ortamına SPSS (SPSS 19.0, IBM, Armonk, NY, ABD) paket programı ile aktarılmıştır. Her bir değişkene ait betimsel istatistikler elde edilmiştir (ortalama  $\pm$  standart sapma). Parametrik testlerin uygulanabilmesi için gerekli olan koşullardan biri değişkenlerin normal ya da normale yakın bir dağılım göstermesidir. Bu doğrultuda verilerin normal dağılan bir kitleden gelip gelmediğini sınamak için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Test sonucunda dokuz değişkenin (sıcaklık, pH,  $Ca^{2+}$ , Ba, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb) normal dağılıma uygunluk göstermediği saptanmıştır. Örneklem genişliği ( $n=11$ ) yeterince büyük olmadığından ve değişkenlerin yaklaşık % 40'ı normal dağılım sergilemediğinden istatistiksel testlerde parametrik olmayan yöntemler kullanılmıştır. İki değişken arasındaki ilişki belirlenirken parametrik olmayan korelasyon katsayısı olan Sperman's rho katsayısı kullanılmıştır. Araştırmada önem düzeyleri 0.01 ve 0.05 olarak alınmıştır.

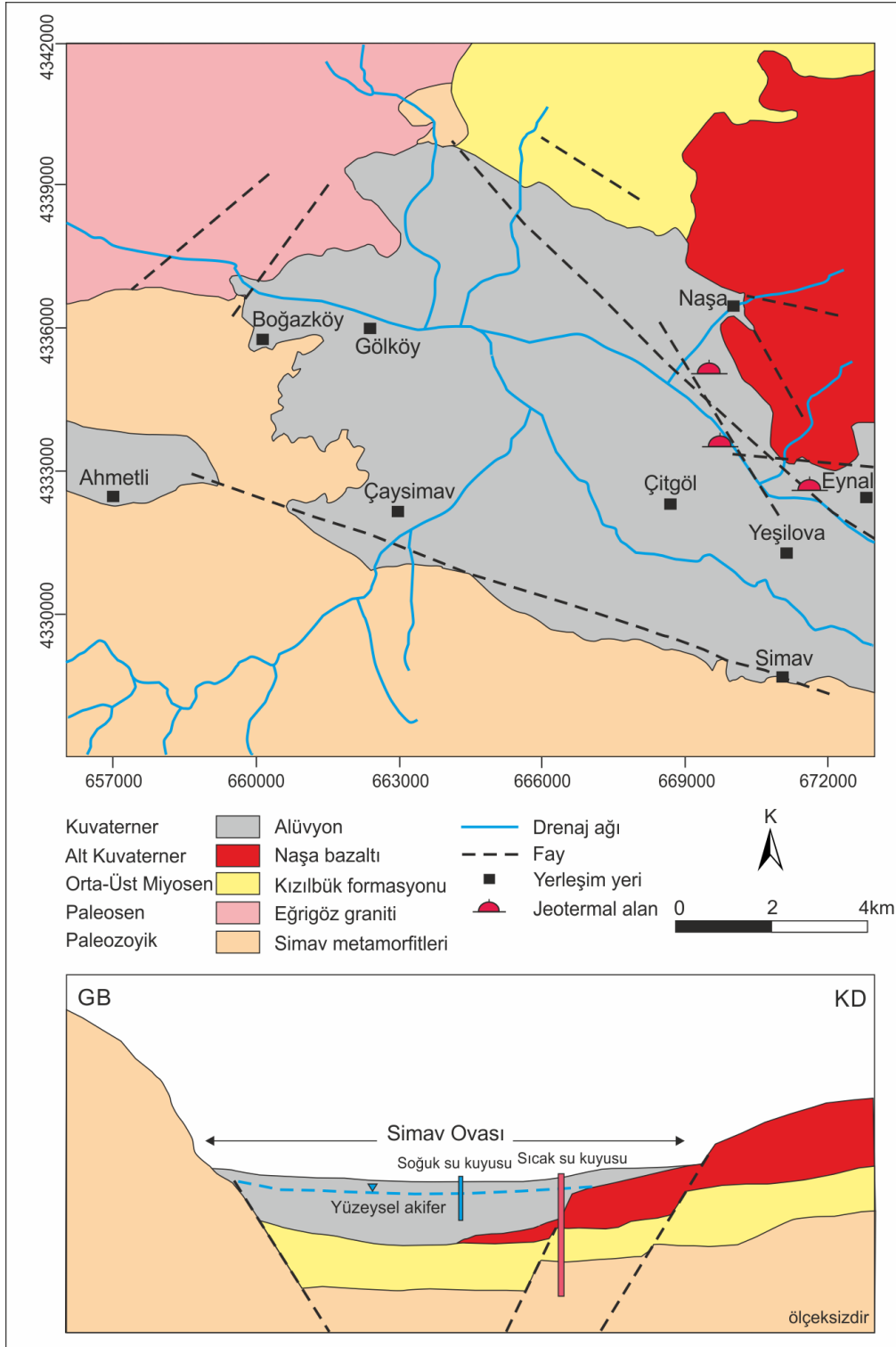
### 3. Bulgular ve Tartışma

Simav GD-KB yönlü bir graben ovası olup, sahada beş ana jeolojik birim gözlenmektedir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru Paleozoyik yaşlı Simav metamorfileri, Paleosen yaşlı Eğrigöz graniti, Orta-Üst Miyosen yaşlı Kızılbük formasyonu, Alt Kuvaterner yaşlı Naşa bazaltı ve Kuvaterner yaşlı alüvyondur (Gündüz ve ark., 2010; 2012) (Şekil 3.1). Çalışma alanı ve yakın çevresinde deprensellik açısından oldukça yoğun bir aktivite söz konusudur. Bölgede aletsel dönemde meydana gelmiş en büyük deprem 28 Mart 1970 tarihinde meydana gelmiş olan  $M=7.2$  büyüklüğündeki Gediz depremidir (Ateş ve Tutkun, 2014). Çalışma sahasındaki Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal alanlar fay hatları boyunca dizilmiş olup, tektonizmaya bağlı olarak gelişen bu jeotermal kaynakların rezervuar kayacı, bölgede yüksek veren Simav metamorfileri içerisinde yer alan mermerler ve alanda yaygın olarak gözlenen Neojen yaşlı kumtaşı, kiltası, marn ve volkanik kayalardan oluşan birimlerdir. Bölgedeki temel birimleri kesen Eğrigöz graniti ile Naşa bazaltı sıcak su kaynaklarının ısıtıcı kayacını oluşturmaktadır. Alüvyon ise örtü kaya özelliğindedir (Gündüz ve ark., 2012). Eynal sahasında 1990 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından jeotermal akışkanın elde edildiği akifere fay hatları boyunca açılan ve derinliği 958 m olan sondajda 162 °C kuyu dibi sıcaklığı ve 72 l/s debi saptanmıştır (MTA, 2001; Gemici ve Tarcan, 2002). Simav ilçesinde 167 °C rezervuar sıcaklığı ile 8830 konut ısıtılmakta ve Simav Eynal'da 265.000 m<sup>2</sup>'lik alanda sera ısıtılması yapılmaktadır (Mertoğlu ve ark., 2015; Akkuş ve Alan, 2016).

Çalışma alanındaki jeotermal akışkanının sıcaklık değerleri 60.05-88.8 °C arasında değişmektedir (Çizelge 3.1). En yüksek sıcaklık Eynal jeotermal alanındaki E-8 no'lu sondajda ölçülmüştür. Sudaki çözünmüş toplam iyon miktarı ile EC değerleri arasında genellikle doğrusal bir ilişki vardır (Şahinci, 1991; Şanlıyüksel Yücel ve Yücel, 2017). Jeotermal akışkanın EC değeri 1596-2271  $\mu S/cm$  arasındadır. Bu değer TS 266 (2005) tarafından tavsiye edilen maksimum değer olan 400  $\mu S/cm$ 'in oldukça üzerindedir. Jeotermal akışkanın pH'ı bazik karakterde olup, 7.29-8.4 arasında ölçülmüştür. Temel anyon ve katyonlar incelendiğinde jeotermal akışkanın  $Na^+$ ,  $Li^+$ ,  $SO_4^{2-}$  ve  $HCO_3^-$  açısından zengin olduğu görülmüştür. Jeotermal akışkanın katyon dizilimi  $Na^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ , anyon dizilimi ise  $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$  şeklinde olup,



Uluslararası Hidrojeologlar Birliği su sınıflamasına göre tüm jeotermal akışkanların su tipi Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>'tür (Şekil 3.2). Simav'daki jeotermal sondajlarda Na<sup>+</sup> konsantrasyonu 278.15-506.5 mg/l arasında olup, ortalama değer 378.4 mg/l'dir. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyonu için minimum, maksimum ve ortalama değerler sırası ile 341.26, 575.2 ve 475.21 mg/l 'dir. En düşük Na ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> konsantrasyonu Naşa, en yüksek değer Eynal jeotermal alanında ölçülmüştür. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre jeotermal akışkan Na<sup>+</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> için çok kirlenmiş sular (sınıf IV) sınıfında yer almaktadır. Sodyum potasyum oranı, sıcaklığa bağlı mineral sıvı dengeleri tarafından kontrol edilir. Örnekleme yapılan jeotermal akışkanın Na/K oranı 5.82 ile 8.68 arasındadır. Düşük Na/K oranı (< 15), daha az soğuk su ile karışarak, yüzeye hızla ulaşan yüksek sıcaklıklı jeotermal sularda ortaya çıkma eğilimindedir (Nicholson, 1993; Gemici ve Tarcan, 2002). Jeotermal sahalarda kayaçların doğası ve suyun kökenini belirlemek için, yaygın olarak en az tepkimeye girme eğilimine sahip iyon olan Cl<sup>-</sup> kullanılır (Palabıyık, 2006). Bir kez çözüldükten sonra başka minerallerin bünyesine kolay girmemesi nedeniyle doğrudan jeotermal akışkanı karakterize eder (Nicholson, 1993). Yüksek Cl<sup>-</sup> derişimi doğrudan, derinden ve yüksek debili bir beslenmeyi, düşük Cl<sup>-</sup> derişimi ise yüzey sularının giriş doğrultularını belirtir (Eroğlu ve Aksoy, 2003). Jeotermal akışkanın Cl<sup>-</sup> konsantrasyonu 45.84-105.6 mg/l arasında ölçülmüş olup, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre jeotermal akışkan az kirlenmiş sular (sınıf II) sınıfında yer almaktadır. Tritiyum izotopu içeriğinde göre Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal akışkanları sırasıyla 0.36±0.27 TU, 0.64±0.28 TU ve 1.44±0.28 TU değerlerine sahiptir (Bayram ve Şimşek, 2005). Naşa'daki jeotermal akışkan diğer jeotermal sahalara nazaran daha yüksek trityum ve daha düşük EC ve Cl<sup>-</sup> içeriğine sahip olduğundan diğer jeotermal akışkanlara göre daha genç sular olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve jeolojik kesiti (Gündüz ve ark., 2010)

Çizelge 3.1. Simav ovasındaki jeotermal akışkanın hidrokimyasal karakterizasyonu ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne (2008) göre su kalite sınıfları

Parametre	Birim	Eynal jeotermal alanı								Çitgöl jeotermal alanı		Naşa jeotermal alanı	Su Kalite Sınıfları			
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	Ç-1	Ç-2	N-1	I	II	III	IV
T	°C	86.2	83.7	85.7	85.6	85.4	87.6	87.8	88.8	73.55	67.4	60.05	25	25	30	> 30
pH	-	7.38	7.31	7.42	7.32	7.68	7.7	7.29	7.52	8.4	7.71	7.57	6.5-8.5	6.5-8.5	6-9	<6 veya >9
EC	µS/cm	2271	2227	1666	2167	2214	2006	2056	1954	1681	1804	1596	-	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/l	506.5	321.23	431.78	281.09	447.68	310.35	401.11	453.75	425.18	305.65	278.15	125	125	250	> 250
K <sup>+</sup>		64.97	47.83	57.33	48.26	58.93	49.23	50.14	63.25	48.96	45.21	33.92	-	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>		32.37	41.12	45.5	36.92	28.9	37.85	35.76	29.13	37.09	42.6	63.78	-	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>		1.92	4.07	8.65	2.72	7.53	2.08	7.75	1.16	1.14	2.98	10.29	-	-	-	-
Cl <sup>-</sup>		74.98	82.83	90.05	85.69	80.2	105.6	94.36	85.73	62.55	58.91	45.84	25	200	400	> 400
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		550.23	326.2	484.63	255.61	496.7	261.89	407.15	420.3	499.61	332.85	428.11	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		575.2	468.17	507.46	489.11	528.75	430.36	472.62	551.48	467.7	395.22	341.26	200	200	400	> 400
Al		µg/l	157	186	114	125	208	192	133	146	4	16	9	300	300	1000
As	378.3		400.1	392	684.1	678.4	594.1	325.4	327.3	432.9	317.8	204.1	20	50	100	> 100
B	3476		3798	3531	3891	3706	3047	4067	4203	3116	2573	2448	1000	1000	1000	> 1000
Ba	66.78		69.18	73.03	78.29	75.22	38.79	53.05	60.64	60.64	78.45	135.62	1000	2000	2000	> 2000
Cr	2		2.9	1.1	0.8	0.5	1.2	2.9	3.3	3	1.8	1.5	20	50	200	> 200
Cu	1.7		1.4	3.1	3	2.3	5.3	2.8	1.9	1.5	1.8	2.7	20	50	200	> 200
Fe	134		36	28	30	54	19	31	17	77	612	44	300	1000	5000	> 5000
Li	1575		1557	922.2	1068.4	923.2	1233	1760	1566.1	1286	1071.1	419	-	-	-	-
Mn	50.86		45.63	301.57	96.75	409.46	27.71	15.25	23.99	24.75	165.66	531.55	100	500	3000	> 3000
Ni	1.6		1.4	1	0.8	0.3	0.6	0.8	0.5	0.3	4.2	3.6	20	50	200	> 200
Pb	0.4		1.4	0.3	1	0.7	5.7	0.9	0.2	1	0.9	3.3	10	20	50	> 50
Si	93437		11535	71938	65168	70966	104406	130967	114702	42676	95855	80295	-	-	-	-
Zn	15.8		19.4	29.4	24	4.5	12.6	5.5	3.1	4.2	24.6	11.5	200	500	2000	> 2000

Kurak ve yağışlı örnekleme döneminde elde edilen sonuçların ortalama değerleri alınarak çizelge oluşturulmuştur.

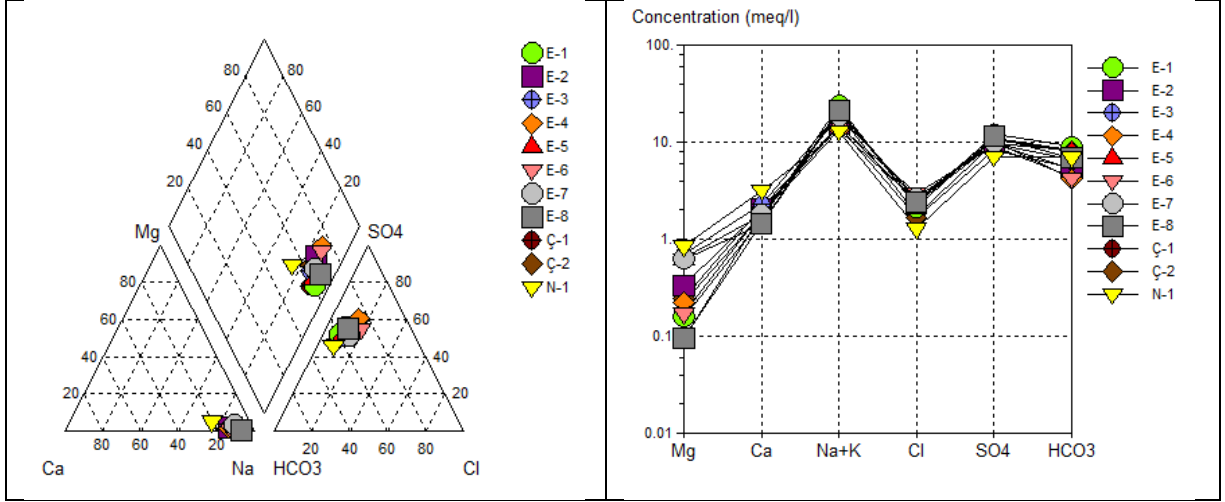
Çizelge 3.2. Jeotermal akışkanın hidrokimyasal parametrelerinin korelasyonu

	T	pH	EC	Na <sup>+</sup>	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al	As	B	Ba	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Si	Zn	
T	r	,000																						
pH	r	,418	,000																					
EC	r	,327	,500	,000																				
Na <sup>+</sup>	r	,536	,073	,345	,000																			
K <sup>+</sup>	r	<b>,755**</b>	,173	,391	<b>,918**</b>	,000																		
Ca <sup>2+</sup>	r	,573	,155	,627*	,655*	<b>,736**</b>	,000																	
Mg <sup>2+</sup>	r	,273	,327	,236	,364	,318	,464	,000																
Cl <sup>-</sup>	r	<b>,827**</b>	,409	,191	,191	,427	,236	,009	,000															
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	r	,091	,245	,091	,673*	,500	,236	,082	,409	,000														
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	r	,627*	,409	,536	<b>,836**</b>	<b>,891**</b>	<b>,736**</b>	,255	,309	,391	,000													
Al	r	,500	,273	<b>,755**</b>	,382	,500	,555	,064	,482	,155	,464	,000												
As	r	,127	,036	,427	,100	,200	,364	,318	,336	,173	,282	,436	,000											
B	r	<b>,655*</b>	<b>,664*</b>	,455	,409	,482	,627*	,118	,564	,182	<b>,664*</b>	,373	,255	,000										
Ba	r	<b>,729*</b>	,087	,219	,442	,506	,401	,487	,670*	,009	,228	,355	,182	,342	,000									
Cr	r	,191	,059	,050	,278	,073	,118	,474	,064	,155	,005	,223	,446	,228	,489	,000								
Cu	r	,373	,082	,282	,282	,064	,145	,382	,609*	,364	,064	,082	,173	,009	,068	<b>,606*</b>	,000							
Fe	r	,655*	,309	,127	,009	,227	,055	,027	<b>,809**</b>	,455	,191	,264	,218	,509	,410	,023	<b>,618*</b>	,000						
Li	r	,582	,373	,518	,455	,418	,518	,518	,300	,027	,345	,273	,127	,482	<b>,720*</b>	<b>,733*</b>	,400	,009	,000					
Mn	r	,627*	,209	,209	,282	,291	,400	,573	,509	,164	,155	,118	,018	,509	<b>,861**</b>	<b>,738**</b>	,155	,327	<b>,864**</b>	,000				
Ni	r	,392	,210	,114	,410	,469	,642*	,383	,405	,137	,351	,333	<b>,638*</b>	,442	,511	,002	,132	<b>,369</b>	,114	,374	,000			
Pb	r	,443	,151	,082	<b>,776**</b>	<b>,740**</b>	,475	,105	,110	,493	<b>,790**</b>	,068	,155	,470	,030	,126	,096	,041	,205	,050	,137	,000		
Si	r	,600	,036	,127	,127	,318	,191	,000	,373	,091	,055	,109	,536	,082	,383	,219	,382	,273	,373	,364	,082	,265	,000	
Zn	r	,236	,227	,018	,355	,318	,582	,355	,018	,345	,145	,118	,009	,245	,442	,465	,218	,100	,336	,445	<b>,670*</b>	,068	,209	,000

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*-. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).





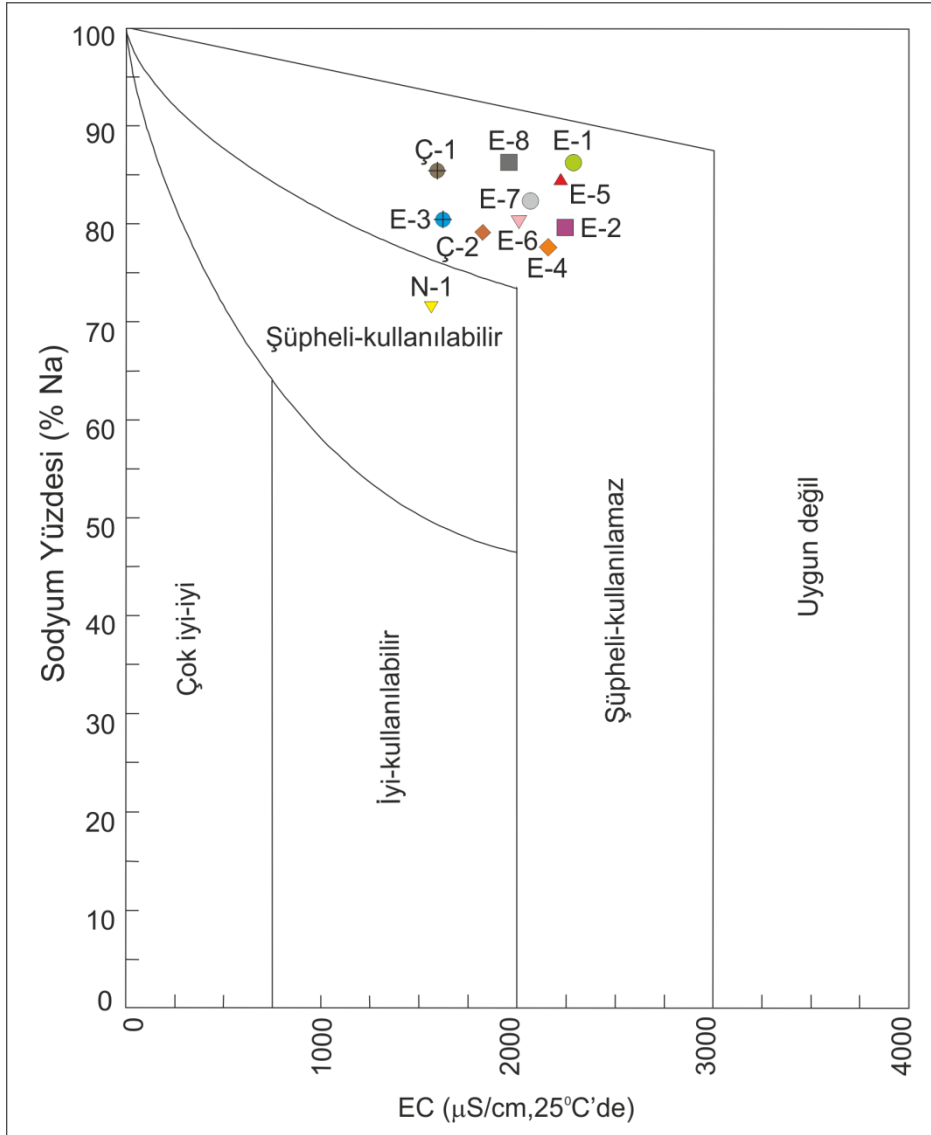
Şekil 3.2. Jeotermal akışkanın Piper ve Schoeller diyagramında gösterilmesi

Jeotermal akışkanın çevreye deşarj için uygun olup olmadığını belirlemek için sulama suyu kullanım sınıflamalarından olan Wilcox (1955) diyagramında kimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Sodyum yüzdesi ve EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) değerleri karşılaştırılarak çizilen diyagramda sular "çok iyi-iyi", "iyi-kullanılabilir", "şüpheli-kullanılabilir", "şüpheli-kullanılmaz" ve "uygun değil" sınıflarına ayrılmaktadır. Sodyum yüzdesi; suyun toplam majör katyonları içinde % Na değerini ifade eder. İyon derişimleri meq/l olmak üzere;

$$\%Na = 100x \frac{Na}{(Na + K + Ca + Mg)}$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre N-1 hariç tüm jeotermal akışkanın "şüpheli-kullanılmaz" sınıfında olduğu saptanmıştır (Şekil 3.3). Jeotermal akışkan, sahada herhangi bir reenjeksiyon kuyusu olmaması nedeni ile çevreye deşarj edilmektedir. Böylelikle akışkan yüzey ve yeraltı sularına karışarak bölgede yaşayan halkın geçim kaynağı olan tarım arazilerine ulaşmaktadır. Wilcox diyagramı sonuçlarına göre jeotermal akışkanın çevreye deşarjı önerilmemektedir.

Yüksek sıcaklık ve basınç altında jeotermal akışkan ile uzun süre etkileşim içerisinde olan kayaçtaki birçok metal(loid) çözünerek suya geçmektedir. Jeotermal sulardaki As konsantrasyonu 204.1-684.1  $\mu\text{g}/\text{l}$  aralığında değişmektedir. Ortalama As konsantrasyonu 430.41 mg/l olup, bu değer TS 266 (2005) tarafından tavsiye edilen maksimum değerden 43 kat daha fazladır. Jeotermal akışkandaki arseniğin ana kaynağı metamorfik kayaçlar olup, metamorfik kayaçlardaki As konsantrasyonu maksimum 660.4 mg/kg olarak tespit edilmiştir. (Gündüz ve ark., 2010). Ayrıca çevreye kontrolsüz olarak deşarj edilen jeotermal akışkan sebebiyle Gündüz ve ark. (2012) yüzeysel sulara sıcaklık artışı ile birlikte yüksek konsantrasyonda As bulunduğunu ifade etmiştir. Bor konsantrasyonu 2448-4203  $\mu\text{g}/\text{l}$  aralığında olup, ortalama değeri 3441.45  $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir. En yüksek As ve B konsantrasyonu Eynal, en düşük konsantrasyon ise Naşa jeotermal alanında ölçülmüştür. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne (2008) göre Simav ovasında örnekleme yapılan tüm jeotermal akışkanlar As ve B için çok kirlenmiş sular (sınıf IV) sınıfında yer almaktadır. Naşa jeotermal akışkanı Mn konsantrasyonuna göre çok kirlenmiş sular (sınıf III), Çitgöl jeotermal akışkanı Fe konsantrasyonuna göre az kirlenmiş sular (sınıf II) sınıfında yer almaktadır. Bölgedeki jeotermal kaynaklardan faydalanmak için kurulmuş olan 7 adet yün yıkama tesisi jeotermal akışkanı kullandıktan sonra hiç bir arıtma yapmadan çevredeki derelere deşarj etmektedir (Gündüz ve ark., 2010). Bu durum bölgedeki kirlilik yükünü arttırmaktadır. Yaz aylarında ise konut ısıtması amaçlı jeotermal kullanımı olmadığından jeotermal akışkan deşarjında belirgin bir azalma gözlenmektedir.



Şekil 3.3. Jeotermal akışkanın Wilcox diyagramında gösterilmesi

Jeotermal akışkanın hidrokimyasal analiz sonuçlarına uygulanan Pearson Korelasyon Analizi değerlendirmesi Çizelge 3.2'de sunulmuştur. Jeotermal akışkanın içerdiği  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyonları arasında pozitif yönlü çok kuvvetli bir korelasyon tespit edilmiştir ( $r=0,91$ ,  $p<0,01$ ).  $\text{K}^+$  ve  $\text{Cl}^-$ 'ün sıcaklık ile arasında pozitif yönde kuvvetli bir korelasyon vardır ( $r=0,75$ ,  $r=0,83$ ,  $p<0,01$ ).  $\text{K}^+$  ve  $\text{Ca}^{2+}$  arasında negatif yönde kuvvetli bir korelasyon vardır ( $r=0,75$ ,  $p<0,01$ ).  $\text{SO}_4^{2-}$  ile  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki vardır ( $r=0,84$ ,  $p<0,01$ ).  $\text{Ca}^{2+}$  ile  $\text{SO}_4^{2-}$  arasında negatif yönde kuvvetli korelasyon vardır. Elementler içerisinde sadece Al ile EC arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir. Baryum ile sıcaklık arasında negatif yönde kuvvetli bir ilişki vardır. Demir ve  $\text{Cl}^-$  arasında aynı zamanda  $\text{Li}^+$  ve Ba arasında negatif yönde kuvvetli bir ilişki vardır. Mn ile Ba arasında pozitif, Cr ve Li arasında ise negatif yönlü kuvvetli bir ilişki vardır. Bununla birlikte Pb ile  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ve  $\text{SO}_4^{2-}$  iyonları arasında negatif yönde kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir. Korelasyon sonuçlarına göre As ve B arasında anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir. Arsenik ile Nikel arasında negatif yönde bir ilişki tespit edilmiştir ( $r=-0,63$ ,  $p<0,05$ ). Nikel ile  $\text{Ca}^{2+}$  ve Zn arasında pozitif yönlü bir ilişki vardır.

Bakır ile Cr ve Fe arasında negatif yönde, Cl<sup>-</sup> ile pozitif yönde ilişki vardır. Ayrıca Cl<sup>-</sup> ile Ba arasında negatif, Cu arasında ise pozitif yönde ilişki tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal akışkanının kimyasal analiz sonuçlarına göre As, B, Fe ve Mn elementlerinin akışkanda yüksek konsantrasyonda olduğu tespit edilmiştir. Sıcak ya da soğuk su kaynaklarının özellikle As gibi yüksek toksik etkileri sahip metal(loid) içermesi ve bu suyun içerek tüketilmesi, tarım arazilerinin sulanması ya da çevreye bilinçsizce deşarjı halk sağlığının korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Suda As varlığının arıtılmadığı ve özellikle içilerek tüketildiği durumlarda çok önemli sağlık sorunlarına sebep olmaktadır (Wang ve Mulligan, 2006). Yapılan çeşitli çalışmalar, arseniğin içme suyu ile alınması neticesinde insanlarda çeşitli deri lezyonları, deri ve akciğer kanseri başta olmak üzere kanserojenik etkiler gösterdiğini kanıtlamıştır (Sorg ve ark., 2014). Bu durum, yüksek As içeren jeotermal akışkanın çevresel etkileri açısından değerlendirilmesinin önemini daha da arttırmıştır.

#### 4. Sonuç

Konut ve sera ısıtılması gibi uygulamalar sonucunda ortaya çıkan atık jeotermal akışkan için en uygun bertaraf yöntemi yeraltına reenjeksiyondur. Reenjeksiyonun yapılmadığı durumlarda jeotermal akışkan aşırı çekim nedeni ile azalabilir hatta tükenme tehlikesi ile karşı karşıya gelebilir. Jeotermal akışkan ancak deşarj standartlarına uyulmak kaydıyla arıtılarak yüzeysel sulara deşarj edilmelidir. Çalışma sahasındaki tüm jeotermal alanlarda reenjeksiyon uygulaması bulunmamakta ve yeraltından çıkan jeotermal akışkanın tamamı kullanıldıktan sonra çevredeki derelere deşarj edilmektedir. Jeotermal akışkan kontrolsüz olarak deşarj edildiğinde çevresindeki su kaynaklarına karışarak ısıl ve kimyasal kirlenmeye (As, B, Fe, Mn, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) neden olabilir. Gelecek çalışmalarda jeotermal alanların çevresindeki yüzey ve yeraltı sularının yanı sıra dere sedimanı ve toprağın jeotermal akışkandan ne kadar etkilendiğinin saptanması için mevsimsel örneklemeler yapılarak, analiz edilmesi önerilir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2014-226 no'lu proje ile desteklenmiştir. Bu çalışma özgün araştırma makalesi niteliğindedir.

## Kaynakça

- Akkuş İ., 2002. Jeotermal Uygulamalar ve MTA. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları, İzmir, Türkiye. 1–32.
- Akkuş İ., Alan H., 2016. Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları, Projeksiyonlar, Sorunlar ve Öneriler Raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, Türkiye.
- Ateş Ö., Tutkun S.Z., 2014. Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri. Türkiye Jeoloji Bülteni 57(3): 25–40.
- Baba A., Armannsson H., 2006. Environmental Impact of the Utilization of Geothermal Areas. Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy 1:267–278.
- Baba A., Sözbilir H., 2012. Source of Arsenic Based on Geological And Hydrogeochemical Properties of Geothermal Systems in Western Turkey. Chemical Geology 334(12): 364-377.
- Bayram A.F., Şimşek Ş., 2005. Hydrogeochemical and Isotopic Survey of Kütahya-Simav Geothermal Field. World Geothermal Congress Proceedings, 1–11.
- Baysal R.T., Gündüz O., 2016. The Impacts of Geothermal Fluid Discharge on Surface Water Quality with Emphasis on Arsenic. Water, Air, and Soil Pollution 227:165.
- Davraz A., Aksever F., Afşin M., 2017. Assessment of Stream Water Chemistry and Impact of Geothermal Fluid in the up-Buyuk Menderes Basin, Turkey. Environmental Science and Pollution Research 24: 26806–26820.
- Eroğlu A., Aksoy N., 2003. Jeotermal Suların Kimyasal Analizi, VI. Ulusal Tesisat Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri Kitapçığı. 149–183.
- Gemici Ü., Tarcan G., 2002. Hydrogeochemistry of the Simav Geothermal Field, Western Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research 116: 215–233.



- Gündüz O., Şimşek C., Hasözbeek A., 2010. Arsenic Pollution in the Groundwater of Simav Plain, Turkey: Its Impact on Water Quality and Human Health. *Water, Air and Soil Pollution* 205(1): 43–62.
- Gündüz O., Mutlu M., Elçi A., Şimşek C., Baba A., 2012. Jeotermal Akışkan Deşarjının Yüzeysel Su Kalitesine Etkisi: Örnek Saha Simav Ovası Kütahya. *Çevre Bilim & Teknoloji* 3(4): 231–246.
- Mertoğlu O., Şimşek Ş., Başarır N., 2015. Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015). *World Geothermal Congress Proceedings, Melbourne, Australia.*
- MTA, 2001. Türkiye Jeotermal Envanteri. MTA Yayınları, Ankara.
- Nicholson K., 1993. *Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques.* Springer, Berlin.
- Özen Balaban T., Bülbül A., Tarcan G., 2017. Review of water and soil contamination in and around Salihli geothermal field (Manisa, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences* 10: 523.
- Palabıyık Y., 2006. Kütahya-Simav Jeotermal Sahasının Jeokimyasal Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Piper A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Transactions of American geophysical Unions* 25: 914–923.
- Schoeller H., 1955. *Geochimie des Eaux Souterraines, Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris.* 219–246.
- Sorg T.J., Chen A.S.C., Wanga L., 2014. Arsenic Species in Drinking Water Wells in the USA with High Arsenic Concentrations. *Water Research* 48: 156–169.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2008. Online. 10.03.2019, <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspix?MevzuatKod=7.5.7221&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0>
- Şahinci A., 1991. *Doğal Suların Jeokimyası.* Reform Matbaası. İzmir, Türkiye.

- Şanlıyüksel D., Baba A., 2011. Hydrogeochemical and Isotopic Composition of a Low Temperature Geothermal Source in Northwest Turkey: Case Study of Kirkgecit Geothermal Area. *Environmental Earth Sciences* 62: 529–540.
- Şanlıyüksel Yücel D., Yücel M.A., 2017. Terk Edilmiş Kömür Ocaklarında Oluşan Maden Göllerinin Hidrokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve İnsansız Hava Aracı ile Üç Boyutlu Modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 23(6): 780-791.
- Şimşek C., Gündüz O., 2007. IWQ Index: a GIS-integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality. *Environmental Monitoring and Assessment* 128(1–3): 277–300.
- TS 266, 2005. Sular - İnsanî Tüketim Amaçlı Sular. Türk Standardı.
- Şimşek Ş., 2015. Dünya'da ve Türkiye'de Jeotermal Gelişmeler. III. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 1–17.
- Wang, S., Mulligan, C.N., 2006. Occurrence of Arsenic Contamination in Canada: Sources, Behavior and Distribution. *Science of the Total Environment*, 366:2-3, 701-721.
- Wilcox L.V., 1955. Classification and Use of Irrigation Waters, U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington D.C., 19 p.
- Zaim A., Çavşi H., 2018. Türkiye'deki Jeotermal Enerji Santrallerinin Durumu. *Mühendis ve Makine* 59(691): 45–58.

## Damla ve Toprak Altı Damla Sulamanın Mısır Verimi Üzerine Etkisi

Aslı Demirok<sup>1</sup>, Gökhan İsmail Tuylu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

11.04.2019 Geliş/Received, 03.05.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Harran Ovası koşullarına göre, 2016 yılında yürütülen çalışmada, mısır (*Zea mays L. indendata*) yetiştiriciliğinde farklı sulama uygulamaları içeren damla sulama sistemi (DSS) ve toprak altı damla sulama sistemi (TADSS)'nin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Her iki sulama sisteminde sulama konuları; [ I<sub>1</sub> (1.5), I<sub>2</sub> (1.25), I<sub>3</sub> (1.0), I<sub>4</sub> (0.75), I<sub>5</sub> (0.5)] Class A Pan yöntemine göre belirlenmiş ve en uygun Class A Pan bitki katsayıları (K<sub>cp</sub>) araştırılmıştır. Mısır için verim miktarı, sulama suyu miktarı (I), bitki su tüketimi (ET), su kullanımı (WUE) ve sulama suyu kullanım randımanı (IWUE) elde edilmiştir. Sulama suyu ve bitki su tüketimine göre tane verim ve bin tane verim değerleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak, K<sub>cp</sub> katsayısı her iki sulama sistemi için 1.25 olarak belirlenmiştir. Verim miktarları, DSS kullanılarak 698.4 kg da<sup>-1</sup> ile 1151.5 kg da<sup>-1</sup> arasında ve TADSS kullanılarak 705.4 kg da<sup>-1</sup> ile 1157.5 kg da<sup>-1</sup> arasında elde edilmiştir. Damla Sulama Sistemi ve TADSS ile uygulanan sulama suyu miktarı, konulara göre aynıdır ve 421.5 ile 1264.5 mm arasında değişmiştir. Bitki su tüketimi değerleri; DSS'ye göre 585.7 ile 1294.6 mm arasında, TADSS'ye göre 572.5 ile 1286.7 mm arasında belirlenmiştir. Su kullanımı (WUE) ve IWUE değerleri sırasıyla; DSS için 0.82-1.19 kg m<sup>-3</sup>, 0.83-1.66 kg m<sup>-3</sup> ve TADSS için 0.83-1.23 kg m<sup>-3</sup>, 0.84-1.67 kg m<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** A-sınıfı buharlaşma kabı, killi toprak, lateral derinlik, Şanlıurfa

## Effect of Drip and Subsurface Drip Irrigation on Maize Yield

### Abstract

A study was carried out under the conditions of Harran Plain in 2016 to compare drip irrigation system (DIS) and subsurface drip irrigation system (SDIS) that contained different irrigation applications in cultivation of maize (*Zea mays L. indendata*). The irrigation treatment [I<sub>1</sub> (1.5), I<sub>2</sub> (1.25), I<sub>3</sub> (1.0), I<sub>4</sub> (0.75), I<sub>5</sub> (0.5)] were determined according to Class A Pan method in both irrigation systems and optimum Class A Pan crop coefficients (K<sub>cp</sub>) were investigated. The yield, the amount of irrigation water (I), the water consumption of plant (ET), the water use efficiency and the irrigation water use efficiency (WUE and IWUE) were obtained for maize. According to the irrigation water and the plant water consumption, the values of grain yield and 1000 grain yield were analyzed. As a result, the K<sub>cp</sub> coefficient was determined as 1.25 for both irrigation systems. The yields were obtained to be between 698.4 and 1151.5 kg da<sup>-1</sup> by using DIS and they were obtained between 705.4 and 1157.5 kg

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Gökhan İsmail Tuylu  
(e-posta:gokhantuylu@harran.edu.tr)

Bu makale Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü (HÜBAK) tarafından desteklenen bir tez çalışması olup 16018 No'lu proje kapsamında yürütülmüştür.

da<sup>-1</sup> by using SDIS. According to the treatments, the amount of water applied by DIS and SSDIS were same and they changed between 421.5 and 1264.5 mm. The plant water consumption values were between 585.7 and 1294.6 mm according to DIS and they were between 572.5 and 1286.7 mm according to SSDIS. The water use efficiency and IWUE values were calculated as 0.82-1.19 kg m<sup>-3</sup>, 0.83-1.66 kg m<sup>-3</sup> for DIS and 0.83-1.23 kg m<sup>-3</sup>, 0.84-1.67 kg m<sup>-3</sup> for SSDIS respectively.

**Keywords:** class A pan, clay soil, lateral depth, Şanlıurfa

## 1. Giriş

Mısır dünyada ve ülkemizde yaygın olarak üretimi yapılan bitki deseni içerisinde yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 2. ürün olarak ekilmesi yönünden önemlidir. Dünyada üretilen mısırların yaklaşık %90'ı insanların ve hayvanların beslenmesinde kullanılmaktadır. Bunun %65-70'i hayvan yemi olarak, %20'si ise direkt olarak insanlar tarafından tüketilmektedir. Geri kalan %8-10'luk kısım ise, sanayide hammadde olarak değerlendirilmektedir (Anonim, 2017).

Mısır tarımının yapılabilmesi için yıllık yağışın ortalama 600-1200 mm kadar olması gerekmektedir. Ülkemizde yıllık yağış miktarının ortalama 500-600 mm olduğu yerlerde dahi mısır yetiştirilebilmektedir. Ancak, böyle alanlarda sulama yoluyla yağış açığı giderilmelidir. Yağışların aralıklı ve önemli bir kısmının olgunlaşma devresinde olması gerekmektedir. Bu nedenle yaz yağışları mısır yetiştiriciliğinde büyük önem taşımaktadır (Şahin, 2001).

Mısırın suya önemli düzeyde ihtiyacı olduğu dönemler, püskül ve tane oluşumu dönemleridir. Su ihtiyacının karşılanmadığı durumda verimde azalmalar oluşur (Yıldırım ve ark., 1995). Mısırın sulanmasında özellikle bu dönemler gözetilerek sulama programları yapılır ve uygulanır. Kontrollü sulamanın yapılabildiği sistemler ise basınçlı sulama sistemleridir.

Basınçlı sulama sistemleri, dünyada ve ülkemizde gelişen sulama teknolojisine bağlı olarak hızla sulamada kullanılmak üzere yerini almıştır. Damla sulama sistemleri (DSS) su tasarrufu sağlayan, sulama işçiliğinde ve enerjide tasarruf sağlayan sistemlerdir. Toprak altı damla sulama sistemleri (TADSS) ise damla sulama sistemlerinin bir modifikasyonudur. Dünyada ve ülkemizde sulama konusunda her iki sulama sistemi kullanılarak yapılan bilimsel çalışmalar yaygındır. Harran Ovası koşullarında; Kırnak ve ark.(2002), biberde damla ve toprak altı damla sulama uygulamaları gerçekleştirmişlerdir. Kırnak ve ark.(2003) ve Şimşek ve Gerçek (2005) tarafından, mısır sulamasında damla sulama sistemleri kullanılmış ve su-verim ilişkileri analiz edilmiştir.

Çalışmada, Harran Ovası koşullarında, 2016 yılında, damla ve toprak altı damla sulama sistemlerinin mısırın sulanmasında kullanılabilirlik olanakları araştırılmıştır. Verim miktarları, sulama suyu miktarı (I), bitki su tüketimi (ET), su kullanım ve sulama suyu kullanım randımanları (WUE ve IWUE) belirlenmiş ve her iki sulama sistemi için karşılaştırılmıştır. Sulama suyu ve bitki su tüketimine göre tane verim ilişkileri ve bin tane verim ilişkileri analiz edilmiştir. Bu çalışmada DSS ve TADSS koşullarında yetiştirilen mısır bitkisinin K<sub>cp</sub> değeri yönünden karşılaştırılması amaçlanmıştır. Mısır konusunda çalışacak araştırmacılara, sulama koşullarının optimize edilmesi yönünden katkı sağlayacaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma, Harran Ovası'nda Şanlıurfa sınırları içerisinde Harran Üniversitesi uygulama alanında yürütülmüştür. Harran Ovası, coğrafik konum olarak denizden yüksekliği ortalama 465 m olup  $37^{\circ}08' N$  enlemi ve  $38^{\circ}46' E$  boylamı arasındadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Harran Ovası'nın coğrafik konumu (Anonim, 2019)

Şanlıurfa, Güneydoğu Anadolu iklim bölgesinde yer almakla beraber, Akdeniz ikliminin uzak etkisini de kısmen göstermektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık olan bir iklim özelliğine sahiptir. Çalışmanın yürütüldüğü 2016 yılında, mısırın ekim-hasat periyodu, ortalama sıcaklık değerleri  $33.2-12.6^{\circ}C$  olarak gerçekleşmiştir. Deneme alanına ait bazı iklim parametreleri, 1985-2015 dönemine ait uzun yıllar ortalaması (UYO) ve 2016 yılı için, Çizelge 2.1'de sunulmuştur:

Çizelge 2.1. Deneme alanı bazı iklim parametreleri (Anonim, 2016)

İklim parametreleri		Max. Sıcaklık	Min. Sıcaklık	Ort. Sıcaklık	Nem	Rüzgâr Hızı	Güneşlenme Süresi	Yağış
Aylar	Yıl	( $^{\circ}C$ )	( $^{\circ}C$ )	( $^{\circ}C$ )	(%)	(m/s)	(saat)	(mm)
Haziran	2016	42.0	18.9	29.8	28.0	1.9	11.9	0.6
	U.Y.O	34.9	21.1	28.3	35.2	2.0	12.0	3.3
Temmuz	2016	43.0	20.9	33.0	25.4	1.9	12.4	0.2
	U.Y.O	39.6	25.6	33.3	29.1	1.9	12.0	0.0
Ağustos	2016	43.0	21.2	33.2	30.6	1.6	11.1	0.0
	U.Y.O	38.6	24.7	31.6	36.6	1.7	11.0	0.0
Eylül	2016	33.5	20.0	26.4	32.1	1.7	9.8	0.0
	U.Y.O	35.2	22.1	27.9	35.2	1.7	9.1	0.3
Ekim	2016	33.9	12.3	22.1	35.9	1.2	8.6	22.0
	U.Y.O	27.3	16.2	21.3	50.1	1.1	6.7	43.2
Kasım	2016	19.3	7.9	12.6	42.9	1.1	5.9	23.3
	U.Y.O	19.4	9.2	13.3	54.2	1.2	5.8	17.4



Harran Ovası toprakları ana materyali alüviyal ve derin profillidir. Profilin kireç ve potasyum oranı yüksek olup fosforca fakirdir. Toprak pH'sı 7.3-7.4 olup organik madde içeriği yüzeyden derine doğru azalan yapıdadır (% 1.20 -% 0.8) (Dinç ve ark., 1988). Deneme alanı toprakları killi bünyeli olup Harran Ovası koşullarını temsil etmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Deneme alanı toprak özellikleri (Tarı, 2015)

Derinlik (cm)	Ec (dS m <sup>-1</sup> )	TK (g g <sup>-1</sup> )	SN (g g <sup>-1</sup> )	As (g cm <sup>-3</sup> )	Nem (mm)	Kil (%)	Silt (%)	Kum %	Bünye Sınıfı
0-30	1.04	32.50	22.10	1.15	35.88	56.6	20.0	23.4	C
30-60	1.07	31.40	21.20	1.40	42.84	54.6	17.0	24.4	C
60-90	1.08	29.60	22.08	1.16	26.17	62.6	17.0	21.4	C

C: Kil minerali

Bölgede sulama suyuna bağlı olarak yetiştiriciliği yapılan bitki deseni içerisinde ana ürün pamuk bitkisidir. Kışlık buğday yetiştirilen alanlarda yaz döneminde ikinci ürün olarak mısır ekilmektedir. Çalışmada, deneme materyali olarak PR32T83 mısır çeşidi kullanılmıştır.

Denemede kullanılan sulama suyu, kuyu suyu olup sulama suyu kalitesi olarak C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> özelliğindedir. Sulama suyu tuzlu ve sodyum düzeyi düşüktür. Suyun pH değeri 7.0, elektriksel iletkenlik (EC) içeriği 1080 µmhos cm<sup>-1</sup>'dir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Sulama suyunun bazı kimyasal özellikleri (Şimşek, 2015)

Elektriksel iletkenlik	Kasyonlar me l <sup>-1</sup>				Anyonlar me l <sup>-1</sup>				Ph değeri	Sulama suyu sınıfı
	Ca <sup>++</sup> Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Top. Total	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Top. Total		
1080	1.98	0.02	0.25	2.25	0.90	0.60	0.75	2.25	7.0	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>

Çalışmada, istatistik analizler için MİNİTAB16 paket programından yararlanılmıştır. Regresyon grafiklerinin belirlenmesinde ise EXCEL Microsoft Office programı kullanılmıştır.

Sulama suyu miktarları açık su yüzeyinden olan buharlaşma miktarı Class A Pan (A-sınıfı buharlaşma kabı) kullanılarak belirlenmiştir. Suyun ölçülü olarak uygulanmasında ise sayaç kullanılmıştır. Denemede sulama uygulamaları DSS ve TADSS kullanılarak yapılmıştır. Her iki sulama sistemi; ana boru hattı, manifold boru hattı, lateral, gübre tankı, elek filtre, manometre, sayaç ve bağlantı parçalarından oluşmaktadır. Lateraller 16 mm çapında olup 0.30 m damlatıcı aralığına sahiptir ve üzerinde 2 l h<sup>-1</sup> debili damlatıcılar bulundurmaktadır. İki sistem için de parsel hat başına 30 mm çaplı vanalar takılarak sulama suyu kontrollü uygulanmıştır. Lateraller, her bitki sırasına bir lateral gelecek şekilde 70 cm aralıklı olarak döşenmiştir. Toprak altı damla sulama sisteminde kullanılan lateral borular, toprak yüzeyinin 40 cm altına yerleştirilmiş özel tasarımı borulardır. Bu sistemde, ana hat ve manifold borular deneme alanında toprak yüzeyine yerleştirilmiştir. Toprak altı damla sulama sisteminde, lateral hattı sonunda ek bir boru ilave edilerek sistemin kontrolü ve temizlenebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, sistemler üzerine yerleştirilen manometreler yardımıyla işletme basınçları izlenmiştir.

Araştırma, tesadüf blokları bölünmüş parseller deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme parselleri, 3.50×3.00 m boyutlu (10.5 m<sup>2</sup>) olup mısır tohumları her bir sıra üzerinde, 13 adet bitki olacak şekilde, 5 sıralı ekilmiştir. Bitki sıra üzeri mesafe 18 cm,

sıra arası mesafe ise 70 cm'dir. Sulama suyu miktarları Class A Pan buharlaşma kabına göre  $I_1$  (1.5),  $I_2$  (1.25),  $I_3$  (1.0),  $I_4$  (0.75),  $I_5$  (0.5) olarak belirlenmiş ve DSS ve TADSS kullanılarak uygulanmıştır.

Çalışmada, günlük buharlaşma miktarının belirlenmesinde açık su yüzeyinden olan buharlaşma esasına dayalı yöntem kullanılmıştır. Deneme alanının ortasına yerleştirilen Class A Pan buharlaşma kabı yardımıyla günlük buharlaşma miktarları ölçülmüştür (Kırnak ve ark., 2003; Şimşek ve Gerçek, 2005). Ölçümler her gün 17.00' da yapılmıştır. Buharlaşma kabı 5 günde bir temizlenmiştir. Çalışmada DSS ve TADSS ile uygulanacak sulama suyu miktarları (I) Class A Pan' dan ölçülen buharlaşma miktarı değerlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Sulama suyunun miktarının hesaplanması, Kanber (1984)'e göre yapılmıştır. Uygulanacak sulama suyu miktarlarının belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$I = A \times K_{cp} \times E_p \times P$$

Eşitlikte kullanılan ifadeler;

$E_p$  : Class A Pan 'dan olan buharlaşma (mm),  
 $I$  : Uygulanacak sulama suyu miktarı (l),  
 $A$  : Pan kabı alanı (m<sup>2</sup>),  
 $P$  : Islatma alanı yüzdesi (Yıldırım, 2013),  
 $K_{cp}$  : Pan katsayısı.

Deneme konularına uygulanan sulama suyu ve yağışlar kaydedilerek, bitki su tüketimi (evapotranspirasyon) değerleri su bütçesi eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır (James, 1988). Derine sızma ve yüzey akış miktarlarının ihmal edilebilecek düzeyde olduğu (Demirel, 2012) kabul edilerek aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$ET = I + P - D - R \pm \Delta S$$

Eşitlikte kullanılan ifadeler;

ET: Bitki su tüketimi (mm),  
 $I$  : Sulama suyu (mm),  
 $P$  : Yağış (mm),  
 $D$  : Derine sızma (mm),  
 $R$  : Yüzey akış (mm),  
 $\Delta S$  : Bitki kök bölgesindeki su depolama farkı (mm)'ni ifade etmektedir.

Tane verimi (kg da<sup>-1</sup>); her parselden elde edilen tane verimlerinin dekadaki verime çevrilmesiyle elde edilmiştir. Bin tane ağırlığı (g); her parselden rastgele alınan koçanlardan (5 adet) elde edilen tanelerin, (4×100)'e göre sayılıp tartılması ve 2.5 katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Şimşek ve Gerçek, 2005).

Su kullanım randımanı, sulama yöntemlerinin karşılaştırılmasında ve sulama programlarının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütlerden birisidir (Tanner ve Sinclair, 1983). Ele alınan farklı sulama konuları ve sulama suyu kısıntılarının karşılaştırılarak en uygun sulama programının belirlenmesinde su kullanım ve sulama suyu randımanları değerlerinden yararlanılmıştır. Sudan yararlanma oranı olarak da ifade edilen su kullanım randımanı değerleri, her bir sulama konusuna ait elde edilen verimlerin, mevsimlik bitki su tüketimine

oranı olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada su kullanım randımanı aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Howell ve ark., 1990).

$$WUE = E_y \times ET^{-1}$$

Eşitlikte kullanılan ifadeler;

WUE : Su kullanım randımanı ( $kg\ m^{-3}$ ),

$E_y$  : Verim ( $kg\ da^{-1}$ ),

ET : Mevsimlik bitki su tüketimi (mm).

$$IWUE = E_y \times I^{-1}$$

Eşitlikte;

IWUE = Sulama suyu kullanma randımanı ( $kg\ m^{-3}$ ),

I = Mevsimlik sulama suyu miktarı (mm).

Deneme alanında kùltivatörle 10-15 cm'lik derinlikte bir sürüm yapılmıştır. Daha sonra diskaro ile kesekler ufalandıktan sonra tapan çekilerek düzgün bir tohum yatağı hazırlanmıştır. Toprak hazırlığı sonrası deneme desenine göre parselasyon işlemi yapılmıştır. Parselasyon işlemi; sıra arası 70 cm, sıra üzeri 18 cm ve ekim derinliği 5-6 cm olacak şekilde düzenlenmiş ve 20 Haziran'da elle ekim işlemi yapılmıştır. Toprak hazırlığı sırasında 3-5 ton  $da^{-1}$  yanmış ahır gübresi, dikimle birlikte hesaplanan fosforlu gübrenin tamamı ve azotlu gübrenin yarısı uygulanmıştır. Azotlu gübrenin diğer yarısı ise ilk sulamadan önce verilmiştir. Deneme süresince, parsellerde gelişen yabancı otlar traktör ve el çapası ile sonraki dönemlerde parsel ve blok aralarında gelişen yabancı otlar ise el çapası ile temizlenmiş, ayrıca hastalık ve zararlıların denemenin sağlıklı yürütülmesini engelleyecek düzeyde zarar vermesi engellenmiştir. Başta koçan kurdu olmak üzere yaprak biti gibi zararlılara karşı kimyasal mücadele uygulanmıştır.

Tohum ekim işleminden 10 gün sonra mısır bitkilerinin çıkışı görülmüştür. Parselasyon işleminden önce bitki kök bölgesinin havalanması amacıyla bitki boyu 10-15 cm'ye ulaştığında, birinci çapa yapılmış, sonra sıra üzeri 18 cm olacak şekilde el ile seyreltme yapılmıştır. Bitkiler 8-10 yapraklı olduğunda ikinci çapa ve boğaz doldurma işlemi yapılmıştır. Son olarak, hasattan önce kenar tesirleri çıkarılarak 15 Kasım 2016 tarihinde el ile hasat yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1.Sulama Suyu Miktarlarına İlişkin Sonuçlar

Mısır tohumunun ekiminden deneme başlangıç tarihine kadar geçen periyotta (20 Haziran -15 Temmuz) her deneme parseline toplam 76 mm sulama suyu uygulanmıştır. Çalışmada, deneme konularının sulanmasına 15 Temmuz'da başlanmış ve 4 gün ara ile yapılmıştır. Damla sulama sistemi ve TADSS ile uygulanan sulama suyu miktarları aynı olup 1264.5 mm ile 421.5 mm arasında değişmiştir En fazla sulama suyu  $I_1$  konusunda ( $K_{cp}=1.5$ ), en az sulama suyu ise  $I_5$  ( $K_{cp}=0.50$ ) konusunda uygulanmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Konulara göre, sulama suyu miktarları (mm)

Sulama suyu miktarı	Konular				
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>
	1264.5	1053.8	843.0	632.3	421.5

Kırnak ve ark. (2003), ardışık yıllar için mısırdaki 1215 mm ve 1295 mm sulama suyu uygulamışlardır. Şimşek ve Gerçek (2005) tarafından yapılan çalışmada, damla sulama ile gerçekleştirilen mısır sulanmasında sırasıyla; ilk yıl 814-1116 mm ve ikinci yıl 843-1206 mm sulama suyu miktarı uygulanmıştır.

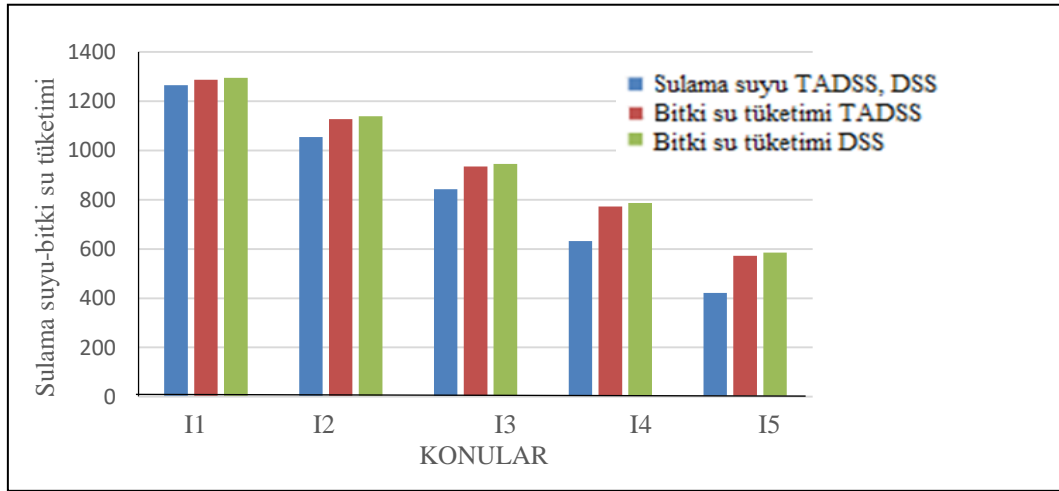
### 3.2. Bitki Su Tüketimine İlişkin Sonuçlar

Damla sulama sistemi, bitki su tüketim değerleri ise sırasıyla; 1294.6, 1138.6, 945.1, 787.1 ve 585.7 mm olarak hesaplanmıştır. Damla sulama sisteminde en fazla bitki su tüketim I<sub>1</sub> konusunda, en az bitki su tüketimi ise I<sub>5</sub> konusunda gerçekleşmiştir. Toprak altı damla sulama sistemi bitki su tüketim değerleri sırasıyla; 1286.7, 1127.3, 934.3, 772.2 ve 572.5 mm olarak hesaplanmıştır. Toprak altı damla sulama sisteminde en fazla bitki su tüketimi I<sub>1</sub> konusunda, en az bitki su tüketimi ise I<sub>5</sub> konusunda gerçekleşmiştir (Çizelge 3.2). Toprak altı damla sulama sistemi konularındaki bitki su tüketim değerleri DSS konularındaki bitki su tüketim değerlerine oranla daha az bulunmuştur (Şekil 3.1).

Çizelge 3.2. Sulama sistemlerine göre belirlenen bitki su tüketimi miktarları (mm)

Sulama Sistemleri	Deneme Konuları				
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>
DSS	1294.6	1138.6	945.1	787.1	585.7
TADSS	1286.7	1127.3	934.3	772.1	572.5

Kırnak ve ark. (2003) tarafından, DSS ile gerçekleştirilen sulama uygulamalarında mısırın su tüketimini farklı yıllar için sırasıyla; 1320 mm, 1435 mm olarak belirlenmiştir. Şimşek ve Gerçek (2005) tarafından yapılan çalışmada ise mısırın bitki su tüketimi ardışık yıllar için sırasıyla; 909-1224 mm ve 923-1160 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.1. DSS ve TADSS'ne göre mısırın bitki su tüketimi (mm)

### 3.3. Mısır (*Zea mays L. intendata*)'ın Verim Miktarına İlişkin Sonuçlar

Çalışmada farklı sulama uygulamalarına göre verim değerleri DSS'de 698.4-1055.2 kg da<sup>-1</sup>, TADSS'de 705.4-1065.4 kg da<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Farklı sulama sistemlerinin ve sulama düzeylerinin tane verimi üzerine etkileri incelendiğinde; sulama düzeyi konularında istatistiksel açıdan 0.01 önem düzeyinde bir farklılık bulunmuştur (Çizelge 3.3). Verim sonuçlarına bağlı olarak, mısırın yetiştirilmesinde her iki sulama sistemi için Kcp katsayısı 1.25 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Mısır tane verimi varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Sulama sistemi	1	1822	1822	1.12	0.302
Sulama sistemi * Sulama Düzeyi	4	215	54	0.03	0.998
Sulama Düzeyi	4	559615	139904	86.18**	0.000
Hata	20	32467	1623		

\*: %5 düzeyinde önemli, \*\*: %1 düzeyinde önemli

Konular arasındaki farklılıklar ise Duncan one-way ANOVA testine göre değerlendirilmiştir (Çizelge 3.4). Tane verimi, sulama düzeyleri bakımından 705.9 kg da<sup>-1</sup> ile 1154.5 kg da<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. Sulama düzeylerinde en yüksek tane verimi TADSS'de 1157.5 kg da<sup>-1</sup> ile I<sub>2</sub> konusunda bulunurken, en düşük tane verimi DSS'de 698.4 kg da<sup>-1</sup> ile I<sub>5</sub> konusundan elde edilmiştir. Sulama sistemleri arasında tane verimi ortalaması DSS'de 942.3 kg da<sup>-1</sup> ve TADSS'de 962.2 kg da<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Duncan'a göre tane verim miktarının gruplandırılması (kg da<sup>-1</sup>)

Sulama Sistemleri	Sulama Düzeyleri					Ort.
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	
TADSS	1065.4 ab	1157.5 a	998.7bc	883.8 c	705.4de	962.2 A
DSS	1055.2 b	1151.5 a	942.4bc	864.2cd	698.4e	942.3 A
Ort.	1060.3 B	1154.5 A	970.6 C	874.0 CD	701.9D	

Not: Farklı harflerle gösterilen konu ortalamaları arasındaki fark önemlidir.

Kırnak ve ark. (2003), farklı sulama uygulamalarına göre mısırdaki tane verimini 1294 kg da<sup>-1</sup>-405 kg da<sup>-1</sup> olarak belirlemişlerdir. Öktem ve Öktem (2009), mısır genotiplerinin çoğunda 1200 kg da<sup>-1</sup>'in üzerinde tane verimi elde etmişlerdir.

Çalışmada farklı sulama uygulamalarına göre bin tane ağırlığı; DSS'de 301.2-195.7 g, TADSS'de ise 302.9-196.5 g olarak bulunmuştur. Farklı sulama sistemlerinin ve sulama düzeylerinin bin tane ağırlığı üzerine etkileri incelendiğinde; sulama düzeyi konularında istatistiksel açıdan 0.01 önem düzeyinde farklılık bulunmuştur (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Mısırın bin tane ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Sulama sistemi	1	32.0	32.0	0.06	0.815
Sulama sistemi * Sulama Düzeyi	4	8.2	2.1	0.00	1.000
Sulama Düzeyi	4	44696.8	11174.2	19.57**	0.000
Hata	20	11418.1	570.9		

\*: %5 düzeyinde önemli, \*\*: %1 düzeyinde önemli

Bin tane ağırlığının sulama düzeyleri bakımından 196.1 g ile 302.0 g arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sulama düzeylerinde en düşük bin tane ağırlığı DSS'de 195.7 g bulunurken, en yüksek bin tane ağırlığı TADSS'de 302.9 g olarak elde edilmiştir. Sulama sistemleri arasında bin tane ağırlığı ortalama DSS'de 256.3 g ve TADSS'de 258.3 g olarak belirlenmiştir. Konular arasındaki farklılıklar ise Duncan'a göre belirlenmiştir (Çizelge 3.6).

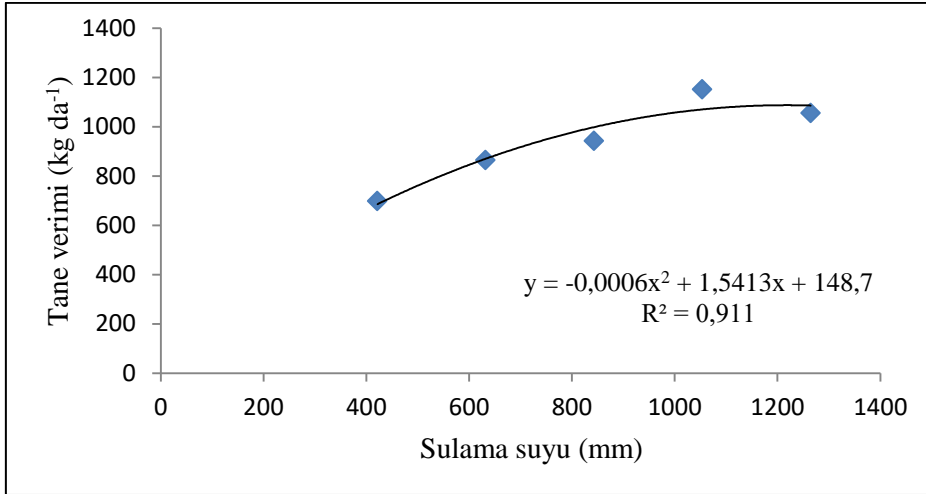
Çizelge 3.6. Duncan'a göre bin tane ağırlık değerlerinin göre gruplandırılması (g)

Sulama Sistemleri	Sulama Düzeyleri					Ort.
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	
TADSS	290.6 ab	302.9 a	267.5 ab	234.2 abc	196.5 c	258.3 A
DSS	288.9 ab	301.2 ab	263.5 abc	232.2 bc	195.7 c	256.3 A
Ort.	289.8 A	302.0 A	265.5 AB	233.2 BC	196.1 C	

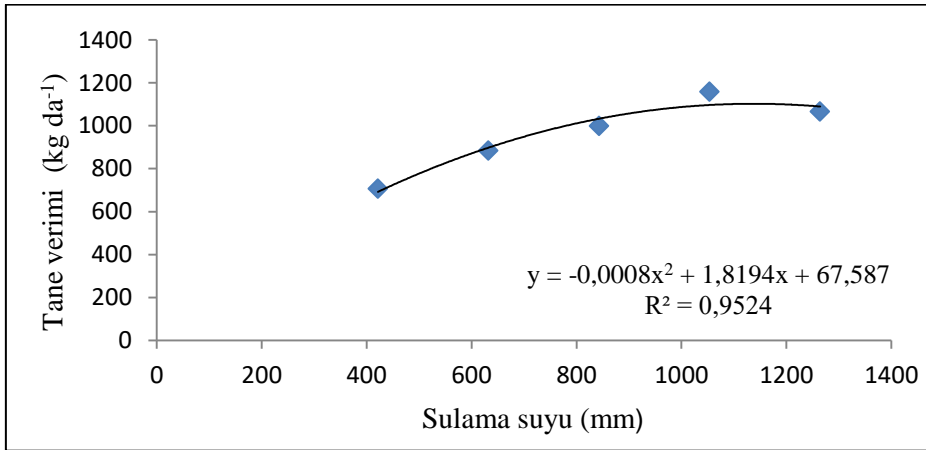
Özcan (2010) tarafından, farklı mısır çeşitlerine göre bin tane ağırlığı en fazla 338 g ve en az 268 g olarak elde edilmiştir. Bin tane ağırlığı, Öktem ve Toprak (2013) tarafından 397.5-533.3 g, Durmuş (2015) tarafından ise, 286.2-336.7 g olarak belirlenmiştir.

### 3.3.1. Sulama Suyu-Tane Verimi İlişkisi

Tane verimi ile uygulanan sulama suyu miktarları arasındaki ilişkileri tanımlayan su verim fonksiyonları incelenmiş ve aralarındaki ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 3.2 ve 3.3). Sulama suyu miktarı artışına bağlı olarak tane verimi artmıştır. Ancak sulama suyunun miktarındaki artış belli bir seviyeden sonra tane veriminde azalmaya neden olmuştur. Çalışmada en fazla tane verimi, DSS ve TADSS için I<sub>2</sub> sulama konusunda elde edilmiştir. Kara (2011) ve Okay ve Yazgan (2016)'a göre, sulama suyu ile mısırın tane verimi doğrusal ilişkilidir.



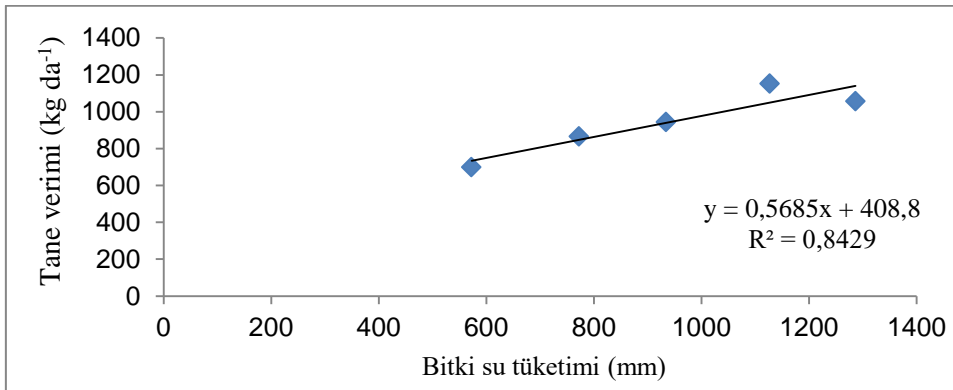
Şekil 3.2. DSS'e göre sulama suyu-tane verimi ilişkisi



Şekil 3.3. TADSS'e göre sulama suyu-tane verimi ilişkisi

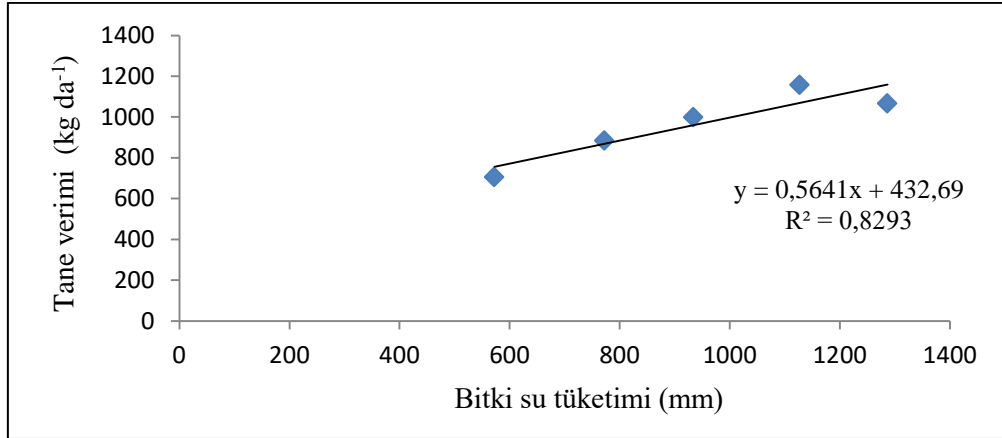
### 3.3.2. Bitki Su Tüketimi-Tane Verimi İlişkisi

Damla sulama sistemi ve toprak altı damla sulama sistemine göre, tane verimi ile mısırın su tüketimi arasındaki ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 3.4 ve 3.5). Bitki su tüketimi ve mısırın tane verimi her iki sulama sistemi için doğrusal ilişkili olarak elde edilmiştir. Kara (2011) ve Okay ve Yazgan (2016)'e göre de damla sulama uygulamaları için tane verimi ve bitki su tüketimi doğrusal ilişkilidir.



Şekil 3.4. DSS'e göre bitki su tüketimi- tane verimi ilişkisi

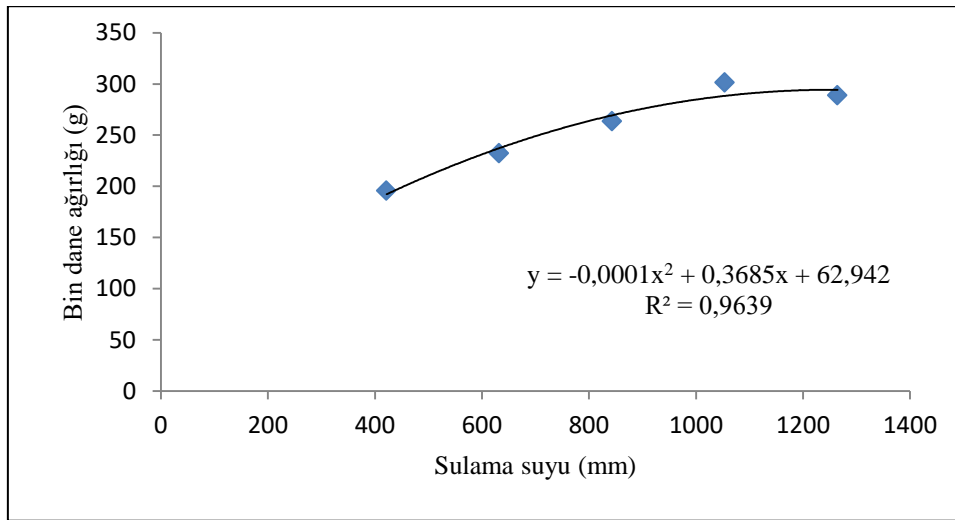




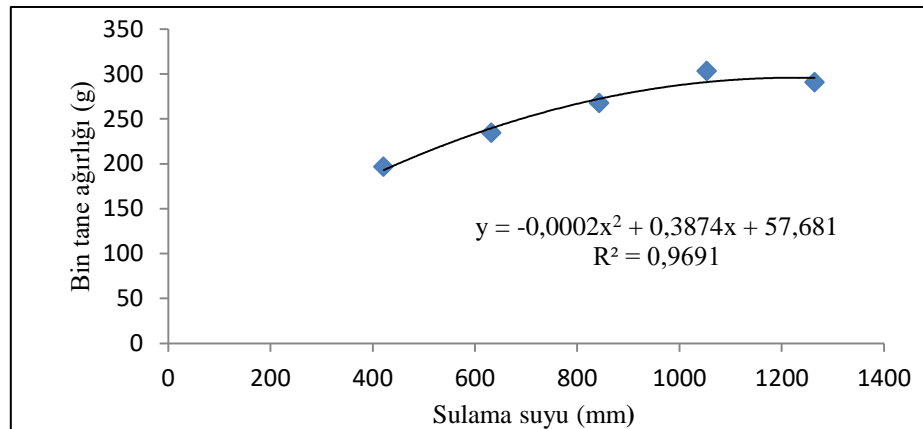
Şekil 3.5. TADSS'e göre bitki su tüketimi-tane verimi ilişkisi

### 3.3.3. Sulama Suyu-Bin Tane Ağırlığı İlişkisi

Her iki sulama sistemi için bin tane ağırlığı ve sulama suyu ilişkisi saptanmıştır. Sulama suyu miktarı ile mısırın bin tane ağırlığı arasında regresyon olarak güçlü bir ilişki (DSS; R<sup>2</sup>= 0,9639 ve TADSS; R<sup>2</sup>= 0,9691) gözlemlenmiştir (Şekil 3.6 ve 3.7). Kara (2011), mısır için bin tane ağırlığı-sulama suyu ilişkisini istatistiksel yönden önemli (P<0.05) bulmuştur.



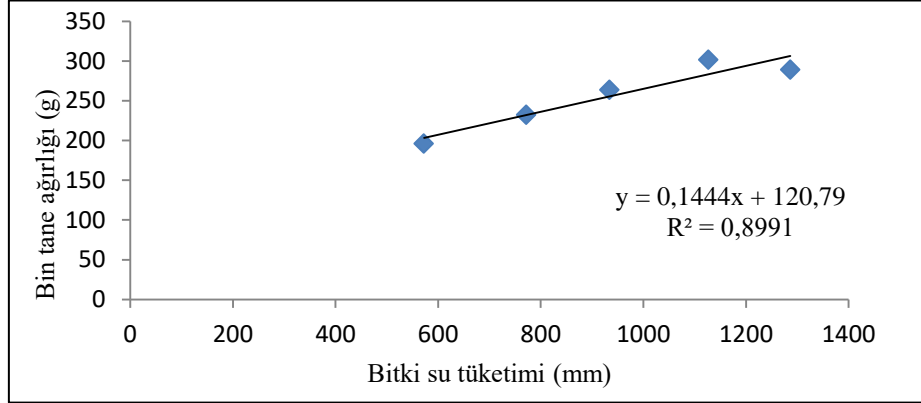
Şekil 3.6. DSS'e göre sulama suyu- bin tane ağırlığı ilişkisi



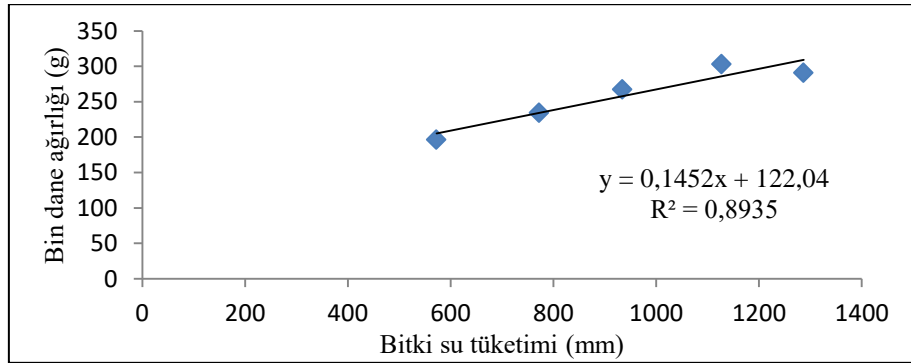
Şekil 3.7. TADSS'e göre sulama suyu-bin tane ağırlığı ilişkisi

### 3.3.4. Bitki Su Tüketimi - Bin Tane Ağırlığı İlişkisi

Damla sulama sistemi ve toprak altı damla sulama sistemine göre bin tane ağırlıkları ile bitki su tüketimi arasındaki ilişkiler tanımlanmıştır. Her iki sulama sistemi için parametreler arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur (Şekil 3.8 ve 3.9). Kara (2011), mısırın bin tane ağırlığı ile bitki su tüketimi arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak önemli ( $P < 0.05$ ) bulmuştur.



Şekil 3.8. DSS'e göre bin tane ağırlığı – bitki su tüketimi ilişkisi



Şekil 3.9. TADSS'e göre bin tane ağırlığı–bitki su tüketimi ilişkisi

### 3.4. Su Kullanım ve Sulama Suyu Kullanım Randımanı

Damla sulama sistemi konularına ilişkin su kullanım randımanı  $0.82-1.19 \text{ kg m}^{-3}$ , sulama suyu kullanım randımanları ise  $0.83-1.66 \text{ kg m}^{-3}$  olarak bulunmuştur (Çizelge 3.7). Toprak altı damla sulama sistemine göre ise; su kullanım randımanı  $0.83-1.23 \text{ kg m}^{-3}$ , sulama suyu kullanım randımanı  $0.84-1.67 \text{ kg m}^{-3}$  olarak elde edilmiştir (Çizelge 3.8). Şimşek ve Gerçek (2005), sulama suyu kullanım randımanını  $1.43-1.22 \text{ kg m}^{-3}$ , su kullanım randımanını ise  $1.02-1.13 \text{ kg m}^{-3}$  olarak belirlemişlerdir

Çizelge 3.7. DSS'e göre su kullanım ve sulama suyu randımanları

Konular	I (mm)	ET (mm)	Verim (kg/da)	IWUE ( $\text{kg m}^{-3}$ )	WUE ( $\text{kg m}^{-3}$ )
I <sub>1</sub>	1264.5	1294.6	1055.2	0.83	0.82
I <sub>2</sub>	1053.8	1138.6	1151.5	1.09	1.01
I <sub>3</sub>	843	945.1	942.4	1.12	1.00
I <sub>4</sub>	632.3	787.1	864.2	1.37	1.10
I <sub>5</sub>	421.5	585.7	698.4	1.66	1.19

Çizelge 3.8. TADSS'e göre su ve sulama suyu kullanım randımanları

Konular	I (mm)	ET (mm)	Verim (kg da <sup>-1</sup> )	IWUE (kg m <sup>-3</sup> )	WUE (kg m <sup>-3</sup> )
I <sub>1</sub>	1264.5	1286.7	1065.4	0.84	0.83
I <sub>2</sub>	1053.8	1127.3	1157.5	1.10	1.03
I <sub>3</sub>	843	934.3	998.7	1.18	1.07
I <sub>4</sub>	632.3	772.2	883.8	1.40	1.14
I <sub>5</sub>	421.5	572.5	705.4	1.67	1.23

#### 4. Sonuç

Harran Ovası'nda damla ve toprak altı damla sulama sistemleriyle uygulanan farklı sulama düzeylerine göre yetiştirilen mısırın verimi belirlenmiş, sulama suyu ve bitki su tüketimine göre tane verim ve bin tane verim ilişkileri elde edilmiştir. Su kullanım ve sulama kullanım randımanı hesaplanmıştır. Çalışmada; DSS ve TADSS kullanılarak, 4 gün ara ile, açık su yüzeyi buharlaşmasına bağlı olarak her bir sistem için 5 farklı sulama suyu miktarı; I<sub>1</sub> (1.5), I<sub>2</sub> (1.25), I<sub>3</sub> (1.0), I<sub>4</sub> (0.75), I<sub>5</sub> (0.5) uygulanmıştır. Damla sulama sistemi ve TADSS uygulama konularına göre en yüksek verim I<sub>2</sub> konusundan elde edilmiştir. Her iki sulama sistemi için K<sub>cp</sub> katsayısı 1.25 olarak önerilmiştir. Damla sulama sistemi ile elde edilen verim miktarları 698.4 kg da<sup>-1</sup> ile 1151.5 kg da<sup>-1</sup> arasında, TADSS ile elde edilen verim miktarları ise 705.4 kg da<sup>-1</sup> ile 1157.5 kg da<sup>-1</sup> arasında elde edilmiştir. Her iki sistem arasında verim yönünden istatistiksel olarak bir farka rastlanmamıştır. Damla sulama sistemi ve TADSS ile uygulanan sulama suyu miktarları, konulara göre aynı olup 421.5 ile 1264.5 mm arasında değişiklik göstermiştir. Damla sulama sistemine göre ET değerleri; 585.7 ile 1294.6 mm arasında, TADSS'ye göre 572.5 ile 1286.7 mm arasındadır. Damla sulama sistemi konularında, TADSS konularına oranla daha yüksek bitki su tüketimi elde edilmiştir. Su kullanımı ve IWUE değerleri DSS için sırasıyla; 0.82-1.19 kg m<sup>-3</sup>, 0.83-1.66 kg m<sup>-3</sup> ve TADSS için; 0.83-1.23 kg m<sup>-3</sup>, 0.84-1.67 kg m<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır. En yüksek WUE ve IWUE değeri TADSS'nin I<sub>5</sub> konusunda elde edilirken, en düşük değerler DSS'de I<sub>1</sub> konusundan elde edilmiştir. Çalışmadaki bulgular doğrultusunda, mısır bitkisinin sulanmasında, her iki sulama sisteminin kullanılabilmesi yetiştiricilere önerilmektedir. Aynı zamanda, mısır bitkisi üzerine her iki sulama sistemi için belirlenen Class A-Pan katsayısı diğer araştırmacılara katkı sağlayacaktır.

#### Teşekkür

Çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü (HÜBAK) tarafından desteklenen bir tez çalışması olup 16018 No'lu proje kapsamında yürütülmüştür. Ekonomik desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

## **Kaynakça**

- Anonim, 2016. İklim Değerleri, Şanlıurfa Meteoroloji Bölge Müdürlüğü Şanlıurfa.
- Anonim, 2017. Mısır Tarımı. 7 Haziran 2017, [www.http.arastirma.tarim.gov.tr](http://www.http.arastirma.tarim.gov.tr)
- Anonim, 2019. Harran Ovası 06 Mayıs 2019, <https://earth.google.com/web/search/>
- Demirel K., 2012. Toprak Altına Serilen Su Tutma Bariyerlerinin (stb) Toprak Su İçeriği ve Çim Bitkisi Gelişimi Üzerine Etkileri. ÇOMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi. 109 s.
- Dinç U., Şenol S., Sayın M., Kapur S., Güzel N., Derici R., Yeşilsoy M. Ş., Yeğencil İ., Sarı M., Kaya Z., Aydın M., Kettaş F., Berkman A., Çolak A. K., Yılmaz K., Tunçgöğüs B., Çavuşgil V., Özberk H., Gülüt K. Y., Karaman C., Dinç O., Öztürk N., Kara E.E., 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları. (GAT): I. Harran Ovası. TÜBİDAK Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu GÜDÜMLÜ Araştırma Projesi Kesin Raporu. TOAG, Proje No: 534, Adana.
- Durmuş E., 2015. Bazı Mısır Çeşitlerinin Tarla Koşullarında Su Kullanım Etkinliklerinin Belirlenmesi ve İlişkili Fizyolojik Parametrelerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Howell T. A., Cuenca R. H., Solomon K. H., 1990. Crop Yield Response. Management of Farm Irrigation Systems. ASAE, 2p.
- James L.G., 1988, Principles of Farm Irrigation Systems Design. John Wiley and Sons. Inc. New York, 543s.
- Kanber R., 1984. Çukurova Koşullarında Açık Su Yüzeyi Buharlaşmasından Yararlanarak Birinci ve İkinci Ürün Yarfıstığının Sulanması Bölge Topraksu Arşt. Enst. Yay. 114 (64), Tarsus, 93.
- Kara S., 2011. Konya Ekolojik Koşullarında Damla Sulama Yöntemi ile Sulanan Mısır Bitkisinde Su-Verim İlişkileri. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kırnak H., Kaya C., Değirmenci V., 2002. Growth and Yield Parameters of Bell Peppers with Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems Under Different Irrigation Levels. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 33 (4): 383-389.

- Kırnak H., Gençoğlan C., Değirmenci V., 2003. Harran Ovası Koşullarında Kısıntılı Sulamanın II. Ürün Mısır Verimine ve Bitki Gelişimine Etkisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(2): 117-123.
- Okay D., Yazgan S., 2016. Farklı Su Uygulama Düzeylerinin Mısır Bitkisi Verimi Üzerine Etkisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(1): 1-1
- Öktem A., Öktem A.G., 2009. Bazı At dişi Hibrit Mısır (*Zea mays L. indentata*) Genotiplerinin Harran Ovası Koşullarında Performanslarının Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13(2): 49-58.
- Öktem A., Toprak A., 2013. Çukurova Koşullarında Bazı Atdişi Mısır (*Zea Mays L. indentata*) Genotiplerinin Verim ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 17(4): 15-24.
- Özcan G., 2010. Mısır Çeşitlerinin Kısıntılı Su Uygulamalarına Tepkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Şahin S., 2001. Türkiye’de Mısır Ekim Alanlarının Dağılışı ve Mısır Üretimi, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 21(1): 73-90.
- Şimşek M., 2015. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Yaz Stajı Ders Notları (basılmamış), Şanlıurfa.
- Şimşek M., Gerçek S., 2005. Yarı Kurak Koşullarda Damla Sulamada Farklı Sulama Aralıklarının Mısır Bitkisinin (*Zea mays L. indentata*) Su Verim İlişkilerine Etkisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(1): 77-82.
- Tanner O.B., Sinclair T.R., 1983. Efficient Water Use in Crop Production; Research Limitation to Efficient Water Use in Crop Production. ASA; CSSA, SSSA Pub., pp. 1-25, Madison, Wiskonsin.
- Tarı A.F., 2015. Deneme Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü. Yaz Stajı Ders Notları (basılmamış), Şanlıurfa.
- Yıldırım O., Kodal S., Selenay M.F., Yıldırım E., 1995. Kısıntılı Sulamanın Verime Etkisi, 5. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri Kitabı, Antalya, 347-365.

Yıldırım O., 2013. Sulama Sistemlerinin Tasarımı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, yayın no: 1594, Ders kitabı: 546, 367s, Ankara.

## Sıfır Değerlikli Mangan ve Ultrases ile Nitratın Kimyasal Denitrifikasyonu

Burcu İleri<sup>1\*</sup>, Özge Terzioğlu<sup>1</sup>, Yasemin Çiçi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

20.02.2019 Geliş/Received, 24.05.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Bu çalışmada, sıfır değerlikli mangan ( $Mn^0$ ) ve ultrases (US) prosesleri tekli ve birleşik (US/ $Mn^0$ ) kullanılarak, partikül dozu (0.5, 0.75, 1, 1.5 ve 2 g) ile reaksiyon süresinin (0-60 dk) nitrat ( $NO_3^-$ ) giderimine etkisi araştırılmıştır. Ultrases prosesi tek başına uygulandığında nitrat ( $NO_3^-$ ) giderimine etkisi az iken;  $Mn^0$  dozu arttıkça  $NO_3^-$  giderimi yükselmiştir. Birleşik US/ $Mn^0$  uygulamasında ise ultrases etkisiyle  $Mn^0$  partiküllerinin kimyasal denitrifikasyon kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir. Sadece  $Mn^0$  ile 60 dk sonunda %70 civarında  $NO_3^-$  giderimi gerçekleşirken, aynı deneysel şartlarda ultrasonik mekanik kuvvet etkisi ile 30 dk içerisinde %95 civarında bir  $NO_3^-$  giderimi elde edilmiştir. US/ $Mn^0$  ile nitratın indirgenmesi sonucu nitrit ( $NO_2^-$ ) ve amonyum ( $NH_4^+$ ) indirgenme bileşikleri az miktarda oluşurken, azot gazına ( $N_2$ ) dönüşüm oranının arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** kimyasal denitrifikasyon, nitrat, sıfır değerlikli mangan, ultrases

## Nitrate Chemical Denitrification with Zero-Valent Manganese and Ultrasound

### Abstract

In this study, the effect of particle dose (0.5, 0.75, 1, 1.5 and 2 g) and duration (0-60 min) using zero-valent manganese ( $Mn^0$ ) and ultrasound (US) processes alone and combined (US/ $Mn^0$ ) on nitrate ( $NO_3^-$ ) removal were investigated. When the ultrasound process was applied alone, there was little effect on removal of  $NO_3^-$ . Also, as the  $Mn^0$  dose increased the  $NO_3^-$  removal increased as well. It was determined that the effect of the combined US/ $Mn^0$  application increases the chemical denitrification capacity of  $Mn^0$  particles. With only  $Mn^0$  at the end of 60 min, only 70%  $NO_3^-$  removal occurred, while with the ultrasonic mechanical force effect in the same experimental conditions 95%  $NO_3^-$  removal was obtained within 30 min. The reduction of  $NO_3^-$  with US/ $Mn^0$  led to formation of small amounts of nitrite ( $NO_2^-$ ) and ammonium ( $NH_4^+$ ) reduction compounds, with an increase in transformation rate to nitrogen gas ( $N_2$ ) identified.

**Keywords:** chemical denitrification, nitrate, zero-valent manganese, ultrasound

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Burcu İleri

(e-posta: burcuileri@comu.edu.tr)

Bu makale TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 1919B011602884 numaralı projesi tarafından desteklenmiştir.

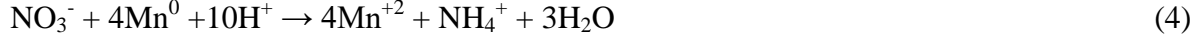
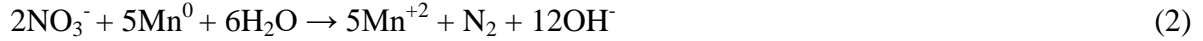


## 1. Giriş

Azotlu bileşikler katı atık sızıntı sularından, tarımsal faaliyetlerden, endüstriyel ve atıksu tesislerden yerüstü ve yeraltı sularına ulaşmaktadır. Özellikle azotlu gübre ve tarım ilaçlarından kaynaklı toksik kirleticiler içme ve sulama sularının kirlenmesinde önemli bir paya sahiptir (Agrawal ve ark., 1999; Almasri ve Kaluarachchi, 2004; Doğanlar, 2006; Polat ve ark., 2007; Almasri, 2007; Harter, 2009; Archana, 2012). Azotlu gübreler toprakta yeterli miktarda oksijenin bulunması durumunda amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) ve amonyak ( $\text{NH}_3$ ) kolayca nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) parçalanmaktadır (Almasri ve Kaluarachchi, 2004; Doğanlar, 2006; Almasri, 2007). Toprakta biriken  $\text{NO}_3^-$  yağış suları ile birlikte yüzey ve yeraltı sularına taşınmaktadır. Yeraltı suyundaki azotun genel formu  $\text{NO}_3^-$  olsa da, çözülmüş azot,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ve organik azot şeklinde de bulunmaktadır (Doğanlar, 2006; Polat ve ark., 2007; Almasri, 2007; Harter, 2009; Archana, 2012). İçme amaçlı kullanılan sularda  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu maksimum 50 mg/l değerinde olması gerekmektedir (İTASHK, 2005). İçme sularındaki  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonunun sınır değeri aşması durumunda 6 aylıktan küçük bebeklerde mavi bebek hastalığına sebep olmaktadır. İnsan sağlığını etkilediğinden içme suyu amaçlı kullanılacak olan yüzeysel ve yeraltı suyundan nitratin giderimi önemlidir.  $\text{NO}_3^-$  gideriminde, biyolojik nitrifikasyon, distilasyon, kimyasal indirgeme, iyon değişimi, elektrodializ ve ters osmoz gibi yöntemler kullanılmaktadır (Keeney ve Olson, 1986; Kapoor ve Viraraghavan, 1997; Mahamuni ve Adewuyi, 2009; Oğuz, 2015). Son zamanlarda  $\text{NO}_3^-$  indirgemesinde dikkat çeken proseslerden birisi de kimyasal denitrifikasyondur. Kimyasal denitrifikasyon yöntemi ile sıfır değerlikli demir ( $\text{Fe}^0$ ), sıfır değerlikli alüminyum ( $\text{Al}^0$ ), sıfır değerlikli magnezyum ( $\text{Mg}^0$ ), sıfır değerlikli çinko ( $\text{Zn}^0$ ), sıfır değerlikli mangan ( $\text{Mn}^0$ ) gibi elementler kullanılarak,  $\text{NO}_3^-$  bileşiği  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  veya  $\text{N}_2$  gazına indirgenmekte, sıfır değerlikli metal partikülleri ( $\text{M}^0$ ) +2 veya daha yukarı değerlikli katyonlara yükseltgenmektedir (Hu ve ark., 2001; Luk ve Au-Yeung, 2002; Choe ve ark., 2004; Kumar ve Chakraborty, 2006; Patel ve Suresh, 2006; Bokare ve Cho, 2008; Hwang ve ark., 2011; Ramavandi ve ark., 2011; Crane ve Scott, 2012; Suziki ve ark., 2012; İleri ve ark., 2015a; İleri ve ark., 2015b; Fargas, 2017; Chiu ve ark., 2019).  $\text{NO}_3^-$  indirgemesinde suyun pH değeri ve sıfır değerlikli metal partiküllerinin elektrokimyasal potansiyelinin ( $E^0$ ) etkili olduğu çalışmalarda vurgulanmıştır. Suziki ve ark. (2012) ile Hwang ve ark. (2011) tarafından nitratin indirgemesinde  $\text{Fe}^0$  partikülü kullanılmış ve  $\text{NO}_3^-$  giderim veriminin alkali şartlarda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sıfır değerlikli magnezyum ( $\text{Mg}^0$ ) ile yapılan çalışmada ise, pH değeri asidik şartlarda sabit tutulduğunda magnezyum yüzey aktivitesi arttığından  $\text{NO}_3^-$  gideriminin arttığı ve nötr pH şartlarında ise partikül yüzeyi oksitlendiğinden  $\text{NO}_3^-$  indirgenme potansiyelinin azaldığı rapor edilmiştir (Kumar ve Chakraborty, 2006; İleri ve ark., 2015a; İleri ve ark., 2015b).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde nitratin indirgemesinde  $\text{Fe}^0$  kullanımının oldukça fazla olduğu görülmektedir (Zhang ve ark., 2010; Hwang ve ark., 2011; Suziki ve ark., 2012).  $\text{Fe}^0$  metali reaksiyon sonunda  $\text{Fe}^{+2}$  olarak çökelediğinden suda renk oluşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple nitratin indirgemesinde yüzey elektrokimyasal potansiyeli ( $E^0$ ) yüksek olan diğer sıfır değerlikli metallerin kullanımı da yaygınlaştırılmamıştır. Sıfır değerlikli alüminyum ( $E^0 = 1.66$  V) ve magnezyum ( $E^0 = 2.37$  V) metalinden sonra sıfır değerlikli mangan ( $\text{Mn}^0$ ) ( $E^0 = 1.18$  V) en yüksek  $E^0$  sahip metal partiküldür (Zhu ve Getting, 2012; Dada ve ark., 2017).  $\text{Mn}^0$  ile nitratin indirgemesi konusunda literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmasına rağmen, yürütülen çalışmalar çoğunlukla arsenik, bakır gibi metallerin giderimi üzerindedir (Dada ve ark., 2017; Panda ve ark., 2019). Sıfır değerlikli manganın elektrokimyasal potansiyeli  $\text{Fe}^0$ 'a ( $E^0 = 0.44$  V) göre daha yüksek olduğundan nitratin kimyasal denitrifikasyon işlemi daha hızlı gerçekleşmektedir. Azot oksitlerin kimyasal denitrifikasyonu için  $\text{Mn}^0$  indirgeyicisi  $\text{Mn}^{+2}$ 'ye

yükseltgenmekte ve  $N_2$  (Eşitlik 2),  $NO_2^-$  (Eşitlik 3) veya  $NH_4^+$  (Eşitlik 4) gibi kimyasal denitrifikasyon ürünleri oluşmaktadır.



Nitratın indirgemesi sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar partikül yüzeyinde adsorpsiyon, indirgenme veya desorpsiyon mekanizmaları ile sağlanmaktadır. Reaksiyon sonucunda partikül yüzeyi oksit bir tabaka ile kaplanarak indirgeme kapasitesi azalmaktadır. Kimyasal indirgeme kapasitesini yükseltmek ve partikül yüzey aktivasyonunu sağlamak amacıyla son zamanlarda ultrases prosesi tercih edilmektedir. Ultrases kavitasyon prensibine göre su içinde oluşan kabarcıkların yüksek sıcaklık ve basınç altında patlaması sonucu fiziksel ve kimyasal etkisi ile oluşan  $\cdot H$ ,  $\cdot OH$  ve  $\cdot OH_2$  radikaller sayesinde partikül yüzey aktivasyonu sağlanmaktadır (Eşitlik 5-7) (Adewuyi, 2001; Mason ve Peters, 2001; Mason ve Peters, 2002; Morais ve ark., 2002; Geiger ve ark., 2002; Liang ve ark., 2008).



Su içinde ne kadar fazla radikal üretim gerçekleşirse partikül yüzeyi o kadar fazla aktive edilerek daha fazla yüzey alanı elde edilmektedir. Azot oksitlerin reaksiyon sonunda oluşturduğu pasif film, partikül yüzey aktivitesini azaltarak adsorpsiyon kapasitesinin yavaşlamasına sebep olmaktadır. Farklı frekanslarda çalışan ultrases prosesi sayesinde partikül yüzeyi aktive edilmekte ve arıtma veriminin artması sağlanmaktadır (Mason ve Peters, 2001; İleri ve ark., 2015a). Ultrases destekli yürütülen çalışmalarda daha çok  $Fe^0$ ,  $Al^0$ ,  $Mg^0$  partikülleri kullanılarak  $NO_3^-$  giderimi çalışılmıştır.  $NO_3^-$  indirgemesinde birleşik US/ $Fe^0$  ve US/ $Mg^0$  ile yapılan çalışmalarda, ultrases prosesinin oksit filmin önlenmesi veya yıkımında yardımcı olduğu vurgulanmıştır (Morais ve ark., 2002; Liang ve ark., 2008; Tsai ve ark., 2009; İleri ve ark., 2015a). İleri ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, nitratın kimyasal denitrifikasyonunda birleşik US/ $Mg^0$  prosesi denenmiş ve ultrases mekanik kuvvet etkisi ile  $Mg^0$  partikül yüzey alanı arttığından  $NO_3^-$  gideriminde  $Mg^0$  doz ve reaksiyon süresinin yarıya indirildiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, nitratın indirgenmesinde sıfır değerlikli mangan ( $Mn^0$ ) partikülü ve ultrases prosesinin (US) tekli ve birleşik (US/ $Mn^0$ ) uygulamaları kullanılmış ve partikül dozu ile reaksiyon süresi dikkate alınarak deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Optimum işletim şartlarında nitrat içeriği yüksek yeraltı suyundan nitratın indirgenmesinde  $Mn^0$  ve US/ $Mn^0$  proseslerinin etkisi araştırılmıştır. Ultrases etkisiyle  $Mn^0$  yüzeyinde oluşan kimyasal değişiklikler taramalı elektron mikroskobu (SEM/EDS), X-ışını kırınımı (XRD) ve partikül boyut analizleri ile tespit edilmiştir. Ultrases destekli  $Mn^0$  partikülü kullanılarak nitratın arıtımı üzerine çalışmalar literatürde sınırlı olduğundan, bu çalışma ile elde edilen sonuçların, bundan sonra yapılacak diğer bilimsel çalışmalar için bir referans olması hedeflenmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, kesikli reaktör sisteminde  $Mn^0$  partikülü ile US prosesi kullanılarak nitratın indirgemesi kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir. Sentetik nitrat çözeltisi potasyum nitrat ( $KNO_3$ ) (Merck) kimyasalı kullanılarak hazırlanmıştır. Nitrat içerikli çözeltiler (50 mg  $NO_3^-$ -N/l) öncelikle sadece  $Mn^0$  ile arıtma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra 40 kHz frekanslı ultrases cihazı ile birleşik US/ $Mn^0$  prosesi uygulanarak nitratın indirgenmesine olan etkisi araştırılmış ve oluşan kimyasal denitrifikasyon ürünleri ( $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$  veya  $N_2$ ) detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. pH değerini nötr seviyede tutmak amacıyla 3-(N-morpholino) propansulfonik asit (MOPs) kimyasalı kullanılmıştır.

### 2.1. Yeraltı Suyu Örneğinin Karakterizasyonu

Yeraltı suyu örneği Çanakkale İli'nde tarımsal faaliyetin yoğun olduğu Biga ovasından temin edilmiştir. 15 m derinlikte olan sondaj kuyusundan alınan yeraltı suyu örneğinin karakterizasyonu Çizelge 2.1' de verilmiştir. Nitrat azotu ( $NO_3^-$ -N) ve demir ( $Fe^{+2}$ ) konsantrasyonu Hach Lange DR5000 model UV-VIS spektrofotometre cihazı yardımıyla ölçülmüştür. pH değeri WTW marka pH probu ile, bulanıklık değeri ise Hach Lange model cihaz yardımıyla ölçülmüştür. Toplam sertlik, klorür, sülfat ve alkalinite analizleri standart metoda göre belirlenmiştir (APHA, 2005).

Çizelge 2.1. Yeraltı suyu karakterizasyonu

Parametre	Birimi	Konsantrasyon (mg/l)
pH	-	7.54
Bulanıklık	NTU	1
Nitrat azotu ( $NO_3^-$ -N)	mg/l	42
Toplam Sertlik	mg/l	280
Klorür ( $Cl^-$ )	mg/l	75
Sülfat ( $SO_4^{2-}$ )	mg/l	220
Alkalinite ( $HCO_3^-$ )	mg/l	55
Demir ( $Fe^{+2}$ )	mg/l	0.6

### 2.2. Sıfır Değerlikli Mangan ( $Mn^0$ ) İle Nitratın Kimyasal Denitrifikasyonu

Deneyler kesikli reaktör düzeneğinde sabit hacim (200 ml) ve sıcaklıkta (20 °C) gerçekleştirilmiştir. Analitik saflığı %99 (Sigma) ve yoğunluğu  $7.21 \text{ g/cm}^3$  olan sıfır değerlikli mangan ( $Mn^0$ ) partikülü kullanılmıştır.  $Mn^0$  partikülünün oksitlenmesini önlemek için sudaki çözülmüş oksijen değeri argon gazıyla kontrol edilmiştir. Deneyden önce çözeltilere 1 l/dk akış hızında argon gazı verilerek oksijen değeri minimum seviyeye düşürülmüştür. Deneyde sentetik nitrat çözeltisi ile yeraltı suyu örnekleri kullanılmış ve  $Mn^0$  dozu 0.5, 0.75, 1, 1.5 ve 2 g olarak seçilmiştir. Örnekler orbital çalkalayıcı (BioSan) yardımıyla homojen karışımları sağlanmıştır. Bir saat süresince 10'ar dakika aralıklarla reaktörden örnek çekilmiş ve  $0.45 \mu\text{m}$  çapında filtreden süzölmüştür. Filtre edilen örnek için nitrat azotu ( $NO_3^-$ -N), nitrit azotu ( $NO_2^-$ -N) ve amonyum azotu ( $NH_4^+$ -N) konsantrasyonları analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre optimum partikül doz ve reaksiyon süresi tespit edilmiştir.

### 2.3. Birleşik US/Mn<sup>0</sup> Prosesi İle Nitratın Kimyasal Denitrifikasyonu

Birleşik ultrases ve sıfır değerlikli mangan (Mn<sup>0</sup>/US) ile yapılan deneylerde 150 W gücünde ve 40 kHz frekansında ultrasonik banyo (Isolab) cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.1). Birleşik US/Mn<sup>0</sup> ile partikül yüzey alanının artırılması ve çap aralığının azaltılması amaçlanmıştır. Ultrases uygulamalarından kaynaklanan ısı artışlarını dengelemek için sıcaklık sürekli kontrol edilmiştir. Ultrasonik banyo ile yürütülen deneylerde cihazın birim hacim başına suya geçen güç yoğunluğunu (W/ml) belirlemek amacıyla kalorimetrik test kullanılmıştır (İleri, 2016). Belli zaman aralıklarında suyun sıcaklık değeri ölçülmüş ve eşitlik 8 kullanılarak güç değeri 35 W/ml olarak hesaplanmıştır.

$$P_{cal} = \frac{\Delta T}{\Delta t} C_p * M_w \quad (8)$$

Eşitlikte;

C<sub>p</sub>: Suyun ısı kapasitesi, C<sub>p</sub> = 4.2 J/g\*K

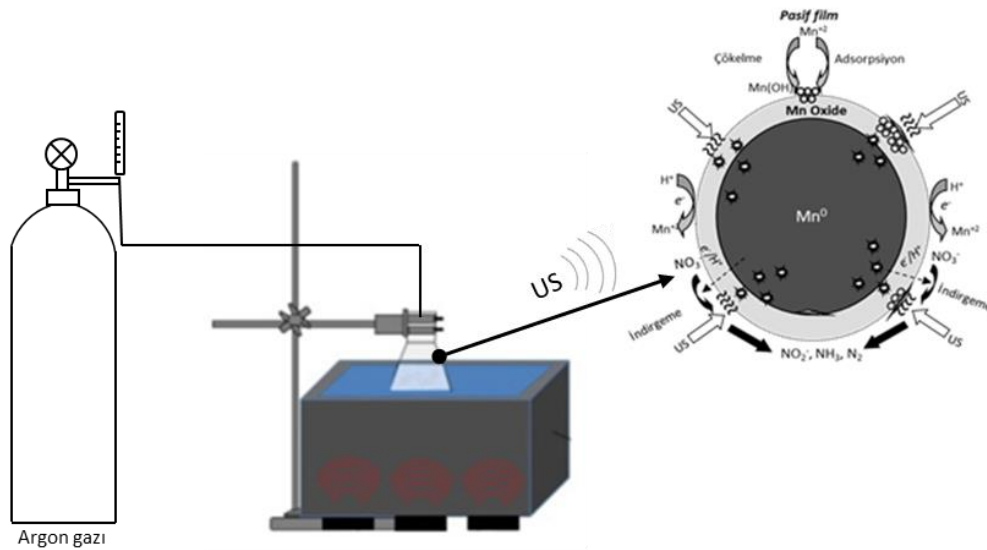
M<sub>w</sub>: Reaktördeki su kütlesi [g]

ΔT: Herhangi bir i anındaki sıcaklık ile j anındaki sıcaklık farkı

Δt: Herhangi bir i anı ile j anı arasındaki süre farkı

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \text{Grafik eğimi}$$

Deneyde sentetik nitrat çözeltisi ve yeraltı suyu örneği kullanılmıştır. Mn<sup>0</sup> partikülünün oksitlenmesini önlemek amacıyla suya argon gazı verilmiştir. Birleşik US/Mn<sup>0</sup> prosesi için 0.5, 0.75, 1, 1.5 ve 2 g Mn<sup>0</sup> dozları seçilmiştir. Deney süresince 10'ar dakika aralıklarla reaktörden örnek alınmış ve 0.45 μm çapındaki filtreden süzölmüştür. Filtre edilen örnek için NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N ve NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N konsantrasyonları analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre optimum partikül doz ve reaksiyon süresi tespit edilmiştir.



Şekil 2.1. US/Mn<sup>0</sup> prosesi ile nitrat indirgeme deney düzeneği

## 2.4. Analitik Prosedür

$\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N ve  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonları standart metoda göre test edilmiş (APHA, 2005) ve Hach Lange DR5000 model UV-VIS spektrofotometre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Hazırlanan kalibrasyon eğrisine göre absorbans değerlerine karşılık gelen azot türünün çözeltide kalan konsantrasyonları hesaplanmıştır. Azot gazı ( $\text{N}_2$ ) konsantrasyonu ise aşağıda gösterildiği gibi toplam azot kütlesi dengesinden hesaplanmıştır (İleri ve ark., 2015b):

$$\text{N}_{2(t)} = \text{NO}_3\text{-N}_{(0)} - [\text{NO}_3\text{-N}_{(t)} + \text{NO}_2\text{-N}_{(t)} + \text{NH}_4\text{-N}_{(t)}] \quad (9)$$

$\text{N}_{2(t)}$ : Her hangi bir  $t$  anında oluşan azot gazı konsantrasyonu (mg/l)

$\text{NO}_3\text{-N}_{(0)}$ : Başlangıçta ( $t = 0$ ) sudaki nitrat-azotu konsantrasyonu (mg/l)

$\text{NO}_3\text{-N}_{(t)}$ : Her hangi bir  $t$  anında kalan nitrat-azotu konsantrasyonu (mg/l)

$\text{NO}_2\text{-N}_{(t)}$ : Herhangi bir  $t$  anında oluşan nitrit-azotu konsantrasyonu (mg/l)

$\text{NH}_4\text{-N}_{(t)}$ : Her hangi bir  $t$  anında oluşan amonyum-azotu konsantrasyonu (mg/l)

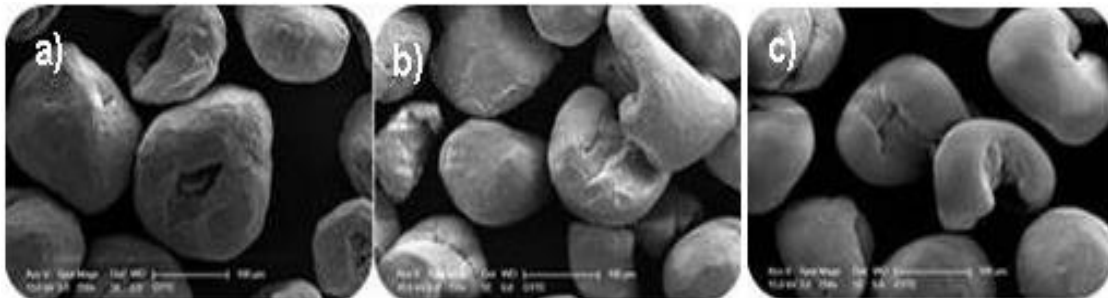
## 2.5. Sıfır Değerlikli Mangan ( $\text{Mn}^0$ ) Partikülünün Yüzey Analizi

$\text{Mn}^0$  ve  $\text{US/Mn}^0$  arıtma işlemleri sonucunda partikül yüzey özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin tespiti ve nitrat kimyasal denitrifikasyon hızına etkisinin belirlenmesi için fiziksel, kimyasal ve morfolojik analizleri yapılmıştır. Reaksiyon sonunda örnekler filtre edilmiş ve  $\text{Mn}^0$  partikülü 60-80 °C' de vakumlu etüvde (Nüve) 1 gün boyunca kurutulmuştur.  $\text{Mn}^0$  partikül boyutunun tespiti Malvern Mastersizer marka 2000 Hydro model cihaz ile, morfolojik içeriği SEM (JEOL SEM-7100) analizi ile tespit edilmiştir. Mineralojik bileşimi X-Ray difraction (XRD) (PANalytical Empyrean) kırınım yasasına göre 5-70° dalga boyu aralığında 3° dk<sup>-1</sup> tarama hızında okuma yapılarak belirlenmiştir.

## 3. Bulgular

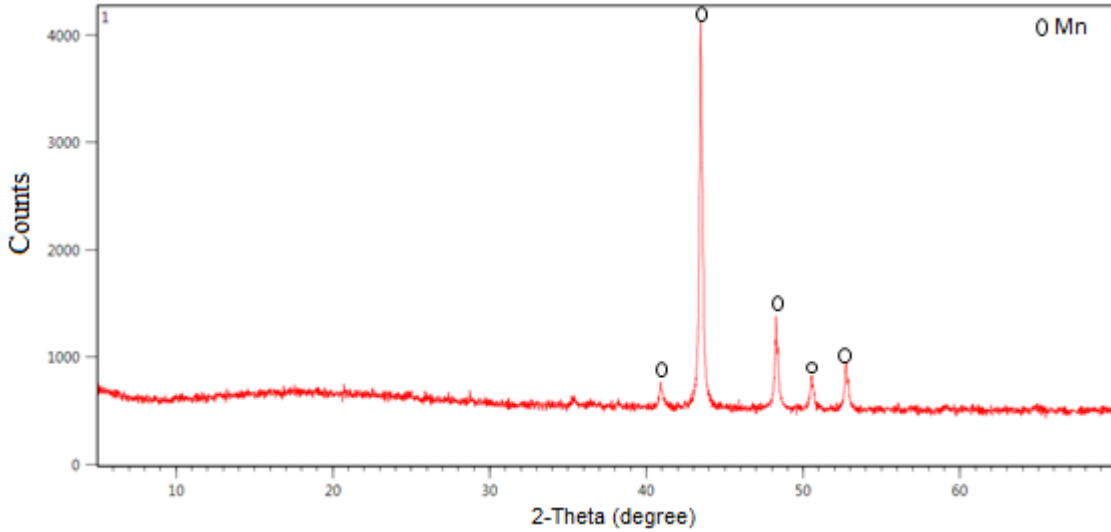
### 3.1. Sıfır Değerlikli Mangan ( $\text{Mn}^0$ ) Partikül Karakterizasyonu

Sıfır değerlikli manganın  $d_{10}$ ,  $d_{50}$  ve  $d_{90}$  partikül çap aralığı sırasıyla 4.96, 14.1 ve 54.7 µm olduğu belirlenmiştir. SEM görüntüsüne göre, kullanılan  $\text{Mn}^0$  partikülünün homojen olmayan ve açık gri görünümde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.1a). Yalnız  $\text{Mn}^0$  partikülü ile yapılan karıştırma deneyi sonunda partikül morfolojisinin fazla etkilenmediği görülmüştür (Şekil 3.1b). Birleşik  $\text{US/Mn}^0$  uygulaması sonucu partiküllere ait SEM görüntüsü incelendiğinde  $\text{US}$  uygulamasına maruz bırakılmış  $\text{Mn}^0$  partiküllerin hem şekilsel hem de boyut olarak değişikliğe uğradıkları görülmektedir (Şekil 3.1c).



Şekil 3.1. Sıfır değerlikli mangan partikülünün SEM görüntüsü (a)  $\text{Mn}^0$ ; b)  $\text{Mn}^0/0$  kHz; c)  $\text{Mn}^0/40$  kHz)

XRD analizi kırınım yasasına göre,  $Mn^0$  partikülünün faz yapısında  $Mn$ ,  $Mn(OH)_2$  ve  $Mn_2O_3$  bileşiklerine karşılık gelen pik şiddeti değerleri ölçülmüştür. Okunan her pik değerleri belli açılara karşılık gelen bileşiğe denk gelmektedir. Şekil 3.2’de verilen XRD grafiğinden, tüm piklerin mangan bileşiğine ait olduğu belirlenmiştir.



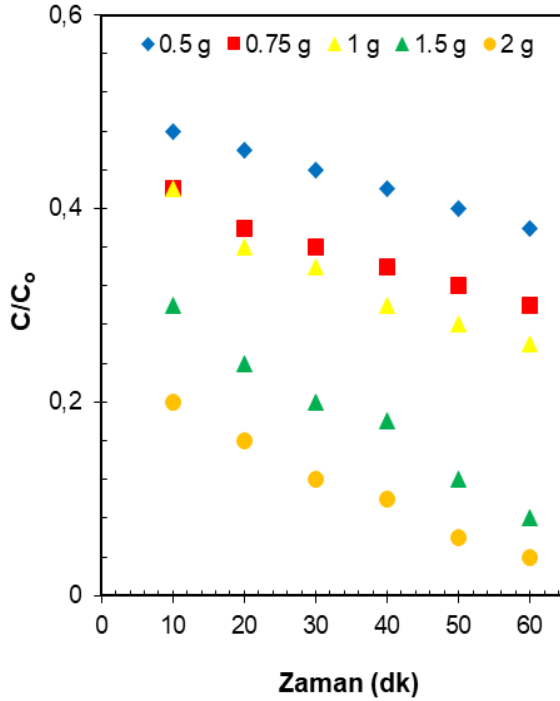
Şekil 3.2. Sıfır değerlikli mangan partikülünün XRD analizi

### 3.2. Sıfır Değerlikli Mangan ( $Mn^0$ ) İle Nitratın Kimyasal Denitrifikasyonu

Nitratın indirgenmesinde hem partikül dozu hem de reaksiyon süresi önemli bir parametredir. Yüksek dozda toplam partikül yüzey alanı daha fazla olduğundan nitratın indirgenmesi de daha hızlı gerçekleşmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 0.5 g  $Mn^0$  dozunun  $NO_3^-$ -N giderimine etkisi fazla gözlenmezken, 0.75 g ve 1 g  $Mn^0$  doz uygulamasında süre arttıkça  $NO_3^-$ -N giderimi artmış ve bu iki dozun nitrat indirgeme etkisi benzerlik göstermiştir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik kriterlerine göre  $NO_3^-$ -N değerinin maksimum 10 mg/l olmasına müsaade edilmektedir. Sıfır onda beş, 0.75 ve 1 g  $Mn^0$  dozu kullanıldığında reaksiyon sonunda müsaade edilen sınır değer sağlanamamıştır. Doz 1.5 g’a çıkarıldığında nitratın indirgemesi hızlanmış ve reaksiyon sonuna kadar  $NO_3^-$ -N konsantrasyonu azalmıştır. Bir onda beş g dozda 40.dk’ da  $NO_3^-$ -N konsantrasyonu sınır değer altına düşerken; 2 g dozda ise 20. dk’ da benzer sonuç elde edilmiştir (Şekil 3.3). Bu sonuçlardan da görüleceği üzere, nitratın kimyasal denitrifikasyonu  $Mn^0$  dozunun artmasıyla birlikte ciddi oranda artmaktadır. Örneğin dozun 0.5 g’dan 2 g’a artırılması sonucunda toplam partikül yüzey alanı 4 katına çıktığından daha fazla reaktif yüzey alanı olması sebebiyle nitrat giderimi de daha yüksek elde edilmiştir.

Sıfır değerlikli metalik partiküller ile kirlenici maddelerin arıtımı doğrudan veya dolaylı olarak partikül yüzeyinde gerçekleşmektedir. Partikül dozu arttıkça toplam aktif yüzey alanı artmakta ve buna bağlı olarak da daha fazla miktarda kirlenici maddenin indirgenmesinin olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur (Choe ve ark., 2004; Suziki ve ark., 2012; İleri ve ark., 2015a). Bu tür uygulamalarda doz miktarındaki artışa bağlı olarak verimin iyileştirilmesi ancak belli bir doz değerine kadar etkili olabilmektedir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne göre belirlenen sınır değer sağlandığı doz miktarı aynı zamanda optimum doz olarak ifade edilmektedir. Partikül dozunun artmasıyla birlikte nitrat giderimi de artmış, 2 g doz uygulamasında  $NO_3^-$ -N değeri sınır değer olan 10 mg/l altına düşürülmüştür. Bu

sonuçlara göre yalnız  $Mn^0$  partikülleri ile yürütülen deneyler için reaksiyon süresinin kısa olması da göz önüne alındığında optimum  $Mn^0$  dozu 2 g olarak belirlenmiştir.

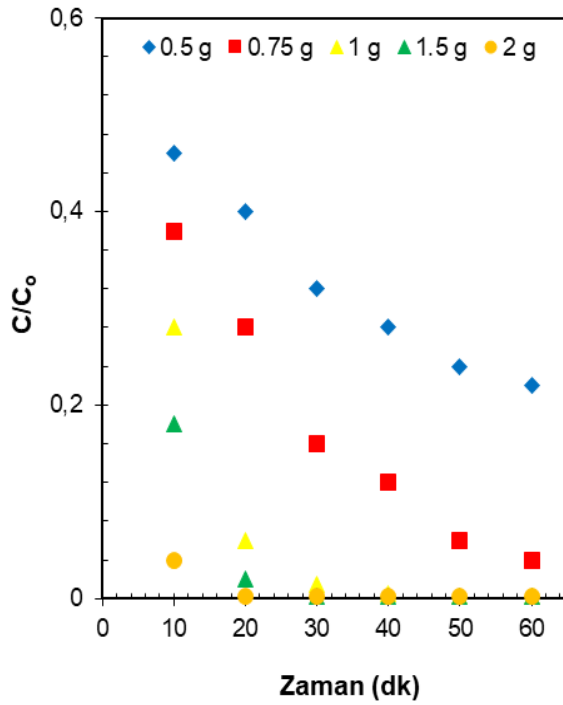


Şekil 3.3. Farklı dozlarda  $Mn^0$  ile nitratın kimyasal denitrifikasyonu (MOPs= 1 g;  $C_0$ = 50 mg  $NO_3^-$ -N/l)

### 3.3. Birleşik Ultrases Ve Sıfır Değerlikli Mangan ( $Mn^0$ ) İle Nitratın Kimyasal Denitrifikasyonu

Sıfır değerlikli mangan partikülleri ( $Mn^0$ ) 40 kHz frekanslı US ile aktive edilerek  $NO_3^-$ -N gideriminin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Nitratın birleşik US/ $Mn^0$  ile gideriminde partikül dozu ve reaksiyon süresinin etkileri ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Farklı dozlarda  $Mn^0$  partikülleri ilave edilen  $NO_3^-$ -N çözeltileri ultrasonik ortamda arıtılmış ve nitratın zamana bağlı giderimi Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Ultrasonik ortamda 0.5, 0.75, 1, 1.5 ve 2 g  $Mn^0$  partikülleri içeren çözeltilerin 60 dk süre sonucunda  $NO_3^-$ -N giderim oranları sırasıyla %78, %96, %100, %100 ve %100 olarak belirlenmiştir. Ultrases kaviteasyon etkisinin giderimin artmasında oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Ultrasesin meydana getirdiği kaviteasyon ve mekanik kuvvet etkisi ile  $Mn^0$  partikülleri yüzeyinin hızla aktive olması sağlanmakta ve böylece daha fazla nitrat giderimi sağlanmaktadır. Sıfır onda beş g  $Mn^0$  dozunda sınır değer sağlanamazken; 0.75 g  $Mn^0$  dozu için 30. dk' da  $NO_3^-$ -N değeri 10 mg/l' nin altına azalmıştır. Bir, 1.5 ve 2 g  $Mn^0$  dozu kullanıldığında ise ilk 10 dk sonunda sınır değer elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, birleşik US/ $Mn^0$  uygulamasında reaksiyon süresinin kısa olması istendiğinden optimum  $Mn^0$  dozu 1 g olarak seçilmiştir. Yalnız  $Mn^0$  partikülleri kullanıldığında 2 g dozda elde edilen sonuç, birleşik US/ $Mn^0$  prosesi ile 1 g  $Mn^0$  dozunda elde edilmiştir. Böylece ultrases kullanıldığında daha kısa sürede ve düşük dozda nitrat giderimi sağlanmıştır. Benzer sonuç İleri ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada ortaya konmuş ve nitrat denitrifikasyonunda birleşik US/ $Mg^0$  prosesi denenmiş ve ultrases mekanik kuvvet etkisinin partikül yüzey alanını arttırdığından nitrat gideriminde doz ve sürenin yarıya indirildiği tespit edilmiştir.

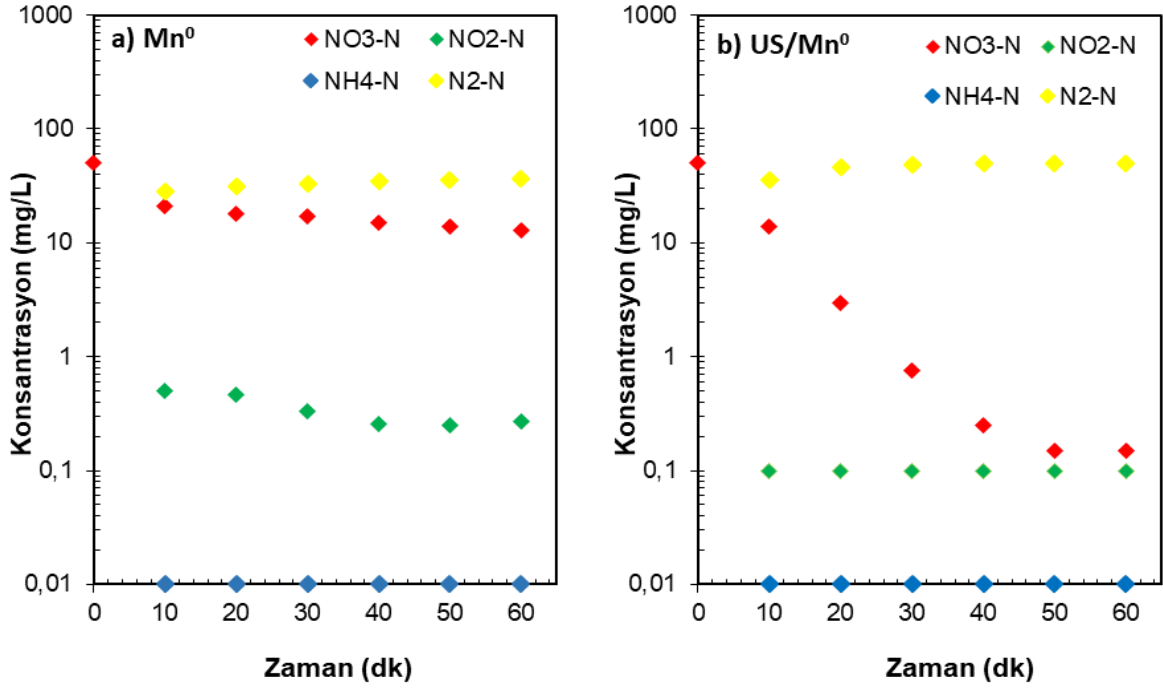




Şekil 3.4. Ultrasonik ortamda farklı dozlarda  $Mn^0$  ile nitratın kimyasal denitrifikasyonu (US = 40 kHz; MOPs = 1 g;  $C_0 = 50 \text{ mg NO}_3^- \text{-N/l}$ )

### 3.4. Nitratın Kimyasal Denitrifikasyonu Sonucunda Oluşan Azot Bileşikleri

Eşitlik 2–4' e göre nitratın kimyasal denitrifikasyonu sırasında  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$  ve  $N_2$  gibi yan ürünler açığa çıkmaktadır. Reaksiyon sırasında  $NO_2^-$  ve  $NH_4^+$  oluşabilmesi için proton ( $H^+$ ) ihtiyacı olmaktadır. Özellikle  $NH_4^+$  bileşiğine indirgenebilmesi için 10  $H^+$  protonuna ihtiyaç olduğu eşitlik 4'te görülmektedir. Bu sebeple reaksiyon alkali şartlarda gerçekleştiğinden nitratın  $N_2$  gazına indirgenmesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yalnız  $Mn^0$  partikülü ve birleşik US/ $Mn^0$  prosesi uygulamaları ile nitratın indirgemesi sonucunda oluşan azot formlarının ( $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$  ve  $N_2$ ) zamana bağlı konsantrasyon değerleri Şekil 3.5 a,b' de sunulmuştur. Azot bileşiği olarak  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$  ve  $NH_4^+$  konsantrasyonları analitik yöntemlerle,  $N_2$  konsantrasyonu ise toplam azot kütle dengesinden hesaplanmıştır (Eşitlik 9). Analiz sonuçlarına göre,  $Mn^0$  tek başına kullanıldığında %74 civarında  $NO_3^- \text{-N}$  giderimi elde edilmiştir. Bir g  $Mn^0$  partikülü tek başına uygulandığında 60 dk reaksiyon sonunda  $NO_3^- \text{-N}$  konsantrasyonu 50 mg/l'den 13 mg/l'ye ve giderilen nitratın 0.27 mg/l'si  $NO_2^- \text{-N}$ , 36.73 mg/l'si  $N_2$  olarak kaydedilmiştir.  $NH_4^+ \text{-N}$  oluşumu ise 0.1 mg/l'nin altında ölçülmüştür (Şekil 3.5a). Birleşik US/ $Mn^0$  uygulaması sonucunda %99 civarında  $NO_3^- \text{-N}$  giderimi elde edilmiş ve giderilen nitratın 0.33 mg/l'si  $NO_2^- \text{-N}$ , 49.57 mg/l'si  $N_2$  ve çok az miktarda  $NH_4^+ \text{-N}$  olarak ölçülmüştür (Şekil 3.5b). Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, ultrasonik etki ile birlikte  $NO_3^-$  kimyasal denitrifikasyon hızının arttığı ve denitrifikasyon ürünü olarak daha fazla  $N_2$  gazı oluşumu sağlanmıştır. Bu durum birleşik ultrases ve sıfır değerlikli mangan (US/ $Mn^0$ ) uygulamalarında daha net bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.5b). Nitratın kimyasal denitrifikasyonu sonucu azot gazına indirgendiği yapılan diğer çalışmalarda da ortaya konmuştur (Liang ve ark., 2008; İleri ve ark., 2015;)



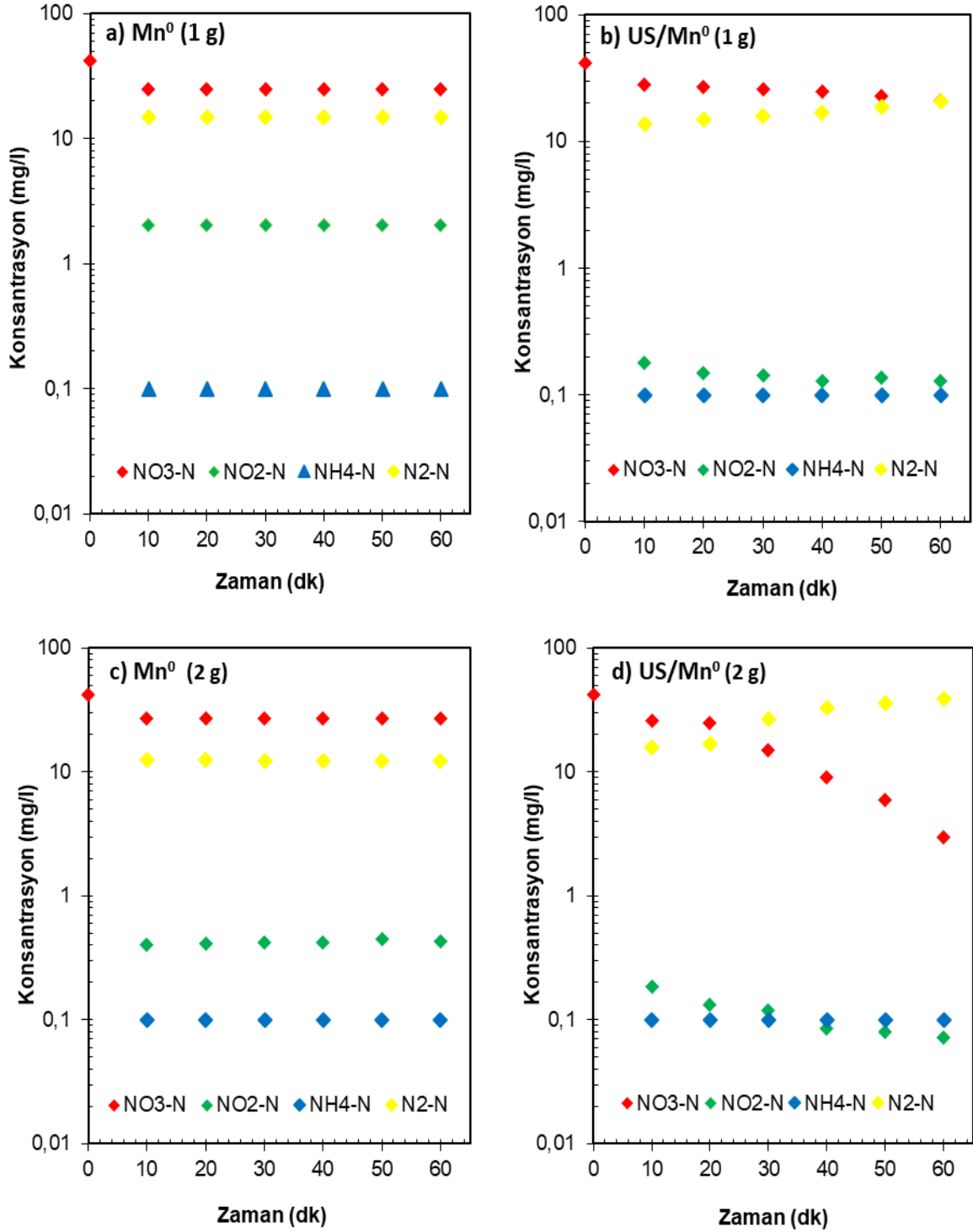
Şekil 3.5.  $Mn^0$  ve  $US/Mn^0$  ile nitrat indirgemesinin azotlu bileşik oluşumuna etkisi ( $Mn^0$  dozu = 1 g; MOPs = 1 g;  $C_0 = 50 \text{ mg NO}_3^- \text{-N/l}$ )

### 3.5. Ultrasonik Ortamda Sıfır Değerlikli Mangan İle Yeraltı Suyundan Nitrat Giderimi

Sentetik nitrat çözeltilerinde  $NO_3^- \text{-N}$  indirgemesi uygulandıktan sonra,  $Mn^0$  ve  $US/Mn^0$  prosesleri nitrat içeriği yüksek bir yeraltı suyunun arıtılmasında test edilmiştir. Bir ve 2 g  $Mn^0$  dozunda yeraltı suyunda bulunan nitratin giderimi amacıyla yalnız  $Mn^0$  ve birleşik  $US/Mn^0$  uygulanarak arıtma proseslerinin etkisi karşılaştırılmıştır. İndirgeme sonucunda zamana bağlı kalan azot cinsinden nitrat ve oluşan nitrit, amonyum ve azot gazı miktarları Şekil 3.6a-d’de sunulmuştur.  $Mn^0$  dozu 1 g uygulandığında, yeraltı suyunda yaklaşık %40 civarında  $NO_3^- \text{-N}$  giderimi sağlanmış ve buna karşılık 2 mg/l  $NO_2^- \text{-N}$ , 15 mg/l  $N_2$  ve çok az miktarda ( $< 0.1 \text{ mg/l}$ ) ise  $NH_4^+ \text{-N}$  oluşmuştur (Şekil 3.6a). Doz 2 katına çıkarıldığında  $Mn^0$  partikülleri içeren yeraltı suyunda 60 dk süre sonunda yaklaşık %41 civarında  $NO_3^- \text{-N}$  kimyasal denitrifikasyonu sağlanmış ve bu giderime karşılık ortalama 2.7 mg/l  $NO_2^- \text{-N}$ , 12.3 mg/l  $N_2$  ve çok az miktarda ( $< 0.1 \text{ mg/l}$ ) ise  $NH_4^+ \text{-N}$  oluşmuştur (Şekil 3.6c). Yeraltı suyu örneği doğal bir örnek olduğundan içeriğinde yüksek miktarda kation ve anyonlar bulunmaktadır. Bu sebeple partikül yüzeyi hızla diğer iyonlar tarafından kaplanmakta ve yüzey aktivasyonu ile kimyasal denitrifikasyon verimi azalmaktadır.

Birleşik yapılan deneyde ( $US/Mn^0$ ) 1 g  $Mn^0$  partikülü kullanıldığında 60 dk süre sonunda yaklaşık %50 civarında nitrat giderimi sağlanmış ve 0.4 mg/l  $NO_2^- \text{-N}$ , 20.5 mg/l  $N_2$  ve çok az miktarda ( $< 0.1 \text{ mg/l}$ ) ise  $NH_4^+ \text{-N}$  oluşmuştur (Şekil 3.6b). İki g  $Mn^0$  dozunda yapılan deneyde ultrases uygulamasıyla birlikte nitrat kimyasal denitrifikasyonunun ciddi ölçüde arttığı belirlenmiştir. Nitrat giderimi %93 seviyesine çıkmış ve arıtma sonucunda 0.02 mg/l  $NO_2^- \text{-N}$ , 38.9 mg/l  $N_2$  ve çok az miktarda ( $< 0.1 \text{ mg/l}$ ) ise  $NH_4^+ \text{-N}$  elde edilmiştir (Şekil 3.6d). Bu sonuçlara göre, ultrasonik kaviteasyon sayesinde  $Mn^0$  partikül yüzeyi daha aktif hale geldiğinden nitratin indirgemesi kayda değer ölçüde hızlanmış ve bunun sonucu olarak da ortamda ağırlıklı olarak  $N_2$  gazı oluşmuştur. Ultrases mekanik kuvvet etkisi ile partikül yüzeyinde pasif film oluşumu daha az olduğundan nitrat giderim verimi de yüksek elde

edilmiştir. Yapılan bir çalışmada, yeraltı suyundan nitratın gideriminde magnezyum tek başına kullanıldığında nitrat indirgemesi düşük iken, ultrases gücü ve doz miktarını arttırınca nitratın magnezyumla denitrifikasyonunun ciddi ölçüde arttığı belirlenmiştir (İleri ve ark., 2015).



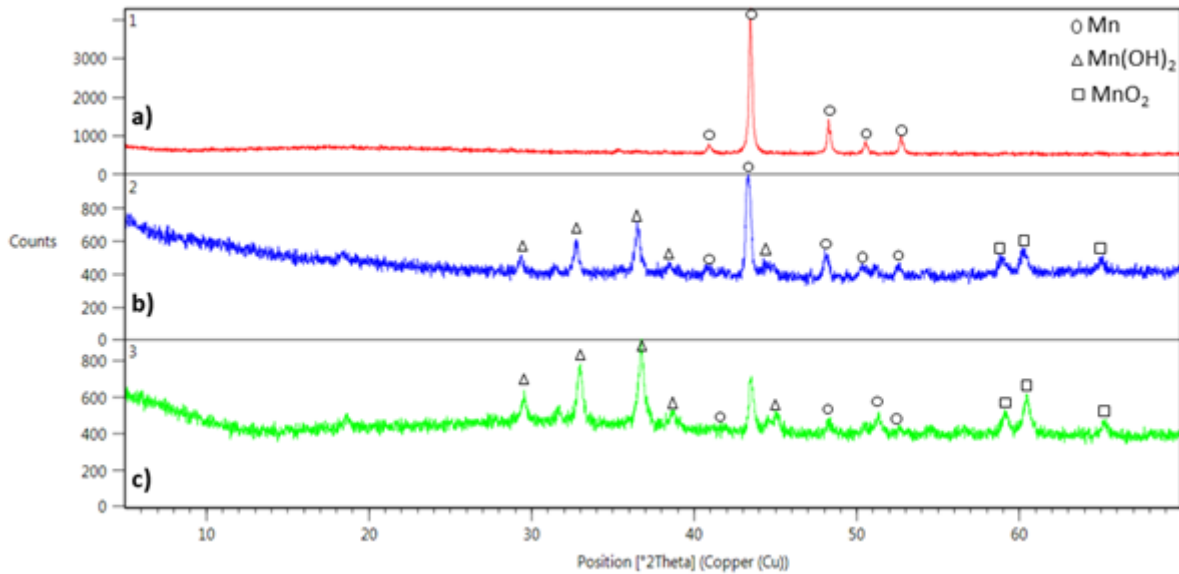
Şekil 3.6. Mn<sup>0</sup> ve US/Mn<sup>0</sup> ile yeraltı suyunda bulunan nitratın indirgemesi sonucunda oluşan azotlu bileşiklerin zamana bağlı değişimi (C<sub>0</sub> = 42 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/l; MOPs = 1 g)

### 3.6. Sıfır Değerlikli Mangan İle Nitrat Giderim Reaksiyonunun XRD Analiz Sonucu İle Açıklanması

Reaksiyon sonrası nitratın su içerisinde kimyasal denitrifikasyonuna bağlı olarak  $Mn^0$  partiküllerinin minerolojik yapısında meydana gelen değişiklikler XRD analizi ile tespit edilmiş ve Şekil 3.7b ve c'de gösterilmiştir. Partikül minerolojik yapısında meydana gelen değişiklikleri belirlemek amacıyla Mn, mangan hidroksit ( $Mn(OH)_2$ ) ve mangan dioksit ( $MnO_2$ ) karşılık gelen pik şiddeti değerleri ölçülmüştür. X-ışını kırınımı (XRD) analizine göre,  $Mn^0$  partikülünün çoğunlukla Mn formunda olduğu görülmektedir (Şekil 3.7a). Nitrat indirgemesinde  $Mn^0$  partikülü tek başına kullanıldığında reaksiyon sonunda oksit formlardan  $MnO_2$  ve  $Mn(OH)_2$  oluşumu tespit edilmiştir (Şekil 3.7b). Nitratın indirgemesi sonucu sıfır yüklü mangan  $Mn^{+2}$ ,ye yükseltgenerek  $Mn(OH)_2$  ile  $MnO_2$  katısı şeklinde çöktüğü XRD analizi ile belirlenmiştir. Mangan metalik partiküllerinin suya ilave edildikten hemen sonra oksit formlarının oluşması sonucu partikül yüzeyini kaplayarak reaktif özelliğini kaybettiği anlaşılmaktadır (Eşitlik 10, 11).



US/ $Mn^0$  uygulaması ile nitratın kimyasal denitrifikasyon kapasitesi ciddi anlamda iyileştirilmiştir. US/ $Mn^0$  birlikte kullanıldığında,  $Mn^0/0$  kHz ile pik şiddetleri arasında fark olduğu tespit edilmiştir. Ultrases etkisiyle partikül yüzeyine artan difüzyon hızı ile daha fazla nitrat giderimi sağlandığı ve hızlanan reaksiyon sonucu  $Mn^0$  elementi içeriğinin azalmasıyla  $MnO_2$  ve  $Mn(OH)_2$  oksit formların pik şiddetlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 3.7c). Oluşan oksit formların fazla olması  $Mn^0$  partikülü ile nitratın daha fazla reaksiyona girdiğini ve indirgeniğini göstermektedir.



Şekil 3.7. Sıfır değerlikli mangan partikülünün reaksiyon öncesi (a)  $Mn^0$  ve reaksiyon sonrası b)  $Mn^0/0$  kHz; c)  $Mn^0/40$  kHz XRD sonucu ( $C_0 = 50$  mg  $NO_3^-$ -N/l;  $t = 60$  dk)

#### 4. Sonuç

Sentetik ve yeraltı suyunda bulunan nitratın indirgenmesinde amonyum veya tercihen azot gazına dönüşümü sağlamak amacıyla sıfır değerlikli mangan ( $Mn^0$ ) tekli ve birleşik US/ $Mn^0$  prosesi kullanılmış ve partikül dozu (0.5–2 g) ile reaksiyon süresi (0–60 dk) parametrelerinin etkisi kesikli testler ile araştırılmıştır. Birleşik US/ $Mn^0$  ile partikül yüzey alanının artması ve çap aralığının azaltılması sağlanarak nitrat indirgenmesi daha kısa sürede ve düşük dozda sağlanmıştır. Birleşik US/ $Mn^0$  uygulaması ile en yüksek giderim verimi 1 g dozda ve 20. dk'da elde edilirken; yalnız  $Mn^0$  kullanıldığında 2 g dozda ve 40. dk'da elde edilmiştir. Ultrases kavitasyonu reaksiyon hızını ve difüzyonu arttırdığı için nitrat kimyasal denitrifikasyonun oldukça yüksek olduğu görülmektedir.  $Mn^0$  ve US/ $Mn^0$  proseslerinin nitrat giderimine olan etkisinin daha net açıklanabilmesi için XRD analizi yapılmış ve oluşan oksit formların ( $MnO_2$ ,  $Mn(OH)_2$ ) birleşik US/ $Mn^0$  prosesinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Oluşan oksit formların fazla olması  $Mn^0$  partikülü ile nitratın daha fazla reaksiyona girdiğini ve indirgenmediğini göstermektedir. Optimum deneysel şartlar dikkate alınarak, nitrat bakımından zengin bir yeraltı suyunun arıtımında  $Mn^0$  ve US/ $Mn^0$  proseslerinin etkisi araştırılmıştır. Bir ve 2 g  $Mn^0$  dozunda, nitrat giderim verimleri sırasıyla  $Mn^0$  partikülü için %40 ve %41 iken; birleşik US/ $Mn^0$  prosesleri için sırasıyla %51 ve %93 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Yeraltı suyunda yüksek konsantrasyonda bulunan katyon ve anyon bileşikleri partikül yüzeyini hızla kaplayarak giderim kapasitesinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak,  $Mn^0$  ve US/ $Mn^0$  proseslerinin nitratın kimyasal denitrifikasyonunda etkili prosesler olduğu tespit edilmiştir. Ultrases prosesinin  $Mn^0$  yüzey aktivitesine etkisinin yüksek olması ile nitrat giderim verimi düşük doz ve kısa sürede elde edilmiştir. Birleşik US/ $Mn^0$  ile ilgili yapılan çalışma literatürde bulunmadığından elde edilen bu sonuçların bundan sonraki atıksu veya yeraltı suyunda bulunan diğer kirleticilerin giderimi konusunda yapılacak çalışmalar için önemli bir referans olacağı düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yürütülen bu çalışma, TÜBİTAK 2209–A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 1919B011602884 numaralı projesi tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

- Adeyemi Y.G., 2001. Reviews-sonochemistry: Environmental Science and Engineering Applications. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40: 4681-4715.
- Agrawal G.D., Lunkad S.K., Malkhed T., 1999. Diffuse Agricultural Nitrate Pollution of Groundwaters in India. *Water Science and Technology*, 39 (3): 67–75.
- Almasri M.N., 2007. Nitrate Contamination of Groundwater: A Conceptual Management Framework. *Environmental Impact Assessment Review*, 27 (3): 220–242.
- Almasri M.N., Kaluarachchi J.J., 2004. Assessment and Management of Long-term Nitrate Pollution of Groundwater in Agriculture-dominated Watersheds. *Journal of Hydrology*, 295 (1-4): 225–245.
- APHA, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Archana Sharma S. K., Sobti R.C., 2012. Nitrate Removal from Groundwater: A Review. *E-Journal of Chemistry*, 9 (4): 1667–1675.
- Bokare A.D., Cho W., 2008. Zero-valent Aluminum for Oxidative Degradation of Aqueous Organic Pollutants. *Environmental Science and Technology*, 43 (18): 7130–7135.
- Chiu Y.T., Lin C.H., Jechan Lee J., Andrew Lin K.Y., 2019. Reduction of Nitrate to Nitrite in Water by Acid-washed Zero-valent Zinc. *Separation Science and Technology*.
- Choe S., Liljestrand H. M., Khim J., 2004. Nitrate Reduction by Zero-valent Iron under Different pH Regimes. *Applied Geochemistry*, 19 (3): 335–342.
- Crane R.A., Scott T.B., 2012. Nanoscale Zero-valent Iron: Future Prospects for an Emerging Water Treatment Technology. *Journal of Hazardous Materials*, 211-212: 112–125.
- Dada A.O., Adekola F.A., Odebunmi, E.O., 2017. A Novel Zerovalent Manganese for Removal of Copper Ions: Synthesis, Characterization and Adsorption Studies. *Applied Water Science*, 7 (3): 1409–1427.
- Doğanlar D.U., 2006. *Effects of Wastewater Irrigation on Groundwater Quality*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye. (Yüksek Lisans Tezi)

- Fargas D. R., 2017. In Situ Groundwater Remediation Treatments: Natural Denitrification Study and Nano Zero-Valent Iron Production. Universitat Politècnica De Catalunya, Natural Resources and Environment Doctorate Programme, İspanya. (Doktora Tezi)
- Geiger C.L., Ruiz N.E., Clausen C.A., Reinhart, Quinn J.W., 2002. Ultrasound Pretreatment of Elemental Iron: Kinetic Studies of Dehalogenation Reaction Enhancement and Surface Effects. *Water Research*, 36 (5): 1342-1350.
- Harter T., 2009. Agricultural Impacts on Groundwater Nitrate, Nitrates in Groundwater. *Southwest Hydrology Magazine*, 8 (4): 1-38.
- Hu H.Y., Goto N., Fujie K., 2001. Effect of pH on the Reduction of Nitrite in Water by Metallic Iron. *Water Research*, 35 (11): 2789–2793.
- Hwang Y.H., Kim D.G., Shin H.S., 2011. Mechanism Study of Nitrate Reduction by Nano Zero-valent Iron. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 1513–1521.
- İleri B., Ayyıldız O., Apaydın O., 2015a. Ultrasound-assisted Activation of Zero-Valent Magnesium for Nitrate Denitrification: Identification of Reaction by-Products and Pathways. *Journal of Hazardous Materials*, 292: 1–8.
- İleri B., Apaydın O., Ayyıldız O., 2015b. Birleşik Ultrases ve Sıfır Değerlikli Magnezyum ile Nitratın pH Kontrollü Denitrifikasyonu. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 33 (4): 489-501.
- İleri B., 2016. Ultrases ve Sıfır Yüklü Metal Partikülleri ( $Al^0$  ve  $Mg^0$ ) ile Nitratın Denitrifikasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye. (Doktora Tezi)
- Kapoor A., Viraraghavan T., 1997. Nitrate Removal from Drinking Water-Review. *Journal of Environmental Engineering*, 123 (4): 371–380.
- Keeney D., Olson R.A., 1986. Sources of Nitrate to Groundwater, *Critical Reviews in Environmental Control*, 16 (3): 257-304.
- Kumar M., Chakraborty S., 2006. Chemical Denitrification of Water by Zero-valent Magnesium Powder. *Journal of Hazardous Materials*, 135 (1-3): 112–121.

- Liang F., Fan J., Guo Y., Fan M., Wang J., Yang H., 2008. Reduction of Nitrite by Ultrasound-dispersed Nanoscale Zero-valent Iron Particles. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 47(22): 8550-8554.
- Luk G. K., Au-Yeung W.C., 2002. Experimental Investigation on the Chemical Reduction of Nitrate from Groundwater. *Advances Environmental Research*, 6 (4): 441–453.
- Mahamuni N.N., Adewuyi Y.G., 2009. Advanced Oxidation Processes (AOPs) Involving Ultrasound for Waste Water Treatment: A Review with Emphasis on Cost Estimation. *Ultrasonic Sonochemistry*, 17 (6): 990-1003.
- Mason T.J., Peters D., 2001. *Advances in Sonochemistry, Ultrasound in Environmental Protection*, Volume 6, JAI an Imprint of Elsevier Science, England.
- Mason T.J., Peters D., 2002. *Practical Sonochemistry, Power Ultrasound Uses and Applications*, 2nd Edition, Horwood Publishing Limited, England.
- Morais N.L.P.A. De, Brett C.M.A., 2002. Influence of Power Ultrasound on the Corrosion of Aluminium and High Speed Steel. *Journal of Applied Electrochemistry*, 32: 653–660.
- Oğuz T. C., 2015. İçme Suyu Arıtımında Yaygın Olarak Karşılaşılan Su Kalite Problemleri ve Arıtımı İçin Çözüm Önerileri. *Uzmanlık Tezi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Panda A. P., Rout P., Jena K.K., Alhassan S. M., Kumar S.A., Jha U., Dey R. K., Swain S.K., 2019. Core–Shell Structured Zero-Valent Manganese (ZVM): A Novel Nanoadsorbent for Efficient Removal of As(III) and As(V) from Drinking Water. *J. Mater. Chem. A*, 2019 (7): 9933-9947.
- Patel U., Suresh S., 2006. Dechlorination of Chlorophenol by Magnesium-Silver Bimetallic System. *Journal of Colloid and Interface*, 299 (1): 249–259.
- Polat R., Elçi A., Şimşek C., Gündüz O., 2007. İzmir-Nif Dağı Çevresindeki Yeraltı Suyu Nitrat Kirliliği Boyutunun Mevsimsel Değerlendirilmesi. *7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 24-27 Ekim 2007, İzmir.



- Ramavandi B., Mortazavi S.B., Moussavi G., Khoshgard A., Jahangiri M., 2011. Experimental Investigation of the Chemical Reduction of Nitrate Ion in Aqueous Solution by Mg/Cu Bimetallic Particles. *Reaction Kinetics Mechanisms and Catalysis*, 102 (2): 313–329.
- Suzuki T., Moribe M., Oyama Y., Niinae M., 2012. Mechanism of Nitrate Reduction by Zero-valent Iron: Equilibrium and kinetic studies. *Chem. Eng. J.*, 183, 271-277.
- Tsai Y.J., Chou F.C., Cheng T.C., 2009. Coupled Acidification and Ultrasound with Iron Enhances Nitrate Reduction. *Journal of Hazardous Materials*, 163 (2–3): 743–747.
- TS266, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Zhu I., Getting T., 2012. A Review of Nitrate Reduction Using Inorganic Materials. *Environmental Technology Reviews*, 1 (1): 46-58.
- Zhang J., Hao Z., Zhang Z., Yang Y., Xua X., 2010. Kinetics of Nitrate Reductive Denitrification by Nanoscale Zero-Valent Iron. *Process Safety and Environmental Protection*, 88: 439–445.

## Application of Landsat 8 Satellite Image – NDVI Time Series for Crop Phenology Mapping: Case Study Balkh and Jawzjan Regions of Afghanistan

Abdul Walid Salik<sup>1\*</sup>, Ersin Karacabey<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Soil Science and Irrigation Department, Agriculture Faculty, Kabul University, Afghanistan

<sup>2</sup>Tekirdağ Viticulture Research Institute, Turkey

24.04.2019 Geliş/Received, 22.05.2019 Kabul/Accepted

### Abstract

In this article, it was targeted to reveal the variations of NDVI which may represent the phenological stages of agricultural crops derived from Landsat 8 imagery from the start to end of growing seasons which eventually influence the final yields. An effective method was developed to map seasonal phenological variations of crops over large geographic regions using 16-day Landsat 30 m resolution NDVI time series data obtained from USGS. The Google Earth Engine (GEE) platform was used for processing the Landsat 8 data. The areas with cloud cover and cloud shadows were masked out, filled by no data and smoothing double logistic filter was fitted on the time series of the reflectance values. Phenological metrics extracted from the NDVI time series were obtained by the TIMESAT software. Seasonal data were extracted for growing seasons of the years of 2015 and 2016. The phenology maps were created for study area.

**Keywords:** NDVI, crop phenology, remote sensing

### Landsat 8 Uydu Görüntü Uygulaması – Ürün Fenolojisinin Haritalanması İçin NDVI Zaman Serisi: Afganistan’ın Balkh ve Jawzjan Bölgeleri Örneği

### Özet

Bu makalede tarımsal ürünlerin yetiştirme sezonu boyunca nihai verimini etkileyen fenolojik dönemleri temsil edebilecek Landsat 8 görüntüsünden elde edilen normalize edilmiş vejetasyon indeksi (NDVI) değişiminin ortaya konulması hedeflenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumundan (USGS) elde edilen Landsat 16-gün 30 m çözünürlüklü NDVI zaman serileri verisi kullanılarak geniş coğrafi alanlar üzerindeki ürünlerin mevsimsel fenolojik değişimlerini haritalama amacıyla etkin bir metot geliştirilmiştir. Landsat 8 verilerinin işlenmesi için Google Earth Engine (GEE) platformu kullanılmıştır. Bulut örtüsüne ve bulut gölgelerine sahip alanlar maskelenmiş, verilerle doldurulmamış ve yansıma değerlerinin zaman serisine çift lojistik filtresi uygulanmıştır. NDVI zaman serilerinden elde edilen fenolojik metrikler TIMESAT yazılımı ile elde edilmiştir. 2015 ve 2016 yılı yetiştirme sezonu için mevsimsel veriler sağlanmış ve çalışma alanı için fenoloji haritaları oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** NDVI, ürün fenolojisi, uzaktan algılama

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Abdul Walid Salik  
(e-posta: ab.walid\_salik@yahoo.com)

## 1. Introduction

Agricultural development plays a key role in the economic growth of many developing countries (Ustuner et al., 2014). Georeferenced land cover data sets are the basic data sources for natural resources management, environmental monitoring and policy development (Wardlow and Egbert, 2008). Automated, low-cost, accurate and timely information about crop performance are useful for farmers, policy maker and inventors (Osman et al., 2015; Xijie, 2013). Particularly, the application of remotely sensed information in agriculture field can grant essential information for the macro, and micro management (related on resolution) of agricultural production as well as for yield estimation, crop condition and timely vegetation variations (Xue and Su, 2017; Zhao et al., 2017). Recently, satellite imagery has been used for several purposes such as estimation of cultivated land, identification of crop types, yield forecast, developing of hydrological model (Jakubauskas and Legates, 2002; Sakamoto et al., 2005). Crop type identification maps are known the most important data source in crop management and yield assessment (Zhao et al., 2017; Ustuner et al., 2014). For crop mapping purpose seasonal parameters such as the starting, middling, ending of the season, seasonal length, seasonal amplitude etc., can be obtained from several time series vegetation indexes (Zhao et al., 2017).

The normalized difference vegetation index (NDVI) is mainly used for monitoring of vegetation which is computed from the red and near-infrared ratio of vegetation reflectance in the electromagnetic spectrum ( $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ ) (Pan et al., 2015). The NDVI provides accurate and timely information on vegetation condition and different phenology steps of plant over large scale (Hamel et al., 2009). The capability of how the NDVI quantify the amount of green vegetation is based on the principle that green vegetation during photosynthesis- absorbs radiation in the visible band of the electromagnetic spectrum. While, in contrast to visible light, near infrared (NIR) light is not used for photosynthesis and it is strongly reflected by the plant. The NDVI are correlated with green biomass, green leaf area index (LAI), and percent vegetation cover (Zhang et al., 2003).

The NDVI can easily predicts the photosynthetic activity, because the NDVI contain both red and near infrared light (Govaerts and Verhulst, 2010). In recent decade, several different methods have been developed for the detection of the timing of vegetation green-up and agedness applying time series NDVI data. A variety of different approaches have been employed by these methods containing the use of particular NDVI thresholds (Zhang et al., 2003). It is difficult to define the NDVI threshold value for determining the start/end of season, since it depends on the preference of the researcher (Pan et al., 2015). The determination of crop production by NDVI is connected to complete plant vigor, photosynthetic activity throughout the growing season and stress caused by water (Qamer et al., 2014). The NDVI/ Satellite obtained periodical greenness data have the capability to indicate temporally the amount of growth, aging, periodicity of photosynthetic activity as well as the start, end, peak and duration of vegetation greenness (Van Leeuwen et al., 2006). The NDVI multi temporal analysis have verified to be a functional device enabling monitoring and detecting land used land cover (LULC) changes (Borini et al., 2015).

The general purpose of this research was to investigate the possibility of the application of vegetation index such as NDVI in operational crop pattern mapping. The specific objectives was to apply NDVI values for predicting and developing the crop pattern map and creating crop calendar based on remote sensing imagery monitoring for pilot study area in the north part of the country.

## **2. Material and Methods**

### **2.1. The Study Area**

The two Northern provinces of Afghanistan including Balkh and Jawzjan were selected as study area which is located between latitude of 36° 45' 22.86" N and longitude of 66° 53' 49.92" E. The study area totally covers 30335.12 km<sup>2</sup> areas with the population of more than 1672087 people. These provinces are categorized as highly agricultural productive provinces of country (Central Statistic Organisation, 2012). The land cover types in this area are very heterogeneous. Generally, due to lack of accessible water resources for irrigation purpose the agricultural activity taken place only for one growing season (there is rainfed agriculture) in the study area has only one growing season but vegetations growing for two or three seasons.

### **2.2. Remotely Sensed Data and Pre-processing**

Google Earth Engine (GEE) platform (<https://code.earthengine.google.com/>) was used for processing the Landsat 8 data. GEE is a cloud-based platform that makes easy to access high-performance computing resources for processing very large geospatial datasets (Gorelick et al., 2017). This dataset is the atmospherically corrected surface reflectance from the Landsat 8 OLI/TIRS sensors. These images contain 5 visible and near-infrared (VNIR) bands and 2 short-wave infrared (SWIR) bands processed to orthorectified surface reflectance, and two thermal infrared (TIR) bands processed to orthorectified brightness temperature. The VNIR and SWIR bands have a resolution of 30 m/pixel. The TIR bands, while originally collected with a resolution of 100 m/pixel has been resampled using cubic-convolution to 30 m. These data have been atmospherically corrected using Landsat Surface Reflectance Code (LaSRC), and includes a cloud, shadow, water and snow mask produced using CFMASK, as well as a per-pixel saturation mask. Landsat data is collected on a nominal 16-day repeat cycle. It means we have processed 2 images in each single month (32 days). Strips of collected data are packaged into overlapping "scenes" covering approximately 170 km × 183 km, using a standardized reference grid. During this study all the available scenes about 44 images which represent the years of 2015 and 2016 were chosen. In Timesat, we have processed all data independently for each single year (about 22 images per year) to determine the parameters including start of season, middle of season and end of season; respectively. The Timesat reads the data for each single parameter.

### **2.3. Cloud Masking**

In case of using optical images for analysis we have to deal with the possible cloud coverage and the presence of cloud shadows. Areas covered by clouds and shadows have to be identified and masked out before further processing. During the generation of the Surface Reflectance products (atmospheric correction) a Scene Classification Layer is generated which contains information on cloud and cloud shadow coverage of individual scenes. Using this layer as a mask layer of cloud cover and cloud shadows were masked out, and the values of cloudy pixels were replaced by no data value.

### **2.4. Calculation of Vegetation Index**

To generate a variable whose temporal variability is used for phenology mapping Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated according to the following formula:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$$

Where NIR is the reflectance on the Near Infrared (5th) band, and RED is the red (4th) band of the Landsat 8 scene.

## 2.5. TIMESAT 3.3 With Seasonal Trend Decomposition and Parallel Processing

Timesat software has been developed for the obtaining and analyzing seasonal parameters of satellite data (Eklundh and Jönsson, 2017). Timesat composed of several graphical and numerical routines coded in Matlab and Fortran. Recently, Timesat has been used in a wide range of application including mapping environmental and phenological changes, in savanna ecosystem for evaluate satellite and climate data-obtained indices of fire risk, monitor human footprints of fire seasons, improving data in ecosystem classification, characterizing phenology, and mapping high-latitude forest phenology (Eklundh and Jönsson, 2017). Menu system is the main driver for all Timesat processing, Matlab or Fortran (see Figure 2.1).

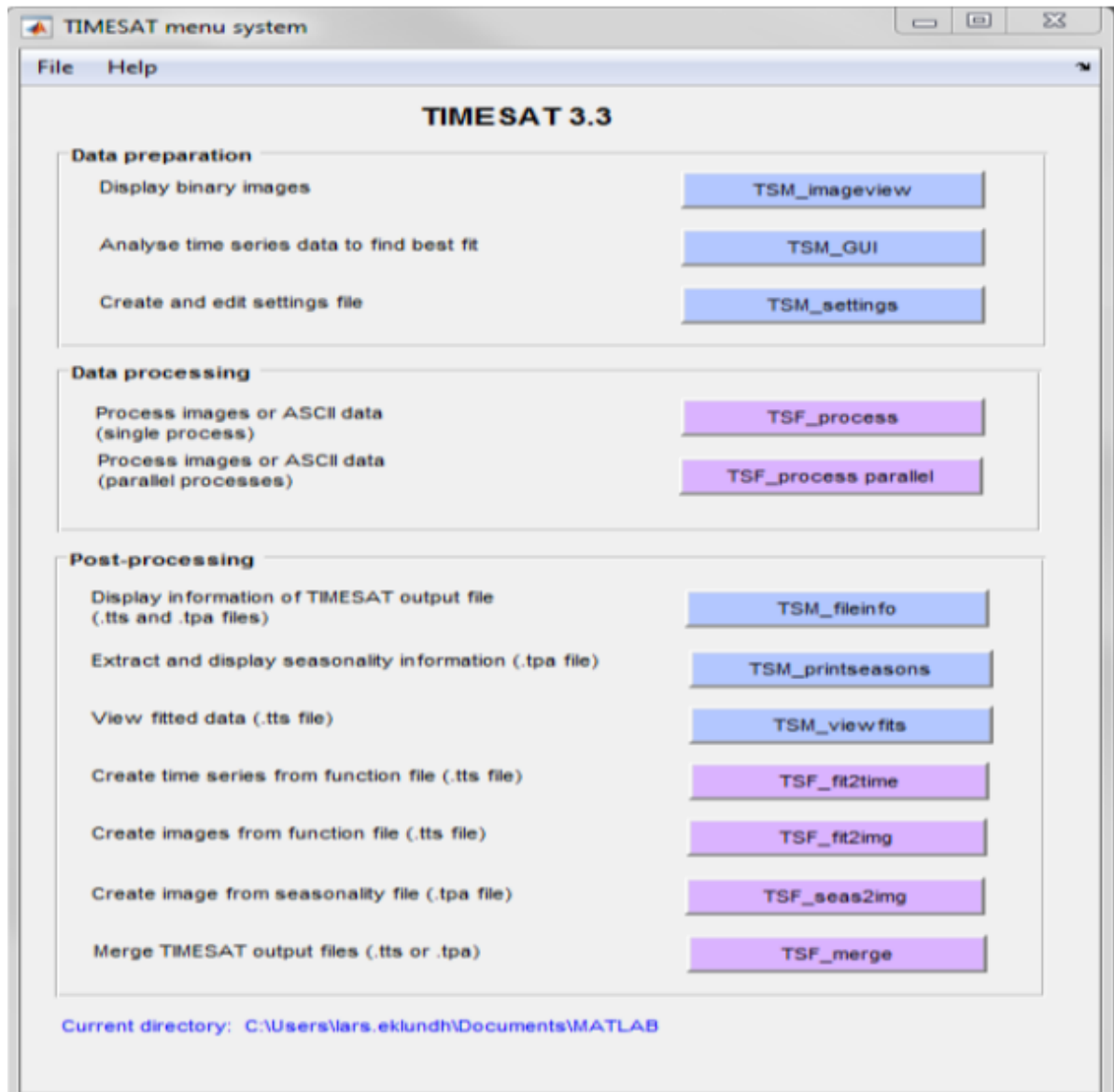


Figure 2.1. TIMESAT menu system.

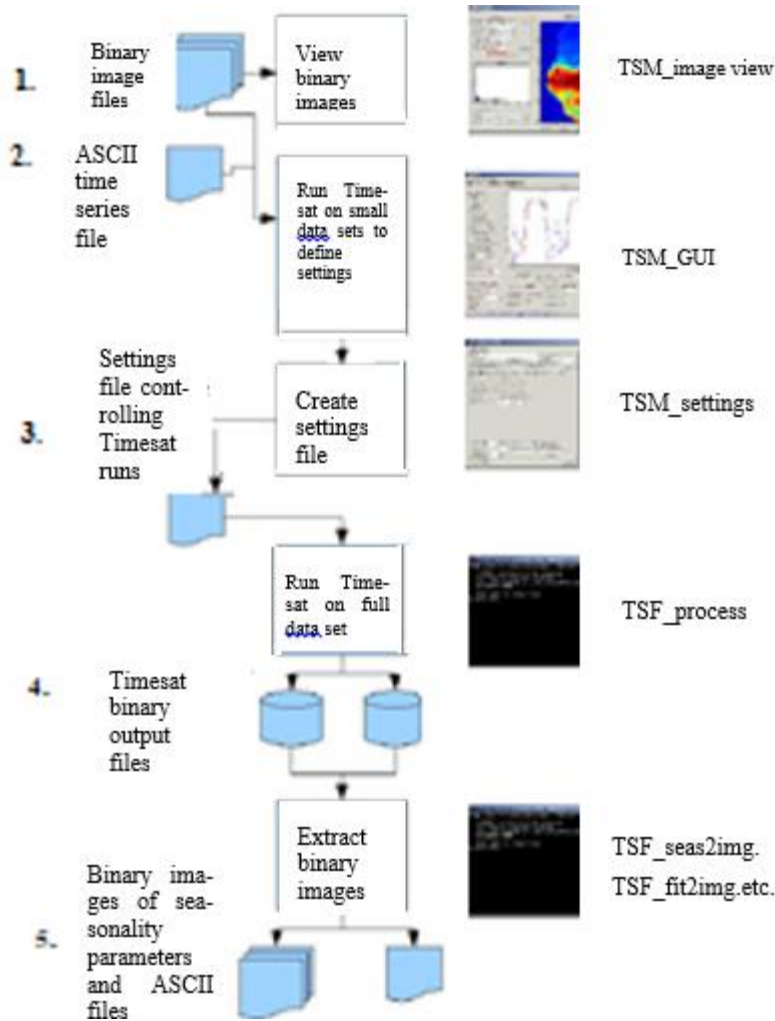


Figure 2.2. General TIMESAT processing logic.

Mainly, in our work we have dealt with (a) Data preparation including TSM\_imageview, TSM\_GUI, TSM\_settings, (b) Data processing including TSF\_process, and TSF\_process parallel, and (c) Post processing mainly TSF\_seas2img.

Phenological metrics extracted from the NDVI time series were obtained by the TIMESAT software (version 3.3) (Jönson and Eklundh, 2004). Seasonal data were extracted for growing seasons of the years between 2015 and 2016. For smoothing double logistic filter was fitted on the time series of the reflectance values. The graphical representation of the derived phenological indicators is presented on Figure 2.3.

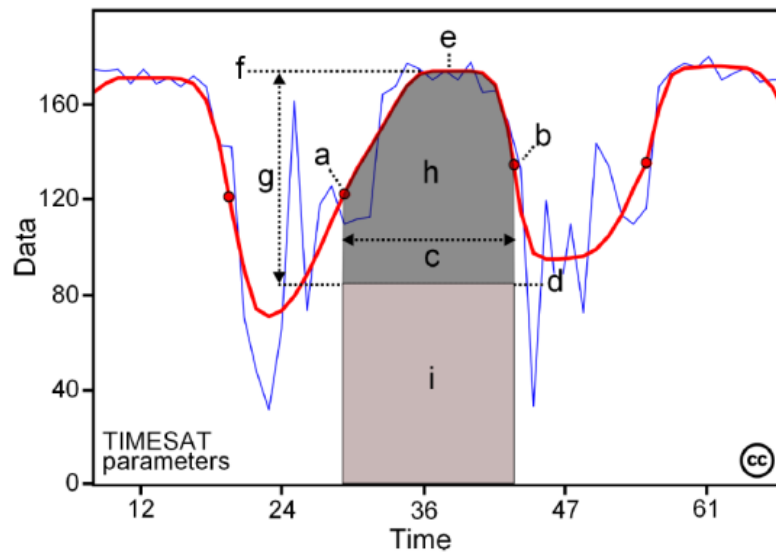


Figure 2.3. Examples of seasonality parameters generated by TIMESAT: (a) beginning of season, (b) end of season, (c) length of season, (d) base value, (e) time of middle of season, (f) maximum value, (g) amplitude, (h) small integrated value, (h+i) large integrated value

## 2.6. Land Cover Classification Map

In the frame of this study irrigated agricultural areas were focused on. To limit the study area, a land cover classification map of Balkh and Jawzan provinces provided by the Ministry of Agriculture and Livestock (MAIL) was used. The land cover classification map of the study area was produced by MAIL in the year of 2014 and it is still valid for the years of 2015 and 2016. This shapefile classifies the landscape into 15 classes which can be seen on Figure 2.4.

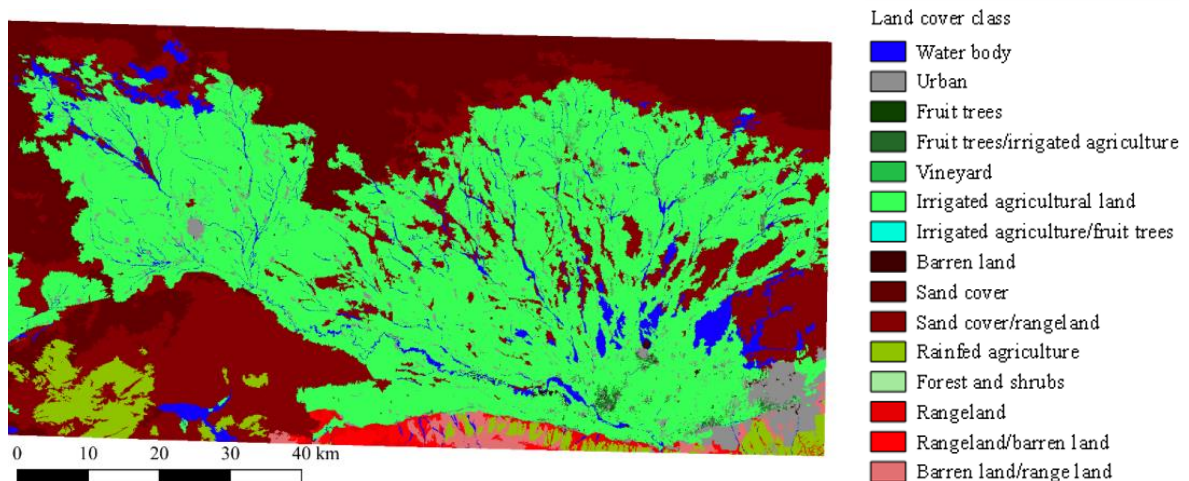


Figure 2.4. Initial land cover classes of the study area

Irrigated agricultural areas were determined by reclassifying the shapefile and combining into 6 broader classes using ArcGIS. The result of the combination procedure is presented on Figure 2.5. By using this classification map it was able to mask out the non-irrigated agricultural areas and focused on the relevant land covers when running the TIMESAT analysis.



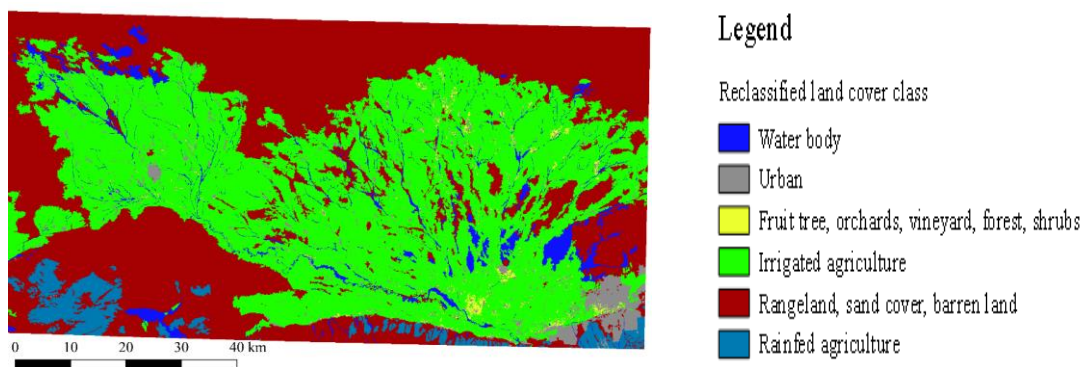


Figure 2.5. Reclassified land cover classes of the study area

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Explanation of Seasonal Parameters

Phenological metrics extracted from the NDVI time series were obtained by the TIMESAT software. As time for the start of season (SOS) the time for which the left edge has increased to 20 % of the seasonal amplitude measured from the left minimum level was defined. As time for the end of season (EOS) the time for which the right edge has decreased 80 % of the seasonal amplitude measured from the right minimum level. The middle of season (MOS) represents the date of the mean of times between dates of 80 % of right and left edge, respectively. TIMESAT software can read data in ENVI format; therefore we convert our data from geotiff files (Geostationary Earth Orbit Tagged Image File Format) to ENVI (Environment for Visualizing Image) format using R commander software. The type of colors is our choice based on symbology provided by ArcGIS. However, the variation in colors for different season is based on Timesat given results for each single season. For the determination of crop type and land cover we used land cover classification map in raster format. Timesat has ability to generate an image from the seasonality parameters (Eklundh and Jönsson 2017). We deal with seasonality parameters via this software.

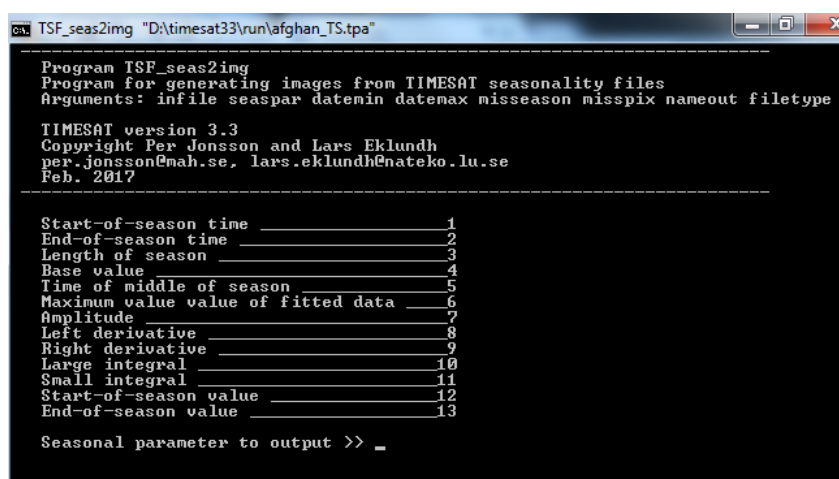


Figure 3.1. Command window for running TSF\_seas2img started from the command prompt with seasonality parameters.

The most widely method which is used to extract seasonal data from NDVI time-series is based on value thresholds, supposing that a particular phenomenon has started and ended



when NDVI values exceed a defined threshold (Pan et al. 2015). According to this approach, the TIMESAT program loops every pixel in every image and then extraction of phenology parameters is individually depending on NDVI's variation behavior in day of year (Pan et al. 2015). In Timesat program, for the NDVI the start of season (SOS) is depending on the NDVImax and NDVimin values. The start/end of season values of NDVI for the agricultural activities and crop phenological steps in the small scale can be defined as follow:

$$\text{NDVI threshold value} = \frac{\text{NDVImin}}{\text{NDVImax}}$$

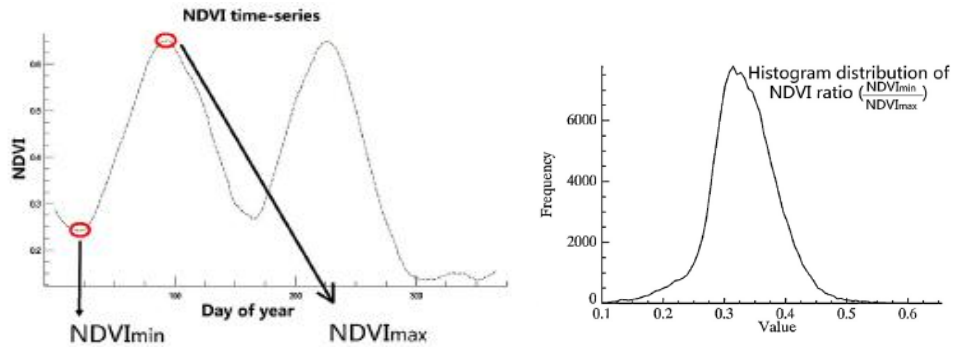


Figure 3.2. Pixel-based time-series was looped over to identify the max/min value within a specific range of NDVI time-series; definition of NDVI threshold value for season start/end was based on the NDVI ratio of min/max

### 3.1.1. Start of Season 2015 (SOS)

Remote sensing data analysis indicates that the start of season values begins earlier in north side of the study area than south side. According to the crop calendar of the study area the main crops which have early start of season are fruit trees such as apples, grapes, apricot, and almond. Season starts lately in southern side of study area which is mountainous, and lies higher above sea level. Therefore, growing season for horticultural crops starts early around February but the season for vegetable and cash crops which need of a little warm weather starts later from late February to early May.

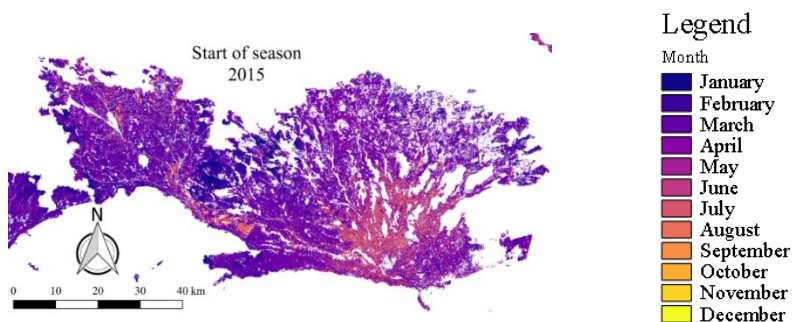


Figure 3.3. Map of start of season, 2015

### 3.1.2. Middle of Season 2015 (MOS)

Based on remote sensing data analysis and the crop calendar the fruits have middle of season from March to May. But mainly, the vegetable crops and cash crops have short middle of season from late April to May.

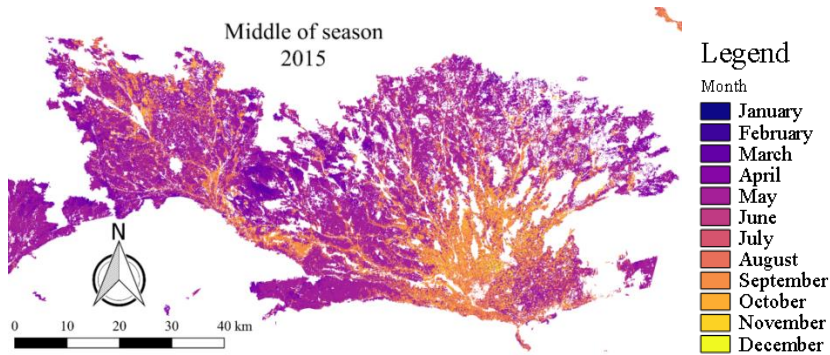


Figure 3.4., Map of middle of season, 2015

### 3.1.3. End of Season 2015 (EOS)

According to crop calendar, the map of end of season indicates that different crops have different time of harvesting. Harvesting time for apples and apricot is June; for tomato, watermelon, melon, okra, eggplant is from late May to July; for flax and cumin is April to May; for wheat spring/fall are (May-June); and for sesame is late July.

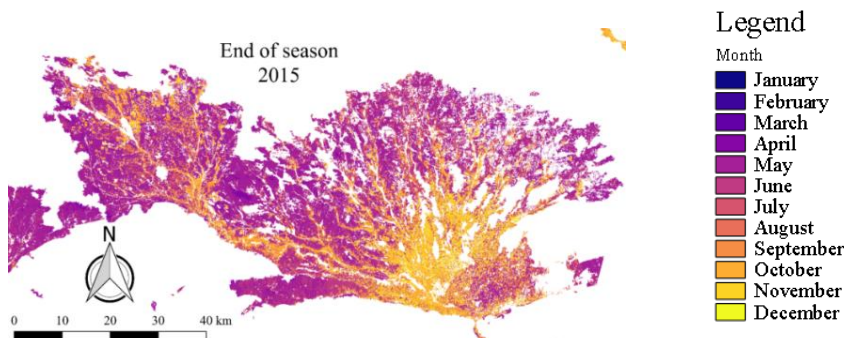


Figure 3.5. Map of end of season, 2015

### 3.1.4. Start of Season 2016 (SOS)

The map of start of season shows that the season starts early in the north of the study area. According to the crop calendar, the crops which have early start of season are mainly fruits trees. The start of season takes place in February. In the southern side the growing season starts later, based on crop calendar the vegetable and cash crops' growing season starts from February to early May.

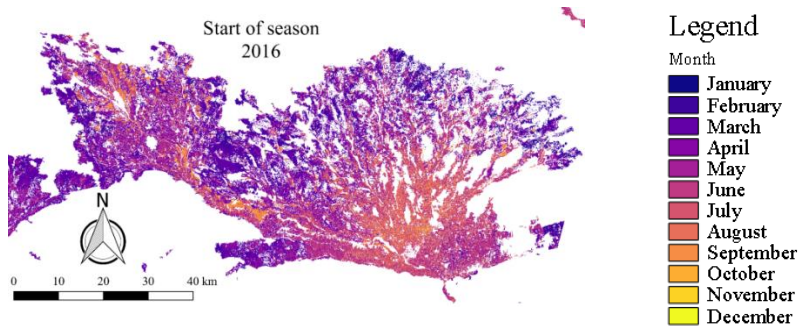


Figure 3.6. Map of start of season, 2016

### 3.1.5. Middle of Season 2016 (MOS)

The middle of season starts early in Qarchi Gak, Zadain, Eastern side of Acha. According to crop calendar, it might be fruits trees which take place from March to May. But, mainly, the vegetable crops and cash crops have short middle of season from late April to May.

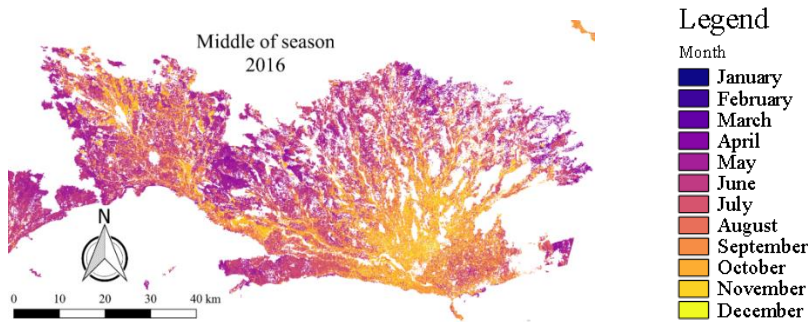


Figure 3.7. Map of middle of season, 2016

### 3.1.6. End of Season 2016 (EOS)

Due to different types of crops in study area, the end of season starts early in Qarchi Gak, Zadain, and Eastern side of Acha while the season end later in the area around Balkh.

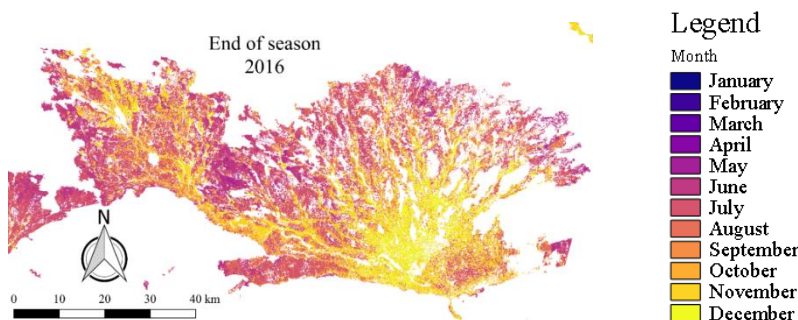


Figure 3.8. Map of end of season, 2016

Generally, the year of 2016 was warmer than the year of 2015. Due to high suitable temperature, crops start growing season earlier in 2016 than 2015.

#### 4. Conclusion

Monitoring of crop phenology is a common application of time series remote sensing data. For time series processing, TIMESAT software is able to obtain vegetation phenology (Pan et al., 2015). The data gaps due to cloud covers create difficulties in reorganization of crop phenology cycles (Li et al., 2014). The main objective of this work was to determine the crop seasonality phenological pathern using Landsat 8 Images NDVI time series. Based on the results this approach provides unique but at this stage of the research coarse information for farmers. In the frame of this research Landsat 8, remote sensing based seasonality maps were developed for Balkh and Jawzan provinces of Afghanistan. Although this study focuses on using Landsat 8 data, this approach is entirely compatible with Landsat TM and ETM as well. Based on the result of this research the applicability of this approach has limitations in the monitoring of field scale phenological variations due to the coarse spatial resolution of the remotely sensed dataset (30 m/pixel). However the methodology can be effectively used for the determination of seasonality pattern on a regional scale.

In order to use the optical dataset it was needed to deal with the cloud coverage and the presence of cloud shadows especially in months of December, January, and February. This kind of temporal and spatial noise might affect the reliability of the determination of start of season dates, due the frequent occurrence of this kind of noise. Based on the generated seasonality maps general patterns of crop production in the study area could be identified. Using the provided crop calendar it was attempted to relate different kind of crops to the pixel values of the maps. For the validation of our results we used average crop calendar as reference and there is no ground reference data. Our maps do not account for small scales or sub-pixel variation that means the output is most reliable for large scale area than small field size. The collection of ground truth dataset is essential not only in the determination of the reliability of the result but in the determination of the phenological thresholds at the beginning of the analysis (e.g. the exact date of start of, middle of, end of season of different crops).

## References

- Borini Alves D., Pérez-Cabello F., Rodrigues Mimbriero M., 2015. Land-use and land-cover dynamics monitored by NDVI multitemporal analysis in a selected southern amazonian area (Brazil) for the last three decades. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(7W3): 329–335. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-329-2015>.
- Central Statistic Organisation., 2012. Settled Population of Balkh province by Civil Division, Urban, Rural and Sex-2012-13: 21–22.
- Eklundh L., Jönsson P., 2017. TIMESAT 3.3 with seasonal trend decomposition and parallel processing Software Manual. Lund and Malmo University, Sweden. Sweden: Lund and Malmo University, Sweden. Retrieved from <http://www.nateko.lu.se/TIMESAT/> 2017-05-29.
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R., 2017. Remote sensing of environment google earth engine : Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202:18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Govaerts B., Verhulst N., 2010. The normalized difference vegetation index (NDVI) Green-seeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management. Part A-Concepts and case studies, *International Maize and Wheat Improvement Center* 1–12.
- Hamel S., Garel M., Festa-Bianchet M., Gaillard J. M., Côté S.D., 2009. Spring normalized difference vegetation index (NDVI) predicts annual variation in timing of peak faecal crude protein in mountain ungulates. *Journal of Applied Ecology*, 46(3): 582–589. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01643.x>.
- Jakubauskas M. E., Legates R., 2002. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37: 127–139. Retrieved from [www.elsevier.com/locate/compag](http://www.elsevier.com/locate/compag).
- Li L., Friedl M.A., Xin Q., Gray J., Pan Y., Frohling S., 2014. Mapping crop cycles in China using MODIS-EVI time series. *Remote Sensing*, 6(3):2473–2493. <https://doi.org/10.3390/rs6032473>.

- Osman J., Inglada J., Dejoux J., 2015. Assessment of a Markov logic model of crop rotations for early crop mapping. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113: 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.02.015>.
- Pan Z., Huang J., Zhou Q., Wang L., Cheng Y., 2015. Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A / B data *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A / B data. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 34(February):188–197. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.011>.
- Qamer F. M., Shah S. N. P., Murthy M. S. R., Baidar T., Dhonju K., Hari B. G., 2014. Operationalizing crop monitoring system for informed decision making related to food security in Nepal. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(8): 1325–1330. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-8-1325-2014>.
- Sakamoto T., Yokozawa M., Toritani H., Shibayama M., Ishitsuka N., Ohno H., 2005. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 96(3–4): 366–374. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.008>.
- Ustuner M., Sanli F.B., Abdikan S., Esetlili M.T., Kurucu Y., 2014. Crop type classification using vegetation indices of rapideye imagery. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL*: 195–198. Istanbul, Turkey: ISPRS Technical Commission VII Symposium. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-195-2014>.
- Van Leeuwen W.J. D., Orr B.J., Marsh S.E., Herrmann S.M., 2006. Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. *Remote Sensing of Environment*, 100(1): 67–81. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.002>.
- Wardlow B.D., Egbert S. L., (2008). Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data : An assessment for the U . S . Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 112: 1096–1116. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.019>.
- Xijie L., 2013. Remote sensing, normalized difference vegetation index and crop yield forecasting. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2013 Urbana,. Retrieved from [https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/46590/Xijie\\_Lv.pdf?sequence=1](https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/46590/Xijie_Lv.pdf?sequence=1).

- Xue J., Su B., 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017, 17. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.
- Zhang X., Friedl M.A., Schaaf C.B., Strahler A.H., Hodges J.C.F., Gao F., Huete A., 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84(3): 471–475. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00135-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00135-9).
- Zhao X., Wang X., Cao G., Chen K., Tang W., Zhang Z., 2017. Crop identification by using seasonal parameters extracted from time series landsat images in a mountainous agricultural county of eastern qinghai province , China. *Agricultural Science*, 9(4): 116–127. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n4p116>.



## **Kentsel Kimlik Bileşenlerinin Kent Kullanıcıları Tarafından Belirlenmesi: Örnek Kent Çanakkale**

Elif Sağlık<sup>1\*</sup>, Abdullah Kelkit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lapseki Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü

13.03.2019 Geliş/Received, 03.05.2019 Kabul/Accepted

### **Özet**

Kentlerin sahip oldukları tüm değerler o kentin kimliğini oluşturmaktadır. Kentsel kimlik bileşenlerinin tespit edilmesinde en uygun yaklaşım kent kullanıcılarının kente yaptıkları atıflardır. Kente yapılan atıflara ulaşmak için kent kullanıcıları ile yapılan görüşmeler önemli bir araçtır. Bu amaç doğrultusunda; çalışma materyali olarak Çanakkale kenti ve kullanıcıları seçilmiştir. Çalışma, yazılı kaynak araştırması ve anket uygulaması yöntemi ile Çanakkale kent merkezi sınırları içerisinde örneklenmektedir. Çalışmanın teorik yaklaşımını oluşturan kentsel kimlik tipi ve bileşen kavramları anket formlarının oluşturulmasında belirleyici olmuştur. Kullanıcıların kent için imgesel değerlendirmelerini yapmak amacıyla %0.05 örneklem hacmini yansıtan, rastgele örnekleme tekniği ile toplam 112 anket uygulaması yapılmıştır. Anket formu, Çanakkale kent ölçeğinde halkın sosyo-demografik yapısı ile ilgili verilere ve çalışma alanına özel yerleşim, donatı ve işaretler ölçeğindeki kimlik bileşenlerine ulaşmayı sağlayacak olan detaylı soruları içermektedir. Değerlendirmeler sonucunda Çanakkale kenti için ortaya çıkan tarih, turizm ve boğaz kavramlarının birlikte oluşturduğu kompozisyon ile kentin kavramsal yapısı ortaya konmuştur. Fiziksel yapı bileşenleri ise; yollar (Atatürk Caddesi), odak noktaları (Cumhuriyet Meydanı), kentsel donatılar ve işaretler (Rüzgar Gülleri ve Saat Kulesi) ve kentsel sınır (Sarıçay) ölçeğinde belirlenmiştir. Kentin yerel yönetim boyutunda pratik fayda sağlaması beklenen bu çalışmanın sonucunda Çanakkale'ye ilişkin kentsel kimlik kartı düzenlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** kent, kentsel kimlik, Çanakkale

## **Determination of Urban Identity Components by City Dwellers: Çanakkale City Case Study**

### **Abstract**

All the values that a city possesses constitute the urban identity of that city. The most appropriate approach in determining the urban identity components is the references that the city-dwellers make for the city. Interviews with city-dwellers are an important tool for obtaining these references. In accordance with this purpose; city of Çanakkale and its dwellers were selected as study material. The study is sampled within the borders of Çanakkale city center with written source research and survey application method. Urban identity type and

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Elif Sağlık  
(e-posta:elifsağlık@comu.edu.tr)

Bu makale Prof. Dr. Abdullah Kelkit danışmanlığında, Elif Sağlık tarafından yapılan doktora tezi kapsamında yazılmıştır.



component concepts that constitute the theoretical approach of the study have been determinant in preparing the questionnaire forms. A total of 112 questionnaires were applied by random sampling technique, which reflects the sample volume of 0.05%, for enabling the dwellers to make imaginary evaluation of the city. The questionnaire contains detailed questions that will provide access to data on the socio-demographic structure of the community and the identity components of settlement, equipment and signs specific to the study area. As a result of the evaluations, the conceptual structure of the city was revealed with the composition of history, tourism and strait concepts that emerged for the city of Çanakkale. Physical structure components were determined on the scale of roads (Atatürk Street), focal points (Republic Square), urban equipment and signs (Wind Roses and Clock Tower) and urban boundary (Sarıçay). As a result of this study, which is expected to provide practical benefit in the local government dimension, an urban identity card was issued in regard to Çanakkale.

**Keywords:** urban, urban identity, Çanakkale

## 1. Giriş

Son yıllarda yaşanan sosyo-ekonomik ve teknolojik gelişmeler kentin her boyutunda değişimlere neden olmaktadır. Yaşanan değişimler kentlerin günlüğüne kent dokusu ve yapısını etkileyen olumsuz durumlar olarak yansıtmaktadır. Kentin dokusu ve yapısında görülen değişimler, kent bilimi ile ilgilenen uzmanları kentlerin kendisini ve kimliğini sorgulamaya yöneltmiştir. Değişimlerin doğrudan etkilediği kent dokusu ve yapısı kentin kimliğini oluşturan bileşenlerdir. Kimlik bileşenleri her kent için değişkendir.

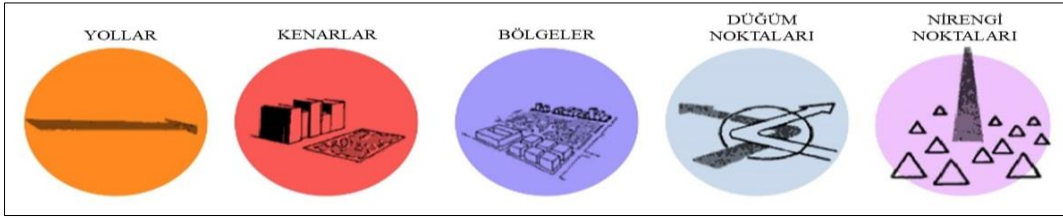
Kimlik, bir şeyi diğerinden farklı kılan, ayıran özelliktir (Anonim, 2018a). Kimlik “Toplumsal bir varlık olarak insanın nasıl bir kimse olduğunu gösteren belirti, nitelik ve özelliklerin bütünü; kişinin kim olduğunu tanıtan belge, kimlik belgesi, tanıtma kartı, hüviyet; herhangi bir nesneyi belirlemeye yarayan özelliklerin bütünü” olarak tanımlanmaktadır (TDK, 2018).

Geniş bir çalışma konusu olan kimlik bir yer için tanımlandığında ise; o yeri diğerlerinden ayıran, farklı kılan karakter ve üstünlüklerin oluşturduğu özelliklerdir (Pazhuhan ve ark., 2015). Kent kimliği, günün her bölümünde yer alan ve dolaylı olarak kenti kullanan kişilerin kent için oluşturduğu algıda ortaya çıkmaktadır (Zhou ve ark., 2014). Kent kimliği; nesnel ya da öznel bir kavram olmaktan öte kentlerin sürdürülebilir olması için yapılan çalışmalarda en önemli konudur. Aynı zamanda kimlik kent ruhunu ve toplumsal algıyı kapsayan dinamik bir kavramdır (Tavakoli, 2010).

Kentsel kimlik; bir kent için bazen bir obje, anıtsal değer ya da karakteristik özellikler ile tanımlanmaktadır. Örneğin Londra kentinde Big Ben-Westminster, Paris’te Eiffel Tower, Sydney kentinde ise Sydney Opera binası kentsel kimlik tanımlayıcısı niteliğindedir (Mansour, 2015).

Her kentin kimliğinde, kentin süreklilik kazanmış olan ayırt edici özelliklerin bulunduğunu savunan Amerikan Şehir Plancısı Kevin Lynch, kimliği bir nesnenin diğer nesnelere farklı, tek ve eşsiz olması, hiçbir şeye eşit olmaması olarak tanımlamaktadır. Lynch (2015), kentsel imge öğelerini; bölgeler (districts), yollar (paths), düğüm noktaları (nodes), kenarlar (edges) ve nirengi noktaları (landmarks) olarak sınıflandırmaktadır (Şekil 1.1). Kent dokusunun karmaşık bir yapı olduğunu ve üzerinde çalışma yapılabilmesi için kentin görselleştirilmesi

gerektiğini vurgulamaktadır. Kent imgesi kuramına göre, kentsel çevre beş ana elemandan yola çıkılarak görselleştirilmektedir.



Şekil 1.1. Kentsel dokuyu oluşturan imge öğeleri (Google Images-Architecture of the City)

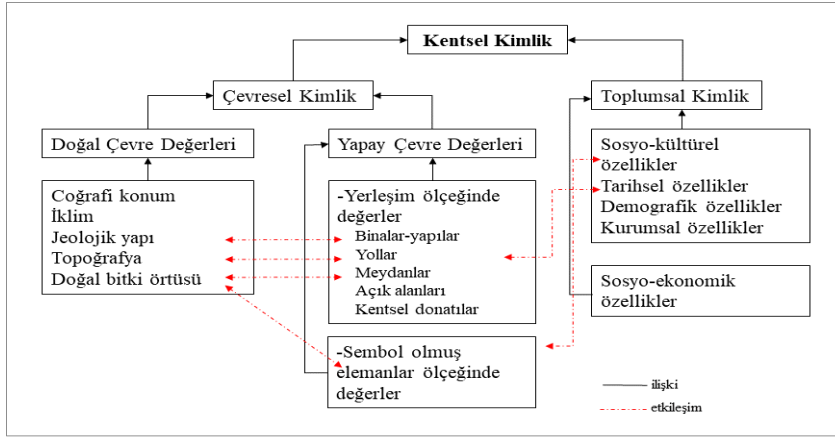
Bir kentte yaşayanların hafızasında yer alan benzersiz imajlardan oluşan konsept, o kentin kimliğine yansımaktadır (Rıza ve ark., 2012). Bu nedenle kent kimliği o kent için tekrar üretilemeyen ancak sürekliliği sağlanabilen özel bir olgudur.

Lynch (2015) "Kent İmgesi" adlı çalışmasında, kenti temel olarak 5 görsel algılama birimine bölmüştür ve insanların kafasında kentlerin belleksel bir harita şeklinde bulunduğunu ve insanların bu sadeleştirmelerle kentte yolunu bulduğunu ifade etmektedir. Temel olarak 5 görsel algılama birimleri ise;

1. Yol: sokaklar, kaldırımlar, patikalar, doğrultular, insanların üzerinde gittiği her kanal,
2. Kenar: duvarlar, bina kenarları, kıyıları gibi algılanan sınırlar,
3. Bölge: belli bir ortak karaktere sahip büyükçe alanlar,
4. Düğüm noktası: merkezi noktalar, meydanlar, kavşaklar,
5. Anıt: bölgedeki diğer her şeyden farklı, kolayca algılanabilen ve bir referans noktası oluşturabilecek objelerdir.

Kent kimliği geniş bir kavram olması nedeniyle farklı türlere ayrılabilir. Kent kimliği; fiziksel kimlik, sosyal kimlik, kültürel kimlik, tarihsel kimlik, biçimsel kimlik ve kent işlevlerinin ortaya koyduğu kimlik olarak çeşitlilik göstermektedir. Bugün kent kimliğinden daha çok, kent işlevlerinin ortaya koyduğu kimlik olarak söz edilmektedir. Ancak bu sadece kent kimliğinin bir türünü ifade etmektedir (Özgür, 2011).

Kentsel kimlik, bir kentin veya çevrenin doğal, yapay elemanları ve sosyo-kültürel özellikleriyle tanımlanır. Bu özelliklerin içinden belirgin ve etkileyici olabilenler, o kentin kimliğini oluşturmaktadır (Oğurlu, 2014). Tüm bu araştırmalardan yola çıkılarak bir kentin kimliğinin, karakterinin; kentin doğal, sosyo-kültürel, sosyo-ekonomik ve yapılaşmış çevresinin mekânsal öğeleri ile bir bütün olarak değerlendirilmesinin gerekliliği ortadadır. Bu nedenle, Şekil 1.2'de gösterildiği gibi kent kimliği bileşenleri, çalışma kapsamında yapılan literatür araştırması sonucunda aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Topçu, 2011).



Şekil 1.2. Kentsel kimlik bileşenleri (Topçu, 2011)

Kentsel kimlik elemanı olarak değerlendirilen bu bileşenler, farklı kentlerde farklı değerler olarak ön plana çıkabilmektedir. Gelibolu Yarımadası'nın savaşla kazanmış olduğu anlam, İstanbul'un coğrafyası ve doğal değerleri, Şanlıurfa'nın iklimsel özellikleri gibi değerler ve kentin biçimlenmesinde ağırlıklı olan öğeler bu farklılığa örnek olarak gösterilebilir (Uçkaç, 2006).

Kentsel kimlik, toplumların yaşam biçimlerinin ve çevreyle etkileşim düzenlerinin fiziksel mekâna yansıma göstergesidir. Kentsel kimlik aslında kentin sahip olduklarının, kullanıcılar tarafından nasıl algılandığının da bir sonucudur. Kent hangi mimari ve işlevsel donanımlara sahip olursa olsun, insanların algısı, kentsel kimliğin en önemli belirleyicilerinden biridir. Her kentin kendine özgü bir tarzı, dokusu, fiziksel ve sosyal yapısı bulunmaktadır. Bu durum kent kimliğinin oluşum nedenlerini ortaya çıkarmıştır. Her kent ya da yerleşim bölgesi için ortaya çıkan belirli farklılıklar ve değişkenler kent kimliğinin oluşumunu sağlamıştır (Çöl, 1998).

“Bir kentte hayran kaldığın şey onun yedi ya da yetmiş harikası değil, senin ona sorduğun bir soruya verdiği yanıtıdır” (Calvino, 1972) yaklaşımı kent kimliğinde kullanıcının atfının önemli olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda kentin "ne" olduğu kadar, "nasıl" algılandığı o kentin kimliği açısından son derece önemlidir. Yapılan çalışmanın amacı, kent kimliğinin ve bileşenlerinin kent kullanıcıları tarafından belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda geçmişten günümüze Çanakkale için önemli bir kentsel bölge olan kent merkezinin nasıl algılandığı, kimliğinin ne olduğu sorgulanmıştır. Çalışma amacı bağlamında; Çanakkale kent merkezinin beşeri, doğal ve yapay çevreden kaynaklı kimlik bileşenleri analiz edilmiştir. Analizlerde kent kullanıcılarına yönelik yapılan anketlerden elde edilen bilgilerle kentsel kimlik bileşenleri saptanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

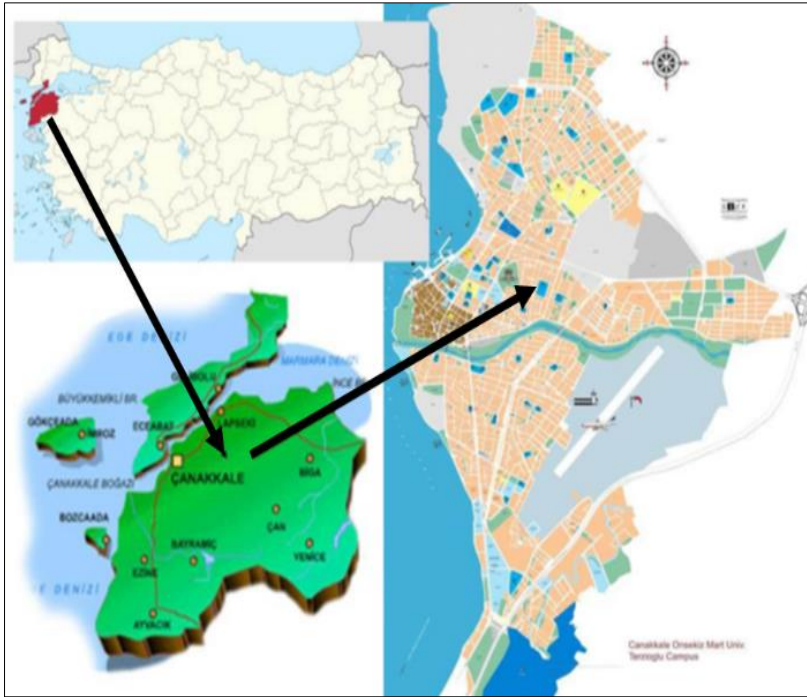
### 2.1. Materyal

Çalışmanın birincil materyalini Çanakkale kent merkezi oluşturmaktadır. Konu, kapsam ve alana yönelik yapılan literatür çalışmalarından elde edilen veriler ile anket formları ikincil materyal olarak kullanılmıştır. Kentsel kimlik kavramını anlamak ve yorumlamak için örneklem alanı olarak Çanakkale kent merkezi seçilmiştir (Şekil 2.1). Bu seçimin yapılmasında,

- Çanakkale kentinin en önemli kentsel bölgesini oluşturması,

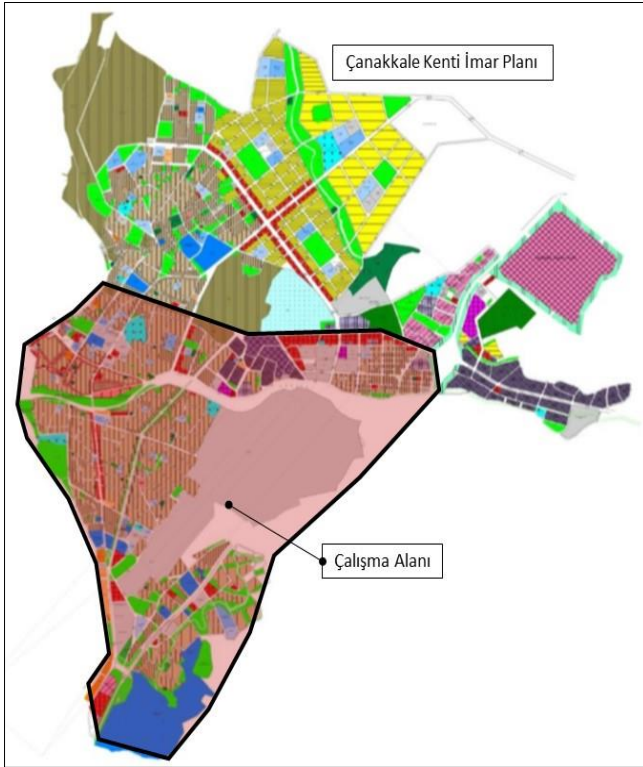
- Kentin tarihi açıdan ilk yerleşim bölgesi olması,
- Merkez ilçe olma özelliği,
- Çanakkale kimliği açısından önemi,
- Çanakkale kentinde gerçekleşen değişimlerin büyük bölümünün bu ilçede olması,
- Kıyı ile bütünleşen yapıda olması,
- Önemli ticaret ve hizmet alanlarının bulunması,
- Doğal ve kültürel özellikler ile kültür, sanat ve spor etkinlikleri ile dinamik bir ilçe olması,
- Pek çok döneme ait eserin bu alanda bulunması etkili olmuştur.

Çanakkale, tüm ülkelere ilham vermiş olan bir destanın yaşandığı yer olan Troya Antik Kenti nedeniyle dünya sahnesinde bilinirliği olan kenttir. Bu nedenle tarihi ve kültürel yönü güçlü olup coğrafi özellikleri ve konumu itibariyle ülkemiz ve dünya açısından önem taşıyan bir kenttir.



Şekil 2.1. Çalışma alanının ülke ve Çanakkale içindeki konumu (Google Haritalar'dan değiştirilerek)

Çalışma alanı; Çanakkale kentinin en önemli kentsel bölgesini oluşturan ve bir çok kentsel bileşeni bulunduran kent merkezidir. Çalışma alanı sınırları; Üniversite Kavşağı – Piri Reis Caddesi – D200 Karayolu – Bursa/İzmir karayolu aksları arasında kalan bölge olarak belirlenmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Çanakkale kenti imar planı ve çalışma alanı

## 2.2. Yöntem

Çalışma yöntemi; “Konunun Tanımlanması”, “Veri Toplama”, “Bulgular ve Analiz” ile “Sonuç” olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. “Konunun Tanımlanması” aşamasında konuya ilişkin kavramsal ve kuramsal araştırmalar yapılmıştır. Araştırmanın “Veri Toplama” aşamasında, kentsel kimlik bileşenlerinin saptanması amacıyla kullanıcı değerlendirmesine ulaşmayı sağlayan anket yönteminin kullanılmasına karar verilmiş olup çalışmaya yönelik yöntem belirlenmiştir.

Anket formlarının hazırlanmasında konuya ilişkin literatür çalışmalarından elde edilen bilgilere ek olarak Lynch (2015), Kodal (2014) çalışmaları yönlendirici olan kaynaklardır. Çalışmada, Çanakkale kentinde yaşayan kentlilere anketler yüz yüze yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Veri girişi aşamasında toplam 112 anket uygulama için kullanılmıştır. Çanakkale kent merkezinde 132.854 (TÜİK, 2018) kişi yaşamaktadır. Yani; anakütle 132.854 kişiden oluşmaktadır. Ankete katılmayı kabul eden Çanakkale kent kullanıcı sayısının robust (sağlam) sonuçlar üretebilme yeteneğini tespit edebilmek açısından Güç (power) analizi G\*POWER 3.1 sürümüyle yapılmıştır. Çalışmalarda, istatistiksel gücün  $1-\beta=0.95$  olmasının yeterli olduğu Cohen (1988) ve Parajapati ve ark. (2010)’nın yapmış oldukları çalışmalarda ortaya koyulmuş olup ilişkiler ve grup farklılığı hesaplanacağı belirtilerek sonuçlar elde edilmiştir. İstatistik anlamlılık düzeyi  $\alpha=0.05$  olarak belirlenmiştir.

Anket uygulaması, 2018 yılı Nisan-Mayıs ayı tarihleri arasında yapılmış olup, toplamda 15 adet (sosyo-demografik profil, derecelendirme, sıralama ve açık uçlu sorular) soru sorulmuştur. Araştırmada uygulanan anket formlarında araştırma alanına yönelik algısal değerlendirmelerin ve görüşlerin sorgulandığı, imgesel sorgulamayı hedefleyen açık uçlu sorulara yer verilmiştir. Böylece anket formunun yönlendirici olmamasına özen gösterilmiştir. Anket formunda üç adet demografik özelliklerin sorgulandığı, 1 adet derecelendirme, 6 adet

önem derecesi göre sıralama ve beş adet açık uçlu tipte olmak üzere toplam 15 adet soruya yer verilmiştir.

“Bulgular ve Analiz” bölümünde anket sorularına verilen cevaplar, IBM SPSS 22.0 (Statistical Packages For Social Sciences) programı aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmış olup önem derecesine göre sıralamalar yapılmıştır. Çanakkale kenti için kullanıcının kente yönelik oluşturduğu imgeyi ölçmek üzere sunulan ifadeleri kabul etme dereceleri 5’li Likert tekniği ile saptanmasından oluşmaktadır. Anketin dördüncü kısmında ise; yol-engel-sınır-meydan-toplanma alanı- görsel-işitsel-koku gibi kentsel kimlik bileşenlerinin kullanıcılar tarafından belirlenmesi istenmektedir. Anketin son kısmında; kent kullanıcılarının demografik yapısı ile Çanakkale’de bulunma sürelerine ilişkin sorulara yer verilmektedir.

Çalışmanın “Sonuç” bölümünde araştırma alanı olan Çanakkale kent merkezine yönelik kent kullanıcılarının imgesel algısında öne çıkan kimlik bileşenleri saptanmıştır.

### **3. Bulgular**

#### **3.1. Çalışma Alanına İlişkin Bulgular**

Çanakkale kenti için bir tanımlama yapılırken, Türkiye ve dünya üzerindeki coğrafi konumunu dikkate almak gerekmektedir. Çanakkale; dünya üzerinde denizleri birbirine bağlayan önemli geçiş noktalarından birisi olan Çanakkale Boğazı’nın iki yakasında kurulmuş bir kenttir. Kent, kuruluşundan itibaren stratejik önem taşımış olup tarihi ve kültürel değerleri künyesinde bulundurmaktadır (Soydan, 1997). Mavi ile yeşilin bulunduğu bir coğrafyada odak nokta olan Çanakkale kenti Edirne, Tekirdağ ve Balıkesir illeriyle çevrilidir.

Türk ve dünya tarihinin en dramatik ve en anlamlı olaylarından birisini oluşturan ‘Çanakkale Savaşları’nın Çanakkale topraklarında yaşanmış olması Çanakkale kentini diğer kentlerden ayıran en önemli özelliğidir. Tarihin en yakın tanığı olan Çanakkale, kolektif bellekte oluşturduğu güçlü etki ile diğer kentlerden ayrıcalıklı konumdadır.

Çanakkale’yi değerli kılan tüm özellikler bölgede sürekli olarak birçok medeniyete ait yerleşimler kurulmasına neden olmuştur (Tombul, 2015). Bu yerleşimler ile renkli bir kültür mozaiği ortaya çıkmıştır. Genç bir kent olan Çanakkale’de, ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından organize edilen festivaller, bienaller, sanatsal faaliyetler düzenli olarak yapılmaktadır.

Dünyanın önemli kültürel miraslarından biri olan Troya Destanı kente evrensel bir değer katmaktadır. UNESCO; Troya’nın Dünya Kültür Mirası Listesine kabul edilmesinin 20. yılı olması nedeniyle tüm dünyada 2018 Troya Yılı’nı ilan etmiştir. Bu kapsamda; yapılan çalışmanın, kentte yapılan etkinliklerin bilimsel basamağında önem taşıyacağı düşünülmektedir.

#### **3.2. Çanakkale Kent Merkezi Tarihi**

Çanakkale kent merkezi, geçiş noktasında olması nedeniyle güvenlik bakımından yetersiz durumdadır. Bu sebeple ege denizinden gelebilecek her türlü tehlikeye karşı boğazın iki yakasında kale inşa ettirilmiştir (Koç, 2006). Boğaz’ın Asya yakasında 1462-1463 yılında inşa ettirilen kaleye Kala-i Sultaniye, Avrupa yakasında yapılan kaleye Kilid-ül Bahir adı verilmiştir. Kala-i Sultaniye’nin inşa edildiği tarihte bu bölgede bir yerleşim mevcut olmayıp

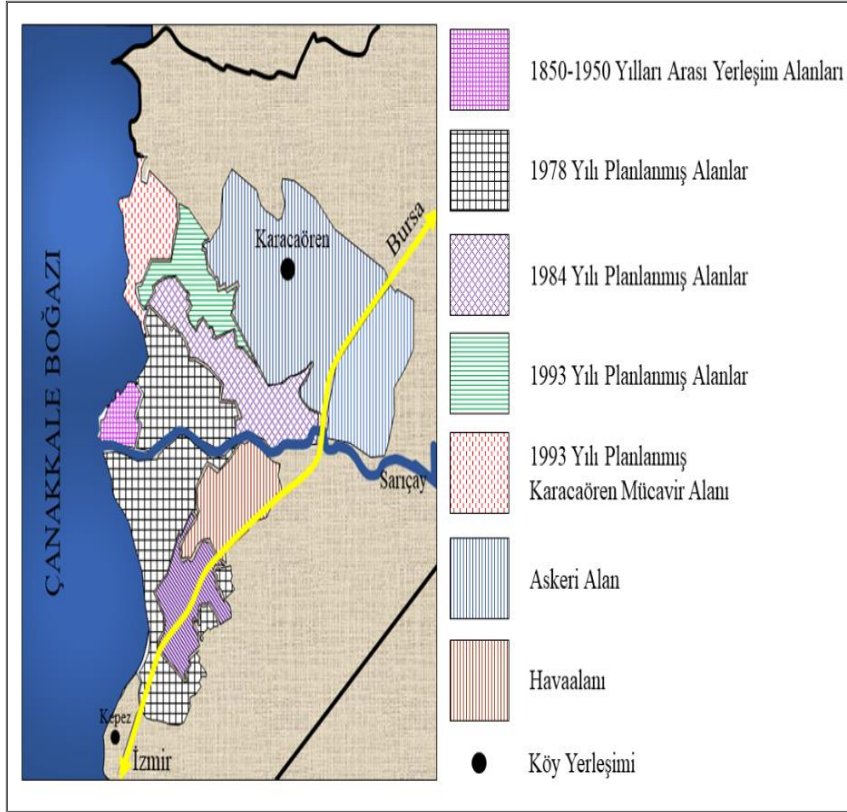
en yakın yerleşme, kentin kuzeyinde gelişim göstermiştir. Osmanlı'nın son döneminde Kala-i Sultaniye ismiyle birlikte, kalenin çanağa benzemesinden dolayı halk tarafından verilen Çanakkale adı kullanılmaya başlanmıştır (Anonim, 2018b).

Savunma amaçlı kurulan kent ve bu amaç doğrultusunda yapılan kalelerin bulunduğu alanların yakın çevresinde ilk yerleşim bölgeleri gelişim göstermiştir. Günümüzde kentin dokusunda önemli olan bu bölgeler Fevzipaşa Mahallesi ve yakın çevresi olarak tanımlanmaktadır.

### 3.3. Çanakkale Kentinin Mekânsal Oluşum Süreci

Çanakkale'de özellikle son yıllarda hareketli bir yapılaşma ve kentleşme hızı gözlenmektedir. Çanakkale kenti Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Bölgesinin güneybatısında, Çanakkale Boğazı'nın en dar yerinde konumlanmıştır (Anonim, 2014). Bu konum kenti biçimlendiren en önemli etkidir. Çanakkale kentinin yerleşim karakterindeki değişiklikler sosyal, kültürel ve siyasi olaylarla yakından ve doğrudan ilişkilidir. Bu kentsel gelişim sürecini Şekil 3.1'de gösterildiği üzere Koç (2006) şu şekilde ele almaktadır. 1462 yılı kentin kuruluşu, 1462 – 1700 yılları arası savunma ve garnizon kenti, 1700 – 1900 yılları arası ticaret kenti, 1900 – 1950 yılları arası savaşlar ve yıkım, 1950 – 1960 yılları arasında ilk planlama dönemi, 1960 – 1970 yılları arasında büyüyen ve yükselen kent, 1980 – 1984 yılları arasında İmar Yasası değişikliğine göre kamu eliyle yapılaşma, 1984 – 2000 yılları rantsal gelişimin arttığı dönem olmuştur. 2004 ve sonrasında korumacı bir yaklaşım sergilenmiştir (Sağlık, 2014). Yerel Gündem 21 ve Çanakkale Kent Konseyi oluşumları, kenti sürdürülebilirlik kavramı ile tanıştırmıştır. Çanakkale Belediyesi ve kentin diğer aktörlerinin katılımı ile Kent Konseyi tarafından hazırlanan Kent Eylem Planı, imar planları ile birlikte bir stratejik plan olarak kente kazandırılmıştır (Anonim, 2018c). Yerel Gündem 21 ve Kent Konseyi'nin varlığı kentin geleceği için yapılan çalışmalarda önemli paydaşları oluşturmaktadır. Böylece kentin kimliğinin tanınması, korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için önemli bir yaklaşım sergilenmektedir.





Şekil 3.1. Çanakkale Kentinin Kronolojik Gelişim Haritası (Koç, 2006)

### 3.4. Anket Uygulaması Bulguları

Kent kullanıcılarının yaşadıkları kenti kimliksel açıdan nasıl değerlendirdiği ve algıladığını anlamak amacıyla yöntem bölümünde de açıklandığı üzere, çalışma alanında 112 kişi ile bir anket görüşmesi yapılmıştır.

Ankete katılan kent kullanıcılarının demografik yapısı Çizelge 3.1'de gösterildiği gibidir. Rastlantısal örnekleme tekniği ile uygulanan ankete katılanların %66.1'i kadın ve %33.9'u erkektir. Ankete katılan kullanıcıların meslekleri incelendiğinde %25.9'u kamu sektöründe, %23.2'sinin özel sektörde çalıştığı, %50.9'unun öğrenci olduğu belirlenmiştir. Kent kullanıcılarının Çanakkale'de bulunma süreleri sorgulandığında %49.1'i 0-5 yıl, %14.3'ü 6-10 yıl, %11.6'sı 11-15 yıl ve %25'i 16 ve üstü yıl arasında yaşadıkları belirlenmiştir. Kentin uzun süreli misafirlerinin imgelerini ölçmek çalışmanın amacına ulaşmasını desteklemektedir.

Çizelge 3.1. Ankete katılan kent kullanıcılarının demografik yapısı

Cinsiyet	Yüzde (%)	Meslek	Yüzde (%)	Çanakkale'de bulunma süreleri	Yüzde (%)
Kadın	66.1	Kamu	25.9	0-5 yıl	49.1
Erkek	33.9	Özel sektör	23.2	6-10 yıl	14.3
Toplam	100	Öğrenci	50.9	11-15 yıl	11.6
		Toplam	100	16 ve üstü yıl	25
				Toplam	100

Kent kullanıcılarına göre Çanakkale kentini tanımlayan "Kimlik Tipi" tanımlaması için Tarih -Spor - Turizm -Ticaret - Sanayi - Savunma/Askeriye - Üniversite - Rüzgar - Kültür - Boğaz - Deniz -Liman-Barış Kenti kavramları arasından en iyi tanımlayan ilk üç ifadenin sıralaması Çizelge 3.2'de yer almaktadır. Veriler doğrultusunda kent kullanıcılarının Çanakkale kenti



için belirlediği 1. sırada kimlik tipi Tarih Kenti; 2. sırada kimlik tipi Turizm Kenti; 3. sırada kimlik tipi ise Boğaz Kenti şeklinde belirlenmiştir. Spor, sanayi, ticaret ve savunma kavramları hiç işaretlenmemiştir.

Çizelge 3.2. Çanakkale Kentini Tanımlayan "Kimlik Tipi" tanımlaması

	Kimlik Tipi Tanımlama Sıralaması	Tanımlayıcı Kavram
Kentın Kimlik Tipi Tanımlaması	1.sıra	Tarih kenti
	2.sıra	Turizm kenti
	3.sıra	Boğaz kenti

Çanakkale kentinin kültürel ve ekonomik kimliğini yansıtan kavramların değerlendirilmesi Çizelge 3.3'te gösterildiği gibidir. Ankete katılan kent kullanıcıları Çanakkale kentinin kültürel değerini belirlemek için "Tarih- Turizm-Askeriye-Deniz Rüzgar-Tarım Ürünleri-Balıkçılık-Halk Oyunları-Yöresel Mutfak-Geleneksel El Sanatları-Diğer" kavramları arasından %91.07 oranla Tarih kavramını seçmiştir. Çanakkale kentinin ekonomik kimliğini yansıtan kavram nedir sorusuna verilen yanıtlar doğrultusunda %37.5 oranla Tarih olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Çanakkale Kentinin kültürel ve ekonomik kimliğini yansıtan kavramlar

Kimliği Yansıtan Kavramlar	Tanımlayan Kavram	Ağırlık (%)
Kültürel kimlik	Tarih	91.07
Ekonomik kimlik	Tarih	37.5

Çanakkale kentini simgeleyen kentsel donatı, işaret ve yerleşim ölçeğinde simgeler Çizelge 3.4'te gösterildiği gibi analiz edilmiştir. Ankete katılan kent kullanıcıları Çanakkale kentini simgeleyen kentsel donatı birimi olarak sırasıyla "rüzgâr gülleri-manolya ağacı-çeşme-oturma birimleri-otobüs durakları-zemin kaplaması-bisiklet istasyonları" kavramları arasından %42.85 oranla Rüzgar Gülleri seçmiştir. Ankete katılan kent kullanıcıları Çanakkale kentini simgeleyen kentsel işaret değeri nedir sorusu için "Truva Atı, Saat Kulesi, Nusret Mayın Gemisi, Aynalı Testi, Feribotlar, Sarıçay Köprüsü, Yatlar, Balık Tutan Kentliler, İnönü Köprüsü, Dur Yolcu" değerleri arasından %19.64 oranla Saat Kulesi yapısal ögesini seçmişlerdir. Kent kullanıcılarına göre 'Çanakkale Kenti kimliğini simgeleyen yerleşim ölçeğinde aklınıza gelen ilk üç alan neresidir' sorusu yöneltilmiştir. Verdikleri yanıtlar doğrultusunda önceden belirlenmiş olan öneriler arasından %60.71 oranla İskele Meydanı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Kimliği simgeleyen ölçekler için kullanılan kavramlar

Kimliği simgeleyen ölçekler	Tanımlayan Kavram	Ağırlık (%)
Kentsel mobilya-donatı ölçeğinde kimlik	Rüzgar Gülleri	42.85
İşaret ölçeğinde kimlik	Saat kulesi	19.64
Yerleşim ölçeğinde kimlik	İskele Meydanı	60.71

Kent kullanıcılarının Çanakkale kenti için oluşturdukları imgeleri kabul etme dereceleri Çizelge 3.5'te yer aldığı gibidir. Kent kullanıcılarının Çanakkale için oluşturdukları imgelerini ölçmeye yönelik sorular sorulmuştur. Verilen yanıtlar doğrultusunda; %44.6 oranla kentin bilişsel haritasını çizebileceği; %43.8 oranla kenti eski bir fotoğraftan tanıyabileceği; %50 oranla kullanıcı için kentte mimari özellikleri olan yerler bulunduğu; %46.4 oranla kullanıcı için kentte sosyal ve psikolojik açıdan anlamı olan yerler olduğu; %87.5 oranla

kentin kültürel yapısı, mimari özellikleri ve tarihi geçmişinin kullanıcılar için önem taşıdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 3.5. Kent kullanıcılarının Çanakkale için oluşturdukları imgeler

Kent İmgesi	Kabul etme durumu	Ağırlık (%)
Kentin bilişsel haritasını çizebilme algısı	Kabul ediyorum	44.6
Kenti eski bir fotoğraftan tanıyabilme algısı	Kararsızım	43.8
Kent mimari özellikleri olan yerlerin varlığı	Kabul ediyorum	50
Kentte sosyal ve psikolojik açıdan anlamlı yerlerin varlığı	Kabul ediyorum	46.4
Kentin kültürel yapısı, mimari özellikleri ve tarihi geçmişi önemsiz	Kesinlikle kabul etmiyorum	87.5

Kent kullanıcılarının Çanakkale’de simgesel yollar, kentin gelişimini engelleyen sınırlar, odaklar ve duyuşsal algı öğelerine ilişkin yaptıkları değerlendirmeler Çizelge 3.6’da verilmiştir. Ankete katılan kent kullanıcılarının Çanakkale’de en sık kullandıkları ulaşım aksları sorulmuştur. Verilen yanıtlar içerisinde Atatürk Caddesi %32.5 gibi büyük bir farkla ilk sırada yer alırken; Demircioğlu caddesi %14.3, İnönü Caddesi %13.4 oranlarıyla takip eden caddeler olarak belirlenmiştir. Ankete katılan kent kullanıcılarına Çanakkale kentinde mekânsal bölünmelere neden olan engeller sorulmuştur. Verilen yanıtlar içerisinde Sarıçay %53.6 gibi büyük bir farkla ilk sırada yer alırken; Troya Caddesi (%8) ve Havaalanı (%15.4) kenti bölen veya sınırlayan diğer engeller olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.6). Ankete katılan kent kullanıcıları Çanakkale kentinde toplanma, meydan ve kavşak niteliğindeki alanlar Cumhuriyet Meydanı (%29.5), İskele Meydanı (%15.2) ve Saat Kulesi Meydanı (%9.8) olarak değerlendirilmiştir. Ankete katılan kent kullanıcıları Çanakkale kentinde görsel, işitsel, koku gibi duylara hitap eden algı öğeleri sorgulanmıştır. Verilen yanıtlara göre; görsel algı öğesi olarak: Truva Atı (%29.5), panoramik boğaz manzarası (%15.2) koku algı öğesi ise deniz kokusu (%9.8) olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3.6. Kent kullanıcıları tarafından Çanakkale’ye ilişkin öğelerin değerlendirilmesi

	Tanımlanan Değerler	Sıralama	Yüzde (%)
Yollar	Atatürk Caddesi	1,00	32,5
	Demircioğlu Caddesi	2,00	13,4
	İnönü Caddesi	3,00	14,3
Engeller Sınırlar	Sarıçay	1,00	53.6
	Troya Caddesi	2,00	8
	Havaalanı	3,00	13.4
Odaklar	Cumhuriyet Meydanı	1,00	29.5
	İskele Meydanı	2,00	15.2
	Saat Kulesi Meydanı	3,00	9.8
Duyuşsal algı öğeleri	Truva Atı	1,00	29.5
	Boğaz Panoramik Manzara	2,00	15.2
	Deniz Kokusu	3,00	9.8

#### 4. Sonuç

Kullanıcı algısına yönelik kentsel kimlik analizini konu alan bu çalışmada araştırma alanı olarak Çanakkale kent merkezi seçilmiştir. Daha önceki bölümde vurgulandığı üzere bu alanın seçilmesinde, kentin geçmişten günümüze kentsel kimliği yansıttığı düşünülen bileşenleri taşıması önemli faktör olmuştur. Kentin sahip olduğu farklı katmanların ışığında kimliğinin ortaya çıkarılması ve sürekliliğinin sağlanabilmesi için kayıt altına alınması gerekliliği düşünülmektedir. Nüfusu yaklaşık 132 bin olan Çanakkale; zengin doğal, kültürel, tarihi ve çevresel değerler ile evrensel bir öneme sahip kıyı ve boğaz kentidir.

Aslanoğlu (2000) çalışmasında Bursa'ya ilişkin kentsel kimlik tespitinde tarihi sürecin etkili olduğunu belirtmiştir. Şahin (2011) yaptığı çalışmada; Eskişehir'i ise, coğrafi konum nedeniyle kente gelen muhacirlerin yerleşimlerinden dolayı göçmen kenti olarak tanımlamıştır. Kentsel kimliğin bileşenlerinden olan yollar; kentin günlük hayatında en çok kullanılan güzergahlardır. Lynch (2015), yapmış olduğu çalışmada; Boston için Tremont Caddesi, Jersey City için Hudson Bulvarına ulaşan yollar; Los Angeles için otoyollar olarak belirlemiştir. Bu çalışma ile Çanakkale kentinin kavramsal yapısının tarih, turizm ve boğaz kompozisyonundan oluştuğunu ortaya koymaktadır. Çanakkale kentinin kimlik bileşeni olarak yer alan yollar ise; Atatürk Caddesi, Troya Caddesi ve İnönü Caddesi olarak kimlik kartında yer almaktadır.

Kent içerisinde yollar kadar etkili olmayıp kolay algılanmayan ancak sürekliliği hissedilen kimlik bileşeni kenar/sınır engel öğeleridir. Bu kapsamda Lynch (2015)'in çalışmasında; Boston kentinde yer alan Charles Nehri'ni en büyük kenar olarak tanımlamıştır. Çanakkale kentinde yapılan bu çalışma ile Boston kentine ilişkin tespiti benzerlik göstermektedir. Çanakkale kentinin sahip olduğu kıyı uzunluğu ve boğazın varlığı kentsel kenar/sınır niteliği taşımaktadır.



















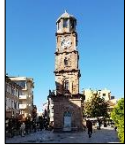
Kentlinin günlük hayatında kullandığı, çeşitli etkinlikler için bir araya geldiği; önemli yolların kesişerek yoğun kullanımların olduğu alanlar kentsel kimlikte odaklar olarak tanımlanmaktadır. Lynch (2015) çalışmasında; Boston'da Scolloy Meydanı, Los Angeles'ta Pershing Meydanı'nı kentsel odak olarak tespit etmiştir. Bu çalışmaya benzer olarak Çanakkale kenti için kentsel odaklar Cumhuriyet Meydanı, Saat Kulesi Meydanı ve İskele Meydanı olarak sıralanmaktadır. Bu kentsel odaklar aynı zamanda kent kullanıcısı tarafından yerleşim ölçeğinde bölgeler olarak tanımlanmaktadır.

Kentsel donatı ve işaret öğeleri kentin silüetinde yer alan ve kentsel alanda referans noktalar niteliğindeki yapısal değerlerdir. Lynch (2015) çalışmasında; Los Angeles'ta belediye binasına ait olan yapının çatı bölümü kentte işaret öğesi olarak tanımlanmıştır. Çanakkale kentinin kentsel donatı ve işaret öğeleri ise; rüzgar gülleri ve Saat Kulesi olduğu bu çalışma ile tespit edilmiş olmaktadır.

Bir kentin kimliğini analiz ederken kentin alanlarının içine girmek orada bulunmak gerekmektedir. Bu nedenle çalışma alanına yönelik kent kullanıcılarına uygulanan anketler ile çalışma desteklenmiştir. Bu süreçte kentliler, günlük yaşamın yoğun temposu içinde çalışmamıza kentlilik bilinci çerçevesinde gönüllü olarak zaman ayırmışlardır. Kent kimliği kavramı güçlendikçe kent kullanıcıları için o kenti benimsemek ve sahiplenmek daha anlamlı olmaktadır. Kent kullanıcılarının uzun ya da kısa süreli kentte bulunma durumları değişkenlik göstermesine karşın kente yönelik oluşan imgeler ortak bir tablo çizmektedir. Çalışma

kapsamında belirlenen yöntem ile Çanakkale kentine ait kentsel kimlik bileşenleri tespit edilmiş olup Çanakkale kentsel kimlik kartı oluşturulmuştur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4. 1. Çanakkale kentsel kimlik kartı

<b>Çanakkale Kentsel Kimlik Kartı</b>			
Kimlik Tipi	Tarih Kenti	Turizm Kenti	Boğaz Kenti
			
Kentsel yerleşim ölçeğinde kimlik	İskele Meydanı	Cumhuriyet Meydanı	Saat Kulesi Meydanı
			
Kent yolları	Atatürk Caddesi	Troya Caddesi	İnönü Caddesi
			
Kentsel sınır/engeller	Sarıçay	Troya Caddesi	Havaalanı
			
Kentsel odak alanları	Cumhuriyet Meydanı	Saat Kulesi Meydanı	İskele Meydanı
			
Kültürel kimlik	Tarih		
Ekonomik kimlik			
Kentsel donatı ölçeğinde kimlik	Rüzgar Gülleri	Kentsel işaret ölçeğinde kimlik	Saat Kulesi
			

Kentsel kimlik bileşenlerini tanımak, korumak ve geliştirmek için gereken duyarlılık ortaya çıkmaktadır. Kentin geleceği için yapılan çalışmalarda kimlik bileşenlerinin kent günlüğüne yansıtıldığı bir tasarım dili oluşturulmalıdır. Kentte yaşamak olgusu yerine kenti yaşamak ancak kimlikli kentlerde mümkün olmaktadır. Bu nedenle;

- Kentlerin planlanmasında tek tip kent olma kaygısının önüne geçmek

- Mekânlara anlam kazandırmak, kentin sahip olduğu kimliği korumak,
- Kentin kavramsal yapısını destekleyen, kentin kimlik bileşenleri ile bütünleşen çalışmalar yapmak
- Kentin özgünlüğünü koruyarak tarihsel ve kültürel değerlerini mekânlara ve kentin günlüğüne yansıtmak,
- Tarih ve kültürel değerlerin sürdürülebilir olmasını sağlamak
- Kentlerin okunabilirliğini ve kentsel mekanların erişilebilirliğini kolaylaştırmak
- Doğal ortam verilerinin analiz etmek ve kentsel tasarıma entegre edilmiş çalışmalar yapmak
- Kenti tanımaya yardımcı olan, kentsel yaşamın geçtiği ve toplumun sosyalleşmesine olanak veren alanlarda tasarımlar yapmak; bu alanlarda sosyo-kültürel referans noktaları oluşturan işaret öğelerini kaliteli tasarım yaklaşımları ile ön plana çıkarmak,
- Kentin doğal ve çekici panoramik görsel etki değerini kentli için ulaşılabilir kılan tasarım yaklaşımları sergilemek gerekmektedir.

## Kaynakça

- Anonim, 2014. Çanakkale Kent Rehberi. Çanakkale Belediyesi Kültür Hizmeti.
- Anonim, 2018a. Oxford Dictionary. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/identity>  
Erişim Tarihi: 17.11.2018
- Anonim, 2018b. Çanakkale Rehberi. T.C. Çanakkale Valiliği. <http://www.canakkale.gov.tr/tr>
- Anonim, 2018c. Çanakkale Kent Konseyi. <http://www.canakkalekentkonseyi.org/kent-konseyi-tanitim-vizyon-misyon/>
- Aslanoğlu R.A., 2000. Kent, Kimlik Ve Küreselleşme (2. Baskı). Ezgi Kitabevi, Bursa.
- Calvino I., 1972. Görünmez Kentler. Yapı Kredi Yayınları. 19. Baskı; Syf:40.
- Cohen J., 1988. Statistical Power Analysis For The Behavioral Sciences. Hillsdale, NJ: L.
- Çöl Ş., 1998. Kentlerimizde Kimlik Sorunu Ve Günümüz Kentlerinin Kimlik Derecesini Ölçmek İçin Bir Yöntem Önerisi. Doktora Tezi. Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Google Images, (17.11.2018). Architecture of the City.  
<http://mirandasurbandesignseminarcourse.blogspot.com/2016/10/module-3-influential-urban-design.html>
- Koç T., 2006. Çanakkale'nin Kentsel Gelişimi (1462-2006) İle Fiziki Coğrafya İlişkisi. Çanakkale Kent Konseyi Yayınları Kitap Dizisi, Yayın No: 2, Çanakkale.
- Kodal G., 2014. Atapark Ve Tabakhane Köprüsü Arasındaki Tarihi Aksın Kent Kimlik Bileşenleri Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lynch K., 2015. The Image of The City, (2. Bas.). Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Mansour H., 2015. The Lost Identity of The City: The case of Damascus. CITTA 8 th Annual Conference on Planning Research AESOP TG Public Spaces & Urban Cultures Event.
- Oğurlu İ., 2014. Çevre - Kent İmajı - Kent Kimliği - Kent Kültürü Etkileşimlerine Bir Bakış. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(26): 275-293.

- Okumuş G., 2011. Sürdürülebilir Kentsel Yenileme İçin Bir Yaklaşım: Çanakkale Fevzipaşa Mahallesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgür Ş., 2011. Akdeniz Kentlerinin Karakteristik Özelliklerinin Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi: Antalya Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pazhuhan M., Zayyari K., Ghasemzadeh B., Qurbanı H., 2015. Urban Identity And Iranian New Towns. *Journal of Urban and Regional Analysis*, VII (1): 83 – 100.
- Prajapati B., Dunne M., Armstrong R., 2010. Sample Size Estimation And Statistical Power Analyses. *Optometry Today*, 7:1-9.
- Rıza M., Doratlı N., Faslı M., 2012. City Branding and Identity. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 35: 293 – 300.
- Sağlık A., 2014. Çanakkale Kenti Rekreasyon Potansiyelinin Kentlerin Yaşanabilirliği Açısından Değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Soydan S., 1997. Çanakkale Kent Kimliği TMMOB Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası, Haber Bülteni Sayı:36, İstanbul.
- Şahin C., 2011. Bir Göçmen Kenti Olarak Eskişehir Ve Eskişehir'in Sosyo-Kültürel Yapısında Tatar Kimliği. *İdeal Kent, Kent Araştırmaları Dergisi* 3: 220-242.
- Tavakoli N., 2010. The Role Of Physical Identity Of City In Urban Sustainability (The Case Study: Yazd, Iran). 14 Th International Planning History Society Conference.
- TDK, 2018. (15.11.2018). Güncel Türkçe Sözlük, 2018. T.C. Başbakanlık Atatürk Kültür Dil Ve Tarih Yüksek Kurumu Türk Dil Kurumu.  
[http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&view=gts](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&view=gts) Erişim Tarihi: 17.11.2018
- Tombul M., 2015. Çanakkale Kültür Envanteri, Arkeolojik Yerleşim Alanları Ve Sanat Tarihi Yapıları. Çanakkale Valiliği.
- Topçu K., 2011. Kent kimliği üzerine bir araştırma: Konya örneği. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi* 8:2.

TÜİK, 2018. (15.11.2018). Türkiye İstatistik Kurumu, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi.  
<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>

Uçkaç L., 2006. Kentsel Tasarımın Kent Kimliği Üzerine Etkileri: Keçiören Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Zhou B., Liu L., Oliva A., Torralba A., 2014. Recognizing City Identity via Attribute Analysis of Geo-Tagged Images. Lecture Notes In Computer Science, Vol 8691.



## Bazı Nar Çeşitlerinde Farklı Çiçek Tiplerinin Çiçek Tozu Çimlenme Gücünün Belirlenmesi

Meryem Gülce Aytan<sup>1\*</sup>, Hakan Engin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri ABD

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü

16.11.2018 Geliş/Received, 14.03.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Bu çalışma bazı nar çeşitlerinde farklı çiçek tiplerinin çiçek tozu çimlenme gücünün belirlenmesi amacıyla, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesi nar bahçesinde yer alan ‘Mayhoş 8’, ‘Katırbaşı’, ‘Yufkakabuk’ ve ‘Aşınar’ çeşitlerinde yürütülmüştür. Nar ağaçlarında fizyolojik erkek morfolojik olarak erdişi steril çiçekler ve morfolojik ve fizyolojik yapıda fertil çiçekler bulunmaktadır. Bazı durumlarda çevresel faktörlere ve yetiştirme koşullarına göre nar ağaçlarında ara form çiçekler de görülmektedir. Verimi etkileyen en önemli faktörlerden biri steril ve fertil çiçek tozlarının çimlenme gücü yeteneğidir. Dört farklı nar çeşidinin steril, fertil ve ara form çiçek tiplerinin çiçek tozu çimlenme güçleri saptanmıştır. Çiçek tozu çimlenme gücü *in vitro* koşullarda agar-petri yöntemi ile belirlenmiştir. Çeşitler arası çiçek tozlarının çimlenme yeteneği ve çiçek yapıları arasındaki çiçek tozu çimlenmesi karşılaştırılmıştır. Çeşitler arası çiçek tozu çimlenme ortalamasında büyük bir fark olmadığı belirlenmiştir. ‘Mayhoş 8’ çeşidinin çimlenme ortalaması en yüksek %20,8 olarak kaydedilmiştir. Steril çiçeklerin çimlenme yeteneğinin, ara form ve fertil çiçeklerin çimlenme yeteneğinden fazla olduğu belirlenmiştir. Steril çiçeklerin çiçek tozu çimlenme oranlarının iyi bir meyve tutumu için yeterli olmadığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** çiçek tipleri, çiçek tozu çimlenmesi, *punica granatum* L.

## Determination of Germination Capability of Pollen in Different Flower Types in Some Pomegranate Varieties

### Abstract

In the pomegranate trees, there are hermaphroditic bisexual flowers and functionally male flowers. In some cases, intermediate forms are seen in pomegranate trees according to environmental factors and growing conditions. One of the most important factors affecting the fertility is the hermaphroditic bisexual flowers and functionally male flowers that ability of the germination capability of pollen. This study was carried out with the ‘Mayhoş 8’, ‘Katırbaşı’, ‘Yufkakabuk’ and ‘Aşınar’ varieties in the pomegranate orchard in the Dardanos Campus of Çanakkale Onsekiz Mart University in order to determine the germination capability of different flower types. Four different pomegranate varieties of hermaphroditic

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Meryem Gülce Aytan  
(e-posta:m.gulce.aytan@gmail.com)

Bu makale Meryem Gülce Aytan’ın tez konusu kapsamında yazılmıştır.

bisexual flowers, functionally male flowers and intermediate form of flowers pollen germination ratios were determined. The germination of the pollens in three types of flowers was determined by agar-petri method under *in vitro* condition. The germination ability of the pollens in four cultivars and the germination ratios of the three flowers types were compared. It was determined that there was no significant difference in the germination average between varieties. The average germination rate of 'Mayhoş 8' was the highest with %20,8. It was determined that functionally male flowers had more germination ability than intermediate form and hermaphroditic bisexual flowers. It was determined that germination rates of functionally male flowers were insufficient for fruit set.

**Keywords:** flower types, pollen germination, *punica granatum* L.

## 1. Giriş

Nar tarihte farklı kültür ve medeniyetlerin simgesi olmuş önemli bir meyvedir. Eski zamanlarda kültüre alındığı, bitkinin her türlü organından yararlandığı özellikle çiçek ve meyvesinin farklı alanlarda ve amaçlarda kullanıldığı kaynaklarda belirtilmiştir (Gözlekçi ve Kaynak, 2000).

Nar (*Punica granatum* L.) andromonoik bitki türleri içinde yer alan, fertil (hermafrodit) ve steril (erkek) olarak iki tipte çiçek yapısındadır. Steril çiçekler A tipi, fertil çiçekler B tipi şeklinde adlandırılır (Engin ve Hepaksoy, 2003). Morfolojik olarak erdişi fizyolojik olarak erkek yapıdaki çiçekler steril (A tipi) çiçeklerdir. Bu yapıdaki çiçeklerde dişi organ fonksiyonel değildir. Steril çiçeklerin stamenleri fonksiyonel olduğundan tozlanmayı sağlar (Wetzstein ve ark., 2011). Erkek çiçeklerin görünümü V şeklini andırır ve yumurtalık yeterince gelişmemiştir. Tozlanmayı sağlayan bu çiçekler açıldıktan sonra dökülürler. Nar ağaçlarında genellikle steril çiçek sayısı fertil çiçek sayısına göre daha fazladır. Bu da verimi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Nar ağaçlarında fazla sayıda A tipi çiçek bulunması verimi düşürebilir (Wetzstein ve ark., 2011). Morfolojik ve fizyolojik yapıda olan meyve bağlayan çiçekler fertil (B tipi) çiçeklerdir (Varasteh ve Arzani, 2009). Fertil çiçekler tomurcuk halinde iken şişkin ve iri yapıdadır. Fertil çiçekler gelişmeye devam ettikçe boğumlu yapısıyla bir vazo şeklini andırır, ayrıca steril çiçeklere göre daha büyüktür.

Çevresel faktörlere, yetiştirme koşullarına ve çeşitlere göre bazı durumlarda nar ağaçları steril, erkek ve ara form olarak 3 çiçek tipini içerebilir. Ara formlar fertil çiçekler kadar iri yapıda ve tam şekil tanımına uymasa da meyve bağlayabilen çiçek tipleridir. Literatür araştırmalarına bakıldığında nar çiçek tipleri, çiçek yapıları ve polen çimlenmeleri üzerine yapılan çalışmaların az olduğu gözlemlenmiştir (Malgarejo ve ark., 2000). Bu gözlem son yıllarda yapılan çalışmaların nar üzerine yoğunlaşmasında etkili olmuştur. Genellikle farklı türlerde yapılan çalışmalar uygun ortamlarda polen çimlendirme ve büyüme düzenleyicilerin polen çimlenme üzerine etkilerini belirlemeye yönelik araştırmalardır. Çiçek tozu çimlenmesi üzerine farklı meyve türlerinde çalışmalar yapılmıştır. Kirazlar üzerinde yapılan bir çalışmada büyüme düzenleyici maddelerden olan brassinosteroidlerin polenlerin tüp uzaması üzerine etkisi olduğu ancak polen çimlenmesi üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir (Hewitt ve ark., 1985). Gökbayrak ve Engin (2015), asma kültür çeşitlerinde yapılan bir çalışmada epibrassinolidin polen çimlenmesini NAA'ya göre daha çok indüklediğini belirlemişlerdir. Zeytin polenlerinin çimlenmesinde GA<sub>3</sub>'ün *in vivo*da olumlu etkisi olduğu Viti ve ark. (1990) tarafından saptanmıştır.

Bu çalışma, 4 farklı nar çeşidinde verimliliği etkileyen en önemli faktörden biri olan çiçek yapılarının (steril, fertil ve ara form) polen çimlenme güçlerini tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

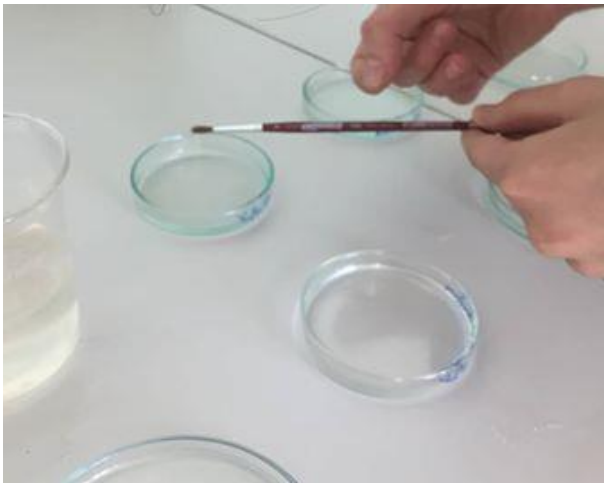
Çalışmada kullanılan bitki materyali Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesinde yer alan nar deneme ve araştırma parselinden temin edilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda ‘Mayhoş 8’, ‘Katırbaşı’, ‘Aşınar’ ve ‘Yufkakabuk’ nar çeşitlerinin çiçekleri kullanılmıştır.

### 2.1. Çiçek Tozunun Elde Edilmesi

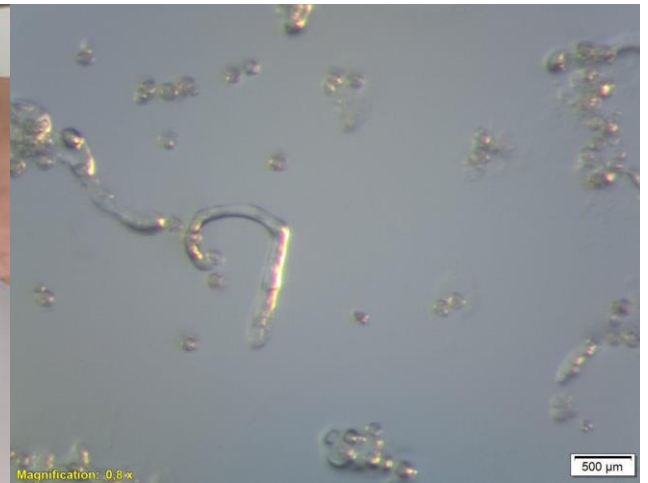
Çalışmada kullanılan 4 farklı çeşide ait nar ağaçlarının farklı yön ve yükseklikteki dallarında açmak üzere olan çiçeklerin tipleri incelenmiştir. Belirlenen çiçek tipleri toplanarak özel yalıtımlı çanta ile laboratuvara getirilmiştir. Elde edilen çiçekler çiçek tiplerine göre steril, fertil ve ara form olmak üzere ayrılmıştır. Ayrımı yapılan her çiçek tipindeki çiçeklerin anterleri pens yardımıyla kopararak petri kaplarına alınmış ve 25°C de yaklaşık 24 saat bekletilerek polen salımı sağlanmıştır.

### 2.2. Çiçek Tozu Çimlendirme Testleri

*In vitro* da çiçek tozu çimlenme güçlerinin tespitinde agar-petri yöntemi kullanılmıştır (Eti, 1991). Çimlendirme ortamı, 100 ml kaynayan saf suya 1 g agar ve 20 g şeker ilave edilerek elde edilmiştir (Engin ve ark., 2015). Hazırlanan besi ortamı, petri kaplarına 2 mm kalınlıkta tam soğuma gerçekleşmeden dökülmüştür. Çiçek tozlarının ekimi bir fırça yardımıyla homojen şekilde dağılması sağlanarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1). Çimlenme sürecinde ihtiyaç olan nemi sağlamak amacıyla petri kaplarının üstlerine saf suyla ıslatılmış iki kat filtre kağıdı yerleştirilerek kapatılmıştır. Uygun nem sağlanan petri kapları 25°C de 24 saat çimlenmesi için bekletilmiştir. Çimlenme oranları, mikroskop (Olympus CX-41, Tokyo, Japonya) altında sayımları yapılarak belirlenmiştir. Bu belirleme işlemi, her petri kabında 3 bölgede sayımlar yapılarak tespit edilmiştir. Yapılan sayımlar sonucunda polen tüpü oluşturan ve oluşturmayan çiçek tozlarının oranı yüzde (%) olarak belirlenmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Çiçek tozlarının fırça yardımıyla ekimi



Şekil 2.2. Polen tüpü oluşturan ve oluşturmayan çiçek tozları

### 2.3. İstatistiksel Analizler

Çalışmada elde edilen veriler Minitab istatistik paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş farklılıklar Tukey ( $P \leq 0,05$ ) çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

'Mayhoş 8', 'Katırbaşı', 'Aşınar' ve 'Yufkakabuk' çeşitlerinin çiçek tozu çimlenme oranları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çeşitler arası ortalama çiçek tozu çimlenme oranı %15,5 ile %20,8 arasında değişmiştir. Çimlenme oranı ortalaması en yüksek çeşit %20,8 ile 'Mayhoş 8' olup sırası ile %19,2 'Aşınar', %18,4 'Katırbaşı' ve en düşük çimlenme oranı ile %15,5 'Yufkakabuk' çeşidinde belirlenmiştir.

Çiçek tiplerinin çiçek tozu çimlenme sonuçlarına bakıldığında ortalama en yüksek çimlenme oranı steril çiçeklerde görülmüştür. Fertil çiçeklerin ortalama çiçek tozu çimlenmesi %18,7, ara formların ise %10,6 olmuştur. Ara form çiçek tozu çimlenme ortalaması çiçek tipleri arasında en düşük olarak belirlenmiştir. 'Mayhoş 8', 'Yufkakabuk' ve 'Aşınar' çeşitlerinin ara formlarının çimlenme oranlarının fertil çiçeklere göre düşük olduğu saptanmıştır. Sadece 'Katırbaşı' çeşidinde ara form çiçek tozlarının çimlenme yüzdesi, fertil çiçeklerden fazla olduğu belirlenmiştir. Çimlenme oranlarının, fertil çiçekler, steril çiçekler ve ara formlar arasında istatistiki olarak farklı olduğu saptanmıştır.

'Mayhoş 8' çeşidi fertil çiçekler arasında %26,1 ile çiçek tozu çimlenme oranı en yüksek çeşittir. 'Yufkakabuk' çeşidinin steril ve ara form çiçek tozları en düşük çimlenme yüzdesine sahip çiçeklerdir. Ara form çiçeklerde en yüksek çimlenme oranı 'Katırbaşı' çeşidinde saptanmıştır. Fertil çiçek ile ara form çiçeklerin çiçek tozu çimlenme oranı arasındaki en yüksek fark 'Mayhoş 8' çeşidine aittir. 'Katırbaşı' çeşidi steril çiçekler arasında en yüksek çiçek tozu çimlenme oranına sahip çeşit olup, fertil çiçek çimlenme oranı %10,8 ile son sırada olduğu belirlenmiştir. Aşınar çeşidine ait steril çiçeklerin tozları çimlenme oranı olarak ikinci en yüksek çimlenme oranına sahip çeşittir. Steril çiçeklerin çiçek tozu çimlenme oranının %26,1 ile fertil ve ara form çiçeklerin çiçek tozu çimlenme yüzdelерinden fazla olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. İncelenen dört çeşide ait dişi, ara form ve erkek çiçeklerinden elde edilen çiçek tozlarının çimlenme oranları %

Çeşit	Farklı yapıdaki çiçek tipleri			Ortalama
	Fertil	Ara form	Steril	
Mayhoş 8	26,11±2,54	11,37±2,48	24,89±9,4	20,8 ±3,86
Yufkakabuk	15,59±2,01	8,06±2,24	22,73±5,24	15,5 ±2,74
Aşınar	22,29±3,58	9,96±2,54	25,41±3,24	19,2 ±2,84
Katırbaşı	10,76±1,69	12,93±0,43	31,36±3,84	18,4 ±3,49
Ortalama	18,69 ±2,09 B	10,58 ±1,05 C	26,10 ±2,80 A	

(±, standart hataların ortalamasıdır.)

Çimlenme ortamında şekerin metabolik enerji kaynağı ve ozmotik düzenleyici olarak rolü büyüktür (O'Kelly, 1955; Vasil, 1964). Çiçek tozlarının çimlenme gücüne besi ortamının şeker içeriği etkilidir. Nar çeşitlerinin çiçeklerinde en güçlü çimlendirme ortamı olarak %20 şeker içeren besi ortamı belirlenmiştir (Josan ve ark., 1980). Gözlekçi ve Kaynak (2000), steril çiçeklerin çiçek tozu canlılıklarının fertil çiçeklerden daha yüksek olduğunu

belirlemişlerdir. Engin ve ark. (2015), farklı nar çeşitlerinin steril ve fertil çiçeklerinden alınan çiçek tozlarının çimlenme oranını %20,4 ile %43,3 arasında değiştiğini saptamıştır. Bu çalışmada farklı nar çeşitlerinin steril, ara form ve fertil çiçeklerinin çiçek tozlarının en güçlü çimlenme yeteneğinin steril çiçeklerde olduğu belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç

Deneme sonucunda ‘Mayhoş 8’, ‘Katırbaşı’, ‘Yufkakabuk’ ve ‘Aşınar’ çeşitlerinin steril, fertil ara form çiçeklerin polenlerinin çimlenme güçleri incelendiğinde steril çiçeklerin çimlenme gücünün ara form ve fertil çiçeklerden daha fazla olduğu saptanmıştır. Nar ağaçlarında çiçeklenme farklı zamanlarda gerçekleştiğinden, aynı ağaç ya da farklı ağaç üzerindeki çiçeklerin tozlanması eşit zamanda olmaz. Steril çiçeklerin çiçek tozları aynı ağaçlardaki ya da farklı ağaçlardaki fertil ve ara form çiçeklerin tozlanmasında etkilidir. Bu nedenle steril çiçeklerin polen tozu çimlenme gücü tozlanmada önemli rol oynar.

Meyve bağlayan steril ve ara form çiçeklerin sayısı verimi etkilemektedir. Steril çiçeklerin çiçek tozu çimlenme gücü yüksek olması avantajlı olsa da nar ağaçlardaki steril çiçek sayısının fazla olması verimi azaltır. Farklı yönden incelendiğinde fertil ve ara form çiçekler açıldığı dönemde erkek çiçekler açmamış ise fertil ve ara form çiçeklerin polenleri tozlanmayı sağlar. Nar ağaçlarının verimli olabilmesi için çiçek tozu çimlenme oranı %30’un üstünde olmalıdır. Uygulamada yer alan çeşitlerin tümünde ortalama çiçek tozu çimlenme oranı bu verilen yüzdenin altında bulunmuştur. Steril çiçeklerin çimlenme gücü iyi bir verim için tatmin edici değildir. Araştırmada yer alan nar çeşitlerinin çiçek tozu çimlenme gücü daha fazla olan nar çeşitleri ile birlikte yetiştirilmesi önerilmektedir.

## Kaynakça

- Engin H., Hepaksoy S., 2003. Bazı Nar Çeşitlerinin Çiçek Tozu Çimlenme Güçlerinin Belirlenmesi. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg. 40 (3): 9–16.
- Engin H., Gökbayrak Z., Altunbaş D., 2015. Epibrassinolid, Gibberellik Asit ve Naftalen Asetik Asittin Bazı Nar Çeşitlerinde Çiçek Tozu Çimlenme Oranlarına Etkisi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 3 (2): 19-25.
- Eti S., 1991. Bazı Meyve Tür ve Çeşitlerinde Değişik *In Vitro* Testler Yardımıyla Çiçek Tozu Canlılık ve Çimlenme Yeteneklerinin Belirlenmesi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi. 6 (1): 69–80.
- Gökbayrak Z., Engin H., 2015. Effect of plant growth regulators on enhancing in vitro pollen germination in grapevine cultivars. Third Balkan Symposium on Fruit Growing, 15–18 Eylül 2015. Belgrad, Sırbistan.
- Gözlekçi S., Kaynak L., 2000. Investigations on Pollen Production and Quality in Some Standards Pomegranate (*Punica granatum* L.) Cultivars. Options No: 42: 71–78.
- Hewitt F.R., Hough T., O’Neill P., Sasse J.M., Williams E.G., Rowon K.S., 1985. Effect of brassinolide and other growth regulators on the germination and growth of pollen tubes of *Prunus avium* using a multiple hanging–drop assay. Aust. J. Plant Physiol. 12: 201–211.
- Josan J.S., Jawanda J.S., Uppal D.P., 1980. Studies on The Floral Biology of Pomegranate. II. Anthesis, Dehiscence, Polen Studies and Receptivity of Stigma. Punjab Horticultural Journal, 19 (1-2): 66-70.
- Malgarejo P., Martinez J.J., Hernandez F., 2000. A Study of Different Culture Media for Pomegranate (*Punica granatum* L.) Pollen. Options No: 42: 63-69.
- O’Kelly J.C., 1955. External Carbohydrates in Growth and Respiration of Pollen Tubes “*In Vitro*”. American Journal of Botany, 42 (3): 322-326.
- Varasteh F., Arzani K., 2009. Classification of Some Iranian Pomegranate (*Punica Granatum*) Cultivars by Pollen Morphology Using Scanning Electron Microscopy. Hort. Environ. Biotechnol. 50 (1): 24–30.

- Vasil I.K., 1964. Effect of Boron on Pollen Germination and Pollen Tube Growth. In: Pollen Physiology and Fertilization, Linkens, H.F. (Ed.) North-Holland Publishing Company, Amsterdam, Pp. 107-119.
- Viti R., Bartolini S., Vitagliano C., 1990. Growth Regulators on Pollen Germination in Olive. *Acta Hort.* 286: 227–230.
- Wetzstein H.Y., Ravid N., Wilkins E., Martinelli A.P., 2011. A Morphological and Histological Characterization of Bisexual and Male Flower Types in Pomegranate J. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 136 (2): 83–92.

## Mısır Ununda Karotenoid Analizi İçin Farklı Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Oğuz Ordu<sup>1</sup>, Cem Ömer Egesel<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Biyoteknoloji ABD

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü

03.04.2019 Geliş/Received, 22.05.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Mısır tanesinde bulunan karotenoidlerin insan sağlığı üzerine olan etkileri birçok çalışma ile ortaya konulmuştur. Yağda çözülebilen bileşikler olan karotenoidlerin mısır tohumundaki miktarının tespiti için farklı yöntemlerden faydalanılmaktadır. Yöntemler arasında farklılık oluşturan en önemli etkenin ekstraksiyon prosedürü olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma üç farklı yağ ekstraksiyon yönteminin mısırdaki karotenoid içeriğini tespit etmeye yönelik yapılan analiz sonuçlarına etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada bitkisel materyal olarak 150 farklı mısır genotipi değerlendirmeye alınmıştır. Ekstraksiyon yöntemi olarak Soxhlet (sıcak ekstraksiyon), soğuk (solvent) ekstraksiyon ve doğrudan ekstraksiyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler ile elde edilen yağların karotenoid içeriği tespiti UV-Spektrofotometre cihazı ile 450 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Yöntemlere ait ortalamalar Kruskal-Wallis testi ile kıyaslanmış ve analiz sonuçları arasındaki ilişkiler basit doğrusal regresyon analizi ile incelenmiştir. Soxhlet ekstraksiyonu ile elde edilen yağlar karotenoid içerikleri bakımından diğer yöntemlerden daha yüksek değerler vermiştir. Regresyon analizi sonuçlarına göre yağ oranı için Soxhlet ekstraksiyonu ve soğuk ekstraksiyon ile elde edilen sonuçlar arasında doğrusal ve yüksek önemli bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Karotenoid içeriği bakımından karşılaştırılan bu üç yöntem arasındaki regresyon katsayılarının oldukça düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen yağlar üzerinden yapılan analizler sonucu bulunan değerlerin karotenoid içeriği tahminlerinde birbirleri yerine kullanılmasının doğru olmadığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** UV-spektrofotometre, antioksidan, *Zea mays*, soxhlet, yağ oranı.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Cem Ömer Egesel

(e-posta:cegesel@comu.edu.tr)

Bu makale Oğuz Ordu'nun tezi kapsamında yazılmıştır.

ÇOMÜ BAP Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: FYL-2017-1262

Yüksek Lisans tez çalışmasında kullanılan bitkisel materyal ve bunlara ait yağ oranları verileri TÜBİTAK 2150867 no'lu projeden temin edilmiştir.



## Comparison of Different Extraction Methods for Carotenoid Analysis in Maize Flour

### Abstract

Health benefits of carotenoids embedded in maize kernel have been shown with numerous studies. Different methods are utilized for the analysis of carotenoids that are fat-soluble compounds of maize kernel. It is thought that extraction procedure is the key element resulting in variation among different methods. This study was carried out to determine the effects of three different extraction methods on the results of analyses performed to quantify carotenoid contents in maize. 150 different maize genotypes were used as plant material in the study. Soxhlet (hot extraction), cold (solvent) extraction, and direct extraction methods were used as the extraction treatments. The oil samples extracted with these methods were analyzed with UV-Spectrophotometer, at a wavelength of 450 nm for the estimation of carotenoids. The means from the extraction methods were compared by Kruskal-Wallis test and the relationships among the analysis results were investigated with simple linear regression analysis. The oil samples extracted with Soxhlet method yielded higher values for carotenoids as compared to the other methods. According to the regression analysis, there was a linear and highly significant relation for oil ratio between Soxhlet and cold extraction results. For carotenoids, the regression coefficients among the three methods came out to be rather low. These results indicate that the values acquired from the analyses on oil samples obtained with different extraction methods do not provide operational interchangeability in carotenoid analyses.

**Keywords:** UV-spectrophotometry, antioxidant, *Zea mays*, soxhlet, oil ratio.

### 1. Giriş

Ülkemizde endüstriyel tarım ürünleri içinde önemli bir konumda bulunan mısırın ekonomideki payı gittikçe artmaktadır (Turgut ve ark.,1997). Mısır tanesi genel olarak içeriğindeki %70'e varan orandaki nişasta için yetiştiriliyor olsa da, ıslah çalışmaları ile birçok farklı kullanım amacına hizmet eden önemli bir tarımsal ürün durumuna gelmiştir. Mısır embriyosu, bileşenleri bakımından endosperme göre oldukça farklı ve zengin bir içeriğe sahiptir. Tane genelinde çoğunlukla %4-7 arasında değişen yağın depo yeri embriyodur (Koçak, 1987; Kırtok, 1998). Tanesinde %7'nin üzerinde yağ içeren mısırlar "yüksek yağlı mısır" olarak tanımlanırlar (Lambert, 1994). Mısır yağı son dönemlerde çok talep edilen bir bitkisel yağ olarak karşımıza çıkmaktadır. Mısır tanesinde nişasta, yağ ve protein gibi majör bileşenlerin yanında gitgide önem kazanan bazı minör bileşenler de bulunmaktadır. A vitamini ön maddesi olan karotenoidler bu bileşenlerdendir. Bunlar, bitkisel ve hayvansal materyallere sarıdan turuncuya çeşitli tonlarda renk veren ve yağda çözünür özellik gösteren bileşikler olup dokuz veya daha fazla konjuge çift bağ içeren 40 karbon atomundan meydana gelen yapılardır (Cemeroğlu, 2013; Koca ve Karadeniz, 2005). Karotenoid formlarının uzamış konjuge bağları ve elementel yapıları onların renklerini belirler ve biyolojik aktiviteleri ile antioksidan kapasitelerini ortaya koyar (Egesel, 2001). Karotenoidlere A vitamini öncü maddesi olmanın yanı sıra, hücreler arası boşlukta iletişimi geliştirme, bağışıklık sistemini güçlendirme, görme fonksiyonlarına önemli etkide bulunma ve antioksidan aktivite gösterme gibi insan sağlığı açısından önemli diğer bazı özellikler de atfedilmektedir (Murakami ve ark., 2000). Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler karotenoidlerin antioksidan özelliklerinin, DNA'ya zarar veren ve kanserin henüz başlangıç aşamasında etkili olan serbest radikallerin

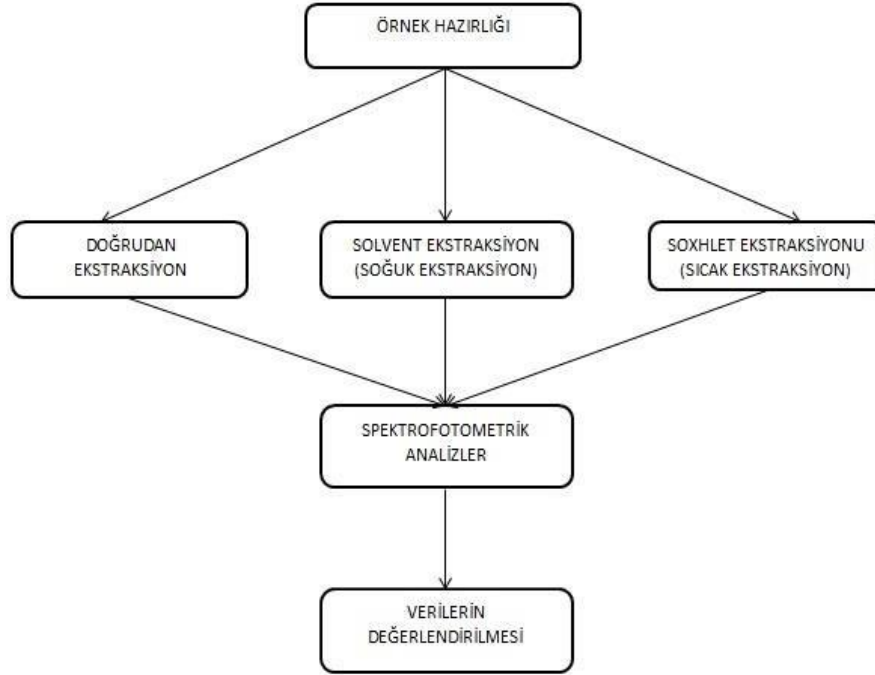
etkisini ve dolayısıyla kanser hücrelerinin oluşmasına neden olan zincir reaksiyonları önlediğini göstermektedir (Ötleş ve Atlı, 1997). Mısır tanesinde bulunan karotenoidlerin insan sağlığı açısından önemi birçok çalışma ile ortaya konulmuştur (Patil ve ark., 2009; Cuong ve ark., 2017). Mısırdaki karotenoid bileşenlerinin analizi için farklı yöntemlerden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerde karotenoidler genellikle öğütülmüş numuneden doğrudan ekstrakte edilerek miktar tayini gerçekleştirilmektedir. Yağda çözünen bu bileşenlerin yağ içerisindeki miktarları ile doğrudan ekstraksiyon ile elde edilen miktarları arasında farklılıklar olabilir. Ayrıca yağın öğütülmüş numuneden ayrılması için uygulanan yöntemin de (sıcak veya soğuk ekstraksiyon) uygulama şartları bakımından bu bileşenlerin miktarına etkisi olabilir. Yağ asitleri gibi farklı bileşenlerin analizinde ekstraksiyon yönteminin etkisi incelenmiş ve yöntemlere göre önemli değişimlerin olduğu saptanmıştır (Maurer ve ark., 2014). Karotenoidlerin farklı solventler kullanılarak yapılan analizlerdeki değişimleri de araştırılmıştır (Rutkowski ve Grzegorzcyk, 2007). Bitkisel ürünlerde çok küçük konsantrasyonlarda mevcut olması, birçok farklı izomer halinde bulunabilmesi ve bitkiden bitkiye ciddi varyasyon gösterebilmesi gibi sebeplerle karotenoid analizi oldukça zor bir analiz olarak düşünülebilir. Analiz hassasiyeti açısından değerlendirildiğinde kromatografik yöntemlerden kaynaklanan hataların nispeten düşük olduğu, asıl farklılık yaratan etkenin tercih edilen ekstraksiyon yöntemi olduğu önerilmektedir (Howe ve Tanumihardjo, 2006). Potansiyel kullanıma sahip ekstraksiyon yöntemlerini tek bir genotip seti üzerinde karşılaştırmalı olarak ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Farklı yöntemlere ait sonuçların birbirleri ile olan ilişkisi incelenerek özel şartlara daha uygun olabilecek ekstraksiyon yöntemlerinin tespiti ve sonuçların birbiri üzerinden tahmini mümkün olabilir. Bu noktadan hareketle bu çalışmanın amacı; üç farklı ekstraksiyon yönteminin (sıcak, soğuk ve doğrudan ekstraksiyon) mısırdaki karotenoid içeriğini tespit etmeye yönelik yapılan analiz sonuçlarına etkisini belirlemek, farklı örneklerden alınan sonuçlar arasındaki ilişkileri inceleyerek ekstraksiyon yöntemlerinin bir diğerini ikame edebilme imkânlarını irdelemektir.

## **2. Materyal ve Yöntem**

### **2.1. Materyal**

Bu çalışmada materyal olarak 150 farklı mısır genotipi kullanılmıştır. Bu genotipler; Karadeniz bölgesinden toplanmış olan 50 adet köy popülasyonu, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi'nde yürütülen ıslah çalışmalarından sağlanan ve biyokimyasal içerik bakımından varyasyon gösteren 80 farklı durulmuş hat ve hibrit ile ülkemizde ticari amaçlı yetiştiriciliği yapılan atdışi ve sert tane yapısına sahip 20 hibrit çeşitten oluşmuştur. Çalışmaya materyal teşkil eden genotip örnekleri Şekil 2.1'de şematize edilen adımlar ile analiz edilmiştir. Örnek hazırlığı aşamasında temizlenen yaklaşık 50 gr tane laboratuvar tipi değirmende (Fritsch, pulverisette 14, Almanya) 0,5 mm'lik elek ile öğütülerek analizlere hazırlanmıştır.

Şekil 2.1. Karotenoid analizleri için kullanılan yöntemlerde izlenen temel adımlar



## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Ekstraksiyon Yöntemleri

Öğütülen örnekler sıcak ekstraksiyon (Soxhlet yöntemi), soğuk (solvent) ekstraksiyon ve doğrudan ekstraksiyon olmak üzere üç farklı yağ çıkarma yöntemine tabi tutulmuştur.

Isıl işlem ile yağ ekstraksiyonu Soxhlet yöntemi ile AOAC (2005) metoduna uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre 10 gr öğütülmüş numune, kartuşlara konulup 180 mL dietil eter ilave edilerek 6 saat boyunca Soxhlet cihazında bekletilmiştir. Bu işlem sonrasında ham yağ + çözücü karışımı döner evaporatörde 40 °C’de ayrılarak ham yağ örnekleri elde edilmiştir.

Soğuk ekstraksiyon uygulaması Abbasi ve ark. (2008) tarafından tarif edilen yöntemde bazı küçük değişiklikler ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre, yaklaşık 10 gr öğütülmüş numune kartuşlara konularak 100 mL dietil eter içerisinde 16 saat süre ile bekletilmiştir. Ardından ham yağ + çözücü karışımı döner evaporatörde 40 °C’de ayrılmıştır. Elde edilen ham yağlar ependorf tüplerine alınarak karotenoid analizleri yapılana dek 4 °C’de muhafaza edilmiştir.

Doğrudan ekstraksiyona dayalı analizlerde Kurilich ve Juvik (1999) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Örneklerin hazırlanması amacıyla 600 mg mısır unu cam tüp içerisine tartılıp örnek üzerine 6 mL etanol ve %0,1’lik butil hidroksi tolüen (BHT) karışımı eklenmiştir. Tüpler 85 °C’de 5 dk su banyosunda tutulduktan sonra 120 µL %80’lik KOH eklenmiş, 20 sn vortekslenmiş ve 10 dk daha sıcak su banyosunda bekletilmiştir. Buradan alınan örnekler hemen buz küvetine yerleştirilip üzerlerine 3 mL deiyonize su ilave edilmiştir. Bundan sonra örneklere 3 mL hekzan eklenip vortekslenmiş ve 1200 g’de 10 dk santrifüj edilmiştir. Üst faz yeni bir test tüpüne alındıktan sonra kalan kısım iki kez daha hekzan ile ekstrakte edilip toplanan kısım 3 mL H<sub>2</sub>O ile yıkanmıştır. Santrifüjleme sonrasında üst faz yeni tüpe aktarılmıştır.

### 2.2.2. Karotenoid Analizi

Soxhlet yöntemi ve soğuk ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen yağlardan 50 µL alınarak 10 mL hekzan içerisinde çözülmüştür. Yirmi saniye vortekslendikten sonra 3 mL örnek kuvarz küvet içerisinde alınarak UV-Spektrofotometre (PG Instruments, İngiltere) cihazında 450 nm dalga boyunda absorbans değeri kaydedilmiştir. Doğrudan ekstraksiyon yönteminden sonra elde edilen hekzan ve yağ karışımından 3 mL örnek kuvars küvet içerisinde alınmış ve örneğe ait absorbans değeri UV- Spektrofotometre cihazında 450 nm dalga boyunda kayıt edilmiştir. Elde edilen absorbans değerlerinden karotenoid içeriğinin hesaplanması için Rodriguez-Amaya ve Kimura (2004) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$TCC(\mu g g^{-1}) = \frac{25 \times A1 \times 10^4}{2500 \times W}$$

Eşitlikte; A1 absorbans değerini, W örnek ağırlığı/hacmini, 2500 molar absorpsiyon katsayısını göstermektedir. Yağ örneklerinden elde edilen sonuçları öğütülmüş numunedeki karotenoid içeriğine dönüştürmek için ekstraksiyon yönteminden elde edilen yağ oranı değerleri ve analizlerde kullanılan yağ örneğinin ağırlığı (~0,035 gr) kullanılmıştır. Bu hesaplama ile elde edilen sonuçlar sayesinde, doğrudan ekstraksiyon ve diğer ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.

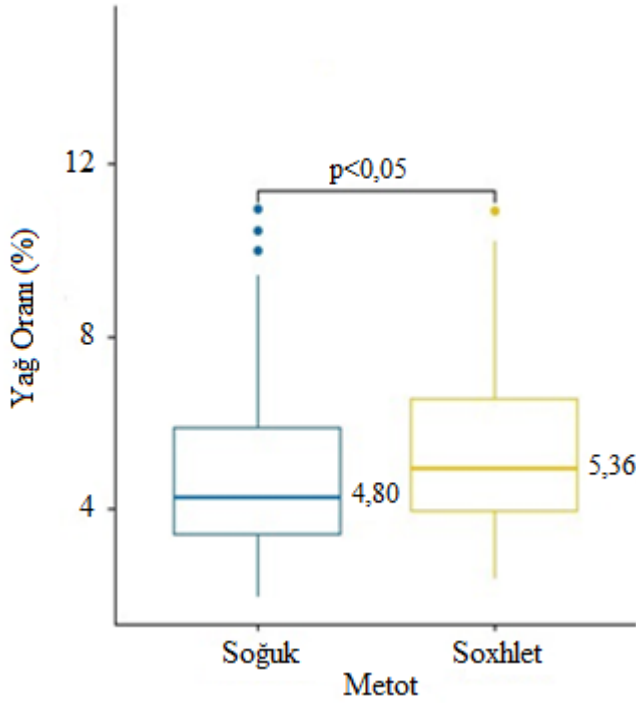
### 2.2.3. İstatistiksel Analizler

Çalışmadan elde edilen veriler R paket programında analiz edilmiştir (R Development Core Team, 2012). Yağ içeriği ve karotenoid içeriği bakımından ekstraksiyon yöntemlerinin kıyaslanması amacıyla Wilcoxon ve Kruskal-Wallis testleri kullanılmıştır. Farklı ekstraksiyon yöntemlerine ait sonuçlar arasındaki ilişkiler basit doğrusal regresyon analizi kullanılarak incelenmiş ve Excel programında grafiklendirilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

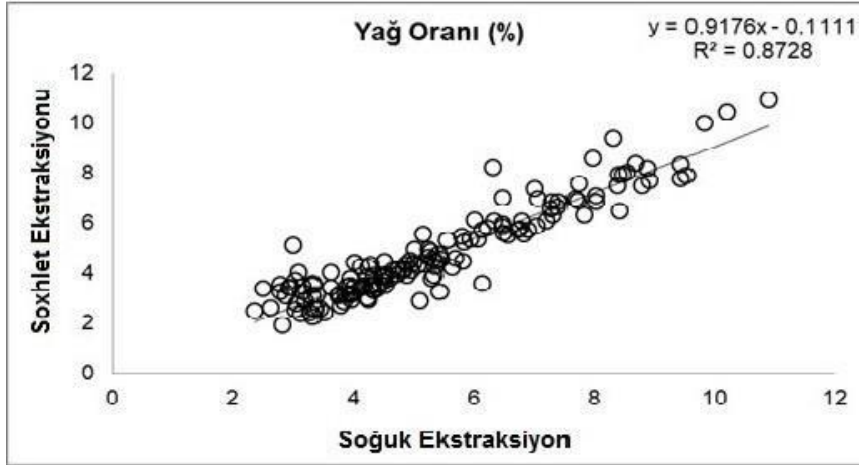
### 3.1. Yağ Oranı

Soxhlet yöntemi ile tespit edilen yağ oranlarına ait ortalama değer (%5,36), soğuk ekstraksiyon ile tespit edilenden (%4,80) yüksek bulunmuştur (P<0,05) (Şekil 3.1). Soğuk ekstraksiyonun Soxhlet yöntemine göre nispeten ucuz ve hızlı bir yöntem olduğu düşünülürse, araştırmacıların soğuk ekstraksiyonu tercih etme yönünde bir eğilimleri olması kaçınılmazdır. Soğuk ekstraksiyonun tercih edilmesi ile yaşanacak hassasiyet kaybının çok önemli olmadığı durumlar olabilir. Örneğin, çok sayıda genotipin birbirlerinden olan farklarının tespit edilmesinin gerektiği, fakat bu genotiplerin sahip olduğu yağ oranlarının yüksek hassasiyetle tespit edilmesinin çok da elzem olmadığı ıslah çalışmaları gibi durumlarda soğuk ekstraksiyon yöntemi herhangi bir sorun yaratmaksızın Soxhlet yöntemini ikame edebilir. Buna karşın yağ oranının daha yüksek hassasiyet ile belirlenmesi gerekiyorsa Soxhlet yönteminin kullanılması daha doğru olacaktır.



Şekil 3.1. Soxhlet ve soğuk ekstraksiyonla tespit edilen yağ oranlarının karşılaştırılması (n=150)

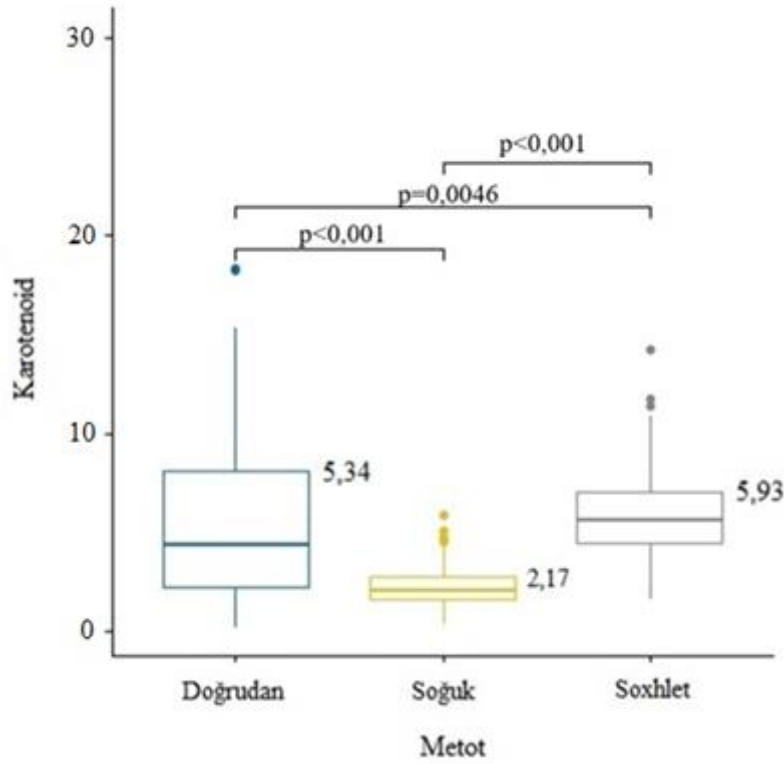
Yağ içeriği analizlerinden elde edilen veriler basit doğrusal regresyon analizine tabi tutulmuş ve farklı ekstraksiyon yöntemleri arasındaki ilişki incelenmiştir (Şekil 3.2). Bağımlı değişkendeki varyasyonun bağımsız değişken ya da model tarafından açıklanabilen payı  $R^2=0,873$  olarak bulunmuştur. Dolayısıyla genotiplerin Soxhlet ile elde edilen yağ değerlerindeki değişimin %87,3'lük kısmı bu genotiplerin soğuk ekstraksiyon değerleri tarafından açıklanabilmektedir. Diğer bir deyişle, soğuk ekstraksiyon ile sıcak ekstraksiyon arasında %87,3'lük pozitif yönde doğrusal bir ilişki vardır.  $y=0,9176x-0,1111$  şeklinde hesaplanan regresyon denkleminde yararlanılarak Soxhlet ekstraksiyon değerleri belli olan genotiplerin soğuk ekstraksiyon değerleri makul bir hassasiyet ile tahmin edilebilir. Ancak, burada dikkat edilmesi gereken nokta, oluşturulan regresyon denkleminde yararlanılarak yapılacak tahminlerin sadece bağımsız değişken olan Soxhlet ekstraksiyon değerlerinin analiz sınırları içinde bir anlamının olduğudur (Mendeş, 2013). Bu veriler ışığında, çok fazla örnek (genotip) sayısına sahip olan kişi veya kurumların ekstraksiyon analizlerini daha hızlı yapabilmeleri için sıcak ekstraksiyon yerine soğuk ekstraksiyon kullanılmasının uygun olacağı ifade edilebilir. Zira soğuk ekstraksiyon ile bir günde muamele edilen örnek sayısı Soxhlet yöntemi ile muamele edilen örnek sayısının üç katına kadar çıkmaktadır.



Şekil 3.2. Yağ oranı için Soxhlet ve soğuk ekstraksiyon yöntemleri arasındaki regresyon grafiği (n= 150)

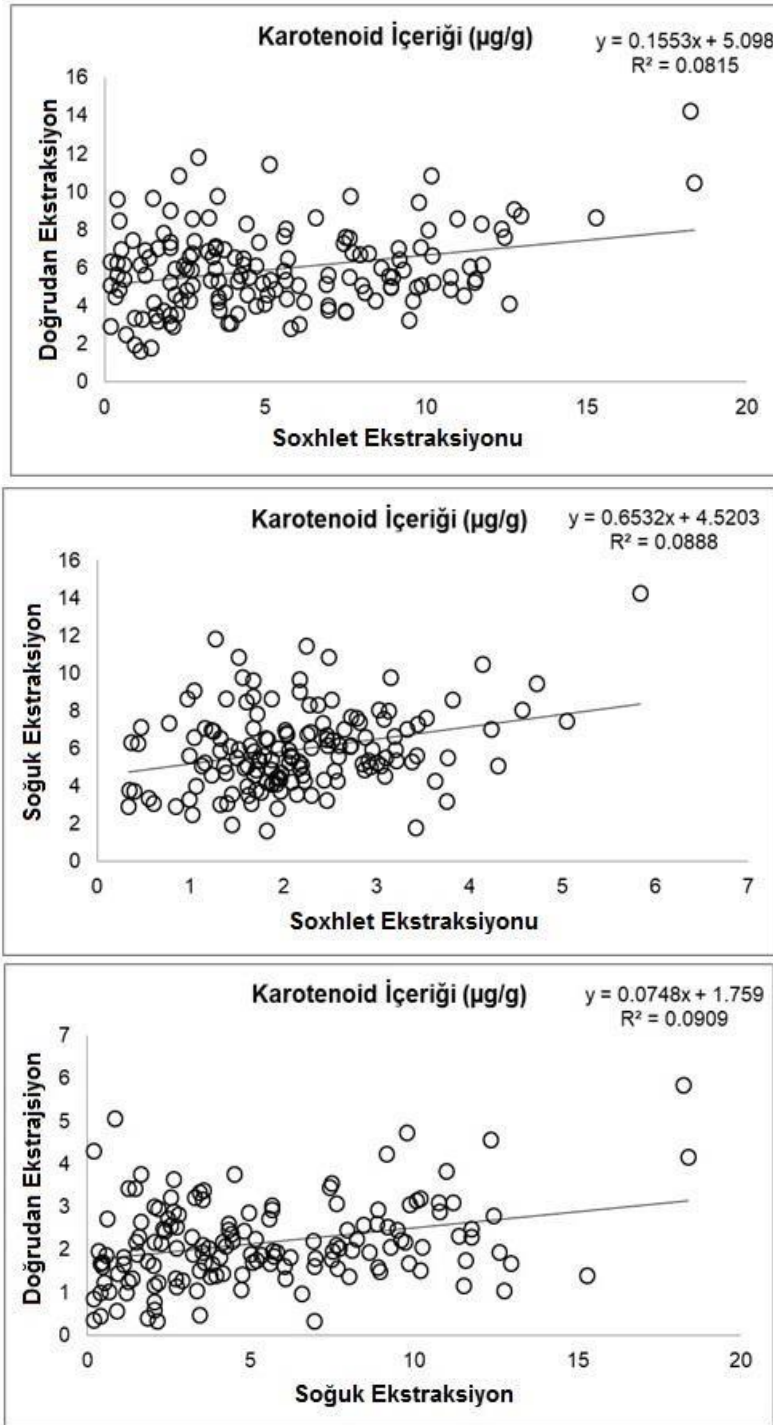
### 3.2. Karotenoid İçeriği

Farklı ekstraksiyon yöntemlerini takip ederek elde edilen karotenoid miktarlarının istatistiki açıdan oldukça önemli ( $p < 0,01$ ) farklara sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.3). Karotenoid içeriği ile yöntemler arası miktarların birimlerini eşleştirmek amacıyla 1 g öğütülmüş numunedan çıkan yağ içerisindeki karotenoid miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda doğrudan ekstraksiyon yönteminde 5,34  $\mu\text{g/g}$ , soğuk ekstraksiyon yönteminde 2,17  $\mu\text{g/g}$  ve Soxhlet yönteminde 5,93  $\mu\text{g/g}$  karotenoid içeriği saptanmıştır. Maarasyid ve ark. (2014) yapmış oldukları çalışmada Soxhlet yöntemi ile elde edilen karotenoid miktarını diğer yöntemlere göre daha yüksek bularak yapmış olduğumuz çalışmayı destekler nitelikte bir sonuca ulaşmışlardır. Buna sebep olarak doğrudan ekstraksiyon yönteminde gerçekleşen sabunlaşma işlemi sonrası meydana gelen karotenoid kayıpları gösterilmiştir. Benzer şekilde Lim ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada Soxhlet ekstraksiyonunun doğrudan ekstraksiyona göre %13 daha yüksek karotenoid verimine sahip olduğu belirlemişlerdir. Çalışmamızda da Soxhlet ekstraksiyonunun en yüksek karotenoid içeriklerini ortaya koyduğu görülmüştür (Şekil3.3). Soxhlet ekstraksiyonundan soğuk ekstraksiyona göre 1,12 kat daha fazla yağ elde edilmesine karşın 2,73 kat daha fazla karotenoid elde edilmiştir. Soxhlet yönteminin daha yüksek karotenoid verimi kısmen bu bileşenlerin yağda çözünen bileşenler olduğu ve Soxhlet yöntemi ile yağın daha başarılı bir şekilde çıkarılabildiği gerçeği ile açıklanabilir.



Şekil 3.3. Farklı ekstraksiyon yöntemlerine göre ortalama karotenoid değerleri (n=150)

Bu çalışmada ekstraksiyon yöntemi olarak denenen üç metot ile tespit edilen karotenoid değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 3.4'de sunulmuştur. Bu yöntemlerden elde edilen karotenoid içeriği değerleri arasındaki regresyon katsayılarının oldukça düşük olduğu dikkat çekmiştir. Soxhlet ekstraksiyonundan elde edilen sonuçlardaki varyasyonun soğuk ekstraksiyonda tespit edilen değişimin ancak %8,9'unu açıklayabildiği görülmektedir. Benzer şekilde doğrudan ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen sonuçlardaki değişimin soğuk ekstraksiyon örneklerinden elde edilen sonuçlardaki değişimle açıklanabilen kısmı yaklaşık %9,1'dir. Bu bulgular farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen yağlar üzerinden yapılan analizler sonucu bulunan değerlerin karotenoid içeriği tahminlerinde birbirleri yerine kullanılmasının doğru olmadığını göstermektedir.



Şekil 3.4. Karotenoid içeriği için Soxhlet ve soğuk ekstraksiyon (üstte), soğuk ve doğrudan ekstraksiyon (ortada), Soxhlet ve doğrudan ekstraksiyon yöntemleri (altta) arasındaki regresyon analizi grafikleri (n=150)

#### 4. Sonuç

Soxhlet ve soğuk ekstraksiyon ile elde edilen yağ oranları karşılaştırıldığında Soxhlet ile daha fazla yağ elde edilirken, soğuk ekstraksiyonda yağ veriminin bir miktar düşük olduğu belirlenmiştir. Karotenoid içeriği bakımından Soxhlet ekstraksiyonu kullanan yöntem ile elde edilen ortalamanın (5,93 µg/g) diğer yağ çıkarma yöntemlerinden oldukça yüksek olduğu



görülmüştür. Regresyon analizi yağ oranı için Soxhlet ve soğuk ekstraksiyon ile elde edilen sonuçlar arasında önemli bir doğrusal ilişki olduğunu göstermiştir. Yani yöntemler arasında bir fark bulunsa da aralarında mevcut olan bu ilişki sayesinde yöntemlerden biri kullanılarak elde edilen sonuçlar ile diğerinin vermesi beklenen sonuçları tahmin etmek mümkün olabilir. Bu iki yöntem, yağ oranı tespitinde yüksek hassasiyet gerektirmeyen genotipik karşılaştırmalarda birbirinin yerine kullanılabilir. Soğuk ekstraksiyon, yağ çıkarmada Soxhlet kadar başarılı olmasa da, oldukça hızlı bir yöntemdir. Soğuk ekstraksiyon ile bir çalışma gününde 20 örnek analiz edilebilir iken bu sayı Soxhlet ile sadece altı olabilmektedir. Islah programlarının seleksiyon aşamaları gibi yüksek hassasiyetin elzem olmadığı, fakat oldukça fazla sayıdaki genotipin birbirleriyle mukayesesinin istendiği durumlarda soğuk ekstraksiyon rahatlıkla tercih edilebilir. Genotiplere ait değerlerin hassasiyet ile belirlenmesini gerektiren durumlarda ise ekstraksiyon etkinliği bakımından Soxhlet yönteminin tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Ancak bu yöntemin uygulama süresi ve kullanılan kimyasal miktarı bakımından önemli dezavantajları bulunmaktadır. Diğer taraftan karotenoid bileşenlerinin, yüksek sıcaklık altında ekstraksiyon esnasında yapısal bozulmaya maruz kalıp kalmadıkları dikkate alınması gereken bir konudur. Bu nedenle ileri araştırmalarda gerek yağ oranı gerekse yağda çözünen bileşenler üzerine ekstraksiyon metotlarının etkisinin kapsamlı şekilde ele alınması yararlı olabilir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma FYL-2017-1262 no'lu proje kapsamında ÇOMÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca desteklenmiştir. Yüksek Lisans tez çalışmasında kullanılan bitkisel materyal ve bunlara ait yağ oranları verileri TÜBİTAK 2150867 no'lu projeden temin edilmiştir. Desteklerinden dolayı ÇOMÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na ve TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Abbasi H., Rezaei K., Emamdjomeh Z., Mousavi S.M.E., 2008. Effect of various extraction conditions on the phenolic contents of pomegranate seed oil. *Eur J Lipid Sci Tech.* 110:435–40.
- AOAC, 2005. Method 920.39, Fat (crude) or ether extract in animal feed. 18th ed., AOAC International, Gaithersburg, MD.
- Cemeroğlu B.S., 2013. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Cilt 1. Bizim Grup Basımevi, 707s, Türkiye.
- Cuong D.M., Arasu M.V., Jeon J., Park Y.J., Kwon S.J., Al-Dhabi N.A., Park S.U., 2017. Medically important carotenoids from *Momordica charantia* and their gene expressions in different organs. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 24(8): 1913-1919.
- Egesel C.O., 2001. Genetic Variation Among Maize Genotypes for Carotenoid and Tocopherol Compounds. Ph.D. Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Howe J.A., Tanumihardjo S.A., 2006. Methods for Carotenoid Extraction from Biofortified Maize *J Agric Food Chem.* 54(21): 7992–7997.
- Kırtok Y., 1998. Mısır Üretimi ve Kullanımı. Kocaelik Basım ve Yayınevi, 445s., Türkiye.
- Koca N., Karadeniz F., 2005. Gıdalardaki Doğal Antioksidan Bileşikler. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Türkiye.
- Koçak A.N., 1987. Mısırın İnsan Gıdası Olarak Önemi ve Gıda Endüstrisindeki Yeri. Türkiye’de Mısır Üretimini Geliştirilmesi, Problemler ve Çözüm Yolları Sempozyumu. 23-26 Mart, 1987. Türkiye.
- Kurilich A.C., Juvik J.A., 1999. Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *J Agric Food Chem.* 47(5):1948-55.
- Lambert R.J., 1994. High Oil Corn Hibrids *in* Specialty Corns (edited by A.R. Hallauer). CRC Presss, 123-146.
- Lim H., S. Woo H.S., Kim S.J., Lee J., 2007. Comparison of Extraction Methods for Determining Tocopherols in Soybeans. *European Journal of Lipid Science and Technology.* 109:1124–1127.

- Maarasyid C., Muhamad I.I., Supriyanto E., 2014. Potential Source and Extraction of Vitamin E From Palm-Based Oils : A Review. *Jurnal Teknologi*. 69(4):43-50.
- Maurer M.M., Mein J.R., Chaudhuri S.K., Constant H.L., 2014. An Improved UHPLC-UV Method For Separation and Quantification of Carotenoids in Vegetable Crops. *Food Chemistry*, 165:475–482, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.038>.
- Mendeş M., 2013. *Uygulamalı Bilimler İçin İstatistik ve Araştırma Yöntemleri*. Kriter Yayınevi. Türkiye.
- Murakami A, Nakashima M, Koshiha T, Maoka T, Nishino H, Yano M, Sumida T, Kim OK, Koshimizu K, Ohigashi H., 2000. Modifying Effect of Carotenoids on Superoxide and Nitric Oxide Generation from Stimulated Leukocytes. *Cancer Letters*, 149:115-123.
- Ötleş S., Atlı Y., 1997. Karotenoidlerin İnsan Sağlığı Açısından Önemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 3(1): 249-254, Türkiye.
- Patil B.S., Jayaprakasha G.K., Chidambara Murthy K.N., Vikram A., 2009. Bioactive Compounds: Historical Perspectives, Opportunities, and Challenges *J. Agric. Food Chem.* 57(18): 8142-8160.
- R Development Core Team. 2012. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Rodriguez-Amaya D.B., Kimura M., 2004. *Harvestplus Handbook For Carotenoid Analysis*. Harvestplus Technical Monograph 2.
- Rutkowski M., Grzegorzcyk K., 2007. Modifications of Spectrophotometric Methods For Antioxidative Vitamins Determination Convenient In Analytic Practice. *Acta Sci., Pol., Technol, Aliment*, 6(3): 17-28.
- Turgut İ., Doğan R, Yürür N., 1997. Bursa Koşullarında Yetiştirilen Bazı Atıdışı Hibrid Mısır (*Zea mays L indentata Sturt.*) Çeşitlerinde Bitki Sıklığının Verim ve Verim Ögelerine Etkisi. *Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi*, Türkiye.

## Çivi İmalatı Yapan Bir İşletmede Gürültü Analizi

Ergun Ateş<sup>\*1</sup>, Ebru Arabacıoğlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

20.12.2018 Geliş/Received, 14.03.2019 Kabul/Accepted

### Özet

İmalat işletmelerinde farklı alanlar ve ürünler konu olsa da, üretim için birçok makina ve ilgili elemanlar birlikte çalışmaktadır. Ortama yayılan sesler, kanun ve yönetmeliklerde belirtildiği şekilde çalışanın tahammül edemediği değerlere ulaşabilir. Bu durum birey için normal dışı, rahatsızlık veren ve düzeyi azdan çoğa farklı dış etkiler olup, maruz kalma süreleri de oldukça önemlidir. Bu çalışmada çivi imalatı yapan bir işletmede, çalışanlar üzerine gürültünün etkisini belirleyebilmek için gürültü ölçümleri yapılmıştır. İşletmede makine ünitesinde en düşük-en yüksek ölçüm değerleri 86,1-101,6 dB(A) olarak elde edilmiştir. Bu bölgeden alınan yüksek gürültü seviyesi nedeniyle, çalışan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olacağı açıktır. İşyerinde alınan önlemlere ek olarak, yasa ve yönetmeliklerde belirtilen diğer önleyici önlemlerin alınmasının yararlı olacağı söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** iş güvenliği, çalışan sağlığı, gürültü, çivi imalatı

## Noise Analysis at a Nail-Manufacturing Company

### Abstract

Although different areas and products are involved in manufacturing companies, various machinery and equipment work together in production processes. Noises released into the environment can reach values that the employees may find intolerable as stated in the laws and regulations. While that in itself may generate unusual external impacts that cause discomfort for an employee on a spectrum ranging from mild to severe, the duration of exposure is also very important. For the purposes of this study, noise measurements were made in a nail-manufacturing company to determine the effect of noise on the employees. The lowest-highest measurement values recorded in the company's machinery unit were 86,1-101,6 dB(A). It is obvious that due to the high noise level taken from this region, it will have negative effects on employee health. In addition to the measures taken in the workplace, it can be said that taking other preventive measures mentioned in laws and regulations will be beneficial.

**Keywords:** occupational safety, employee health, noise, nail manufacturing

### 1. Giriş

İmalat işlemleri yapan işletmelerde, o an çalışmakta olan veya rutin çalışanların yanında devreye giren ve çıkan makinaların da birlikte çalışması sebebiyle, ortama yayılan gürültünün

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Ergun Ateş  
(e-posta:ergunates@gmail.com)

çalışan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu bilinmektedir. Zamana bağlı olumsuz etkinin daha da arttığı literatürde de açıklanmıştır.

Gürültünün kişi üzerinde etkisi farklı olsa da akustik travma, uyku problemi, kardiyovasküler sistem ve performans üzerinde olumsuz etkiye sebep olabilir (Alberti, 1997; Porter, 1998; Wallace, 1998). Yapılan bir çalışmada (Arıtan ve Tümer, 2017); Afyonkarahisar, İscehisar ilçesinde doğaltaş fabrikasında Denizli Traverteni kesiminde gürültü ölçümü yapılmıştır. Sonuçta işletmenin bazı bölgelerinde ortam şartlarının gözden geçirilmesi gerektiği belirtilmiş ve “çalışanların gürültüye uzun süre maruz kalmaması için uyarıcı levha ve kulak tıkacı/kulaklık gibi” alınabilecek önlemler açıklanmıştır (Arıtan ve Tümer, 2017). Tarım makineleri üretimi yapan bir firmada çalışan alet, cihaz ve makinaların yüksek gürültü değerleri oluşturduğu belirlenmiştir. Fabrikada rutin çalışan makinalar nedeniyle gürültünün kararlı ve sürekli olması çalışanlar üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. İşyerinde risk olarak görülen gürültü seviyesi değerleri ve çalışanların işitme sağlığı için koruyucu önlemlerin alınması gereği belirtilmiştir (Ateş ve Alagöz, 2018). Bir konfeksiyon firmasında yapılan risk etmenleri değerlendirilmesinde gürültü ölçümlerinin sınır değerlerine bazı bölümlerde yaklaştığı tespit edildiğinde, çalışanların gürültü kontrol yönetmeliğine göre eğitilmeleri gereği açıklanmıştır (Dedeler, 2008). İmalat işlemlerinde gürültü değerleri 85 dB(A) üzerinde olduğunda çalışan sağlığı adına önlem alınması gerekmektedir (Darpe, 2015; OSHA, 2016). Tekstil iş kolunda çalışan işçilerde gürültüye bağlı oluşan işitme kaybı ve bu kaybı etkileyen faktörler, bazı kan parametreleri ile ortam gürültü düzeyi arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışmada 85 dB(A) üzeri gürültülü ortamda çalışanlarda artan yaşa göre gürültüye bağlı işitme kaybının arttığı görülmüştür (Erdoğan, 2016). Fabrikalarda rutin çalışan makinalar kararlı gürültüye sebep olmaktadır. Gürültü düzeyi dağılımı çalışma şekline bağlı olarak dalgalı, kesikli, darbe şekillerinde olabilmektedir. Dolayısıyla birey üzerine etkileri farklı olmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Yapılan başka bir çalışmada, küçük ve orta ölçekli metal malzeme imalatı iş yerlerinde gürültü incelenmiştir. Bu çalışmada parametreler; 3 iş alanı, 3 fabrika ve 40 imalat işlemi için 250 nokta olarak belirlenmiştir. İmalat işlemlerinde ses kaynaklarından frekanslar veri olarak alınmıştır (Kim ve ark., 2013). Kapalı bir alanda hasat sonrası kullanılan mikser, selektör ve çekiçli yem kırma makinasının çalıştırıldığı alanlarda gürültü ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada gürültü düzeyi uyarı sınırı 85 dB(A), gürültü düzeyi tehlikeli sınırı ise 95 dB(A) değeri alınmıştır. Çekiçli yem kırma makinasının gürültü düzeyi 98 dB(A) değeri ölçülmüştür ve ölçülen değer yüksek olmasından dolayı önlemler alınmasına ve gürültü çıkaran makinanın daha az gürültü çıkaran bir makine ile değiştirilmesi kararı alınmıştır (Özguven, 2012). “Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarının Dair Yönetmeliğin 8. Maddesine Göre; Maruziyetin Önlenmesi ve Azaltılması Sorumluluğu İşverene Aittir”, demektedir. Yönetmeliğin 5.maddesine göre LEX, 8 saat olmak üzere maruziyet değerleri “en düşük 80 dB(A), en yüksek 85 dB(A), sınır değeri ise 87 dB(A)” olarak belirlenmiştir (Anonim, 2013). Tekstil işletmesinde çözümlü sarma, ağızlık açma, atkı atma, tefe vurma ve kumaş sarma makinalarından gürültü ölçümleri, makinalardan 1 m uzaklıktan ve 1 m yükseklikten alınmıştır. Ölçümler, gürültü seviyesinin 85 dB(A) üzerinde olduğunu göstermiş ve bunun azaltılması için çözüm üretilmesi gereği açıklanmıştır (Sağbaşı ve ark., 2008). Küçük ve orta ölçekli döküm, dövme endüstrisinde denek olarak alınan erkek işçiler ile yapılan ölçümler sonucunda 90 dB(A)’dan daha yüksek gürültü değerleri alınmıştır. Gürültü ile birlikte ısı maruziyeti de incelendiğinde, 60-72 saat/hafta çalışma sürelerinin yüksek olduğu ve koruyucu önlem alınması gereği açıklanmıştır (Singh ve ark., 2010). Bir başka çalışmada incelenen tesis, iplik, indigo, haşıl, terbiye, kalite, dokuma ve sevkiyat olarak 7 ana bölümden oluşan, Kayseri ilinde faaliyet gösteren bir tekstil fabrikasıdır. Bu çalışmada, dokuma bölümünde maruz kalınan gürültü değerlerini belirlemek üzere, ölçümler 4 noktada yoğun saatlerde yapılmış ve 10 iş gününde tekrarlanmıştır. Elde edilen değerler incelendiğinde, belirlenen ortalama eşdeğer gürültü düzeyleri 73,4 ile

94,4 dB(A) aralığında değişmektedir. Ölçümler dokumanın bazı bölümlerin de aşırı gürültüye maruziyetini göstermiş ve alınabilecek tedbirler açıklanmıştır (Soylu ve Gökkuş, 2016). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD) 1996 yılı raporuna göre gürültünün rahatsızlık verme başlangıcı 55-60 dB(A), rahatsızlığın belirgin artması 60-65 dB(A) ve davranış biçiminde engel oluşma seviyesi 65 dB(A) üzeri olduğu açıklanmıştır (Anonim, 2019). Başka bir imalat firmasında üretim tezgahlarının çalışmaları anında gürültü ölçülmüştür. Bu çalışmada makinelerin tek çalışmalarına göre, birlikte çalışmaları daha büyük gürültü değerleri vermiştir. Bazı makinelerin gürültülerinin yönetmelikte verilen değerleri aştığı gözlenmiştir. Gürültü açısından spiral 92,8 -97,6 dB(A) ile en yüksek değere sahiptir. Bu durumda, koruyucu önlemlerin alınması önerilmiştir (Yavuz ve ark., 2016; Özce ve ark., 2018). Nijerya'da genelde ABD, Hindistan veya Çin'den ithal edilmekte olan çivi makinelerinin, yapılan tasarımın; performans, çevresel faktörler, bakım, estetik / ergonomi, boyut ve ağırlık, güvenlik ve maliyet açısından teknik ve ekonomik bir değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçta ithal edilen makinanın bedeli ile tasarımı kıyaslandığında, ithale nazaran 6.29 kat daha ucuza üretilebileceği belirlenmiştir (Olala and Katiku, 2012).

Dünya Bankası tarafından yayınlanan bir uygulama el kitabı çevresel etkenler bölümünde, yüksek ve aşırı gürültü seviyelerinin insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri incelenmiş, ülkelerden bazı örneklerle de yer verilerek öncelikle problemlerin tespiti, devamında azaltılmasına yönelik bir yönetim sistemi açıklanmıştır (Angeletti ve ark., 2015). Bir çivi imalathanesinde yapılan gürültü ölçümünde 1,83 m 'den, 111 dB(A) değeri elde edilmiştir (Weinger ve ark., 2010).

Çalışan sağlığı, üretimin verimi açısından oldukça önemlidir. Bazı üretim alanları için birçok araştırma yapılmıştır. Bunların içerisinde, ülkemizde bu çalışmada seçilmiş olan bir çivi imalathanesinde yapılan gürültü analizine benzer bir çalışma rapor edilmemiştir. Bu çalışmada çivi imalatı yapan bir işletmede, çalışanlar üzerine gürültünün etkisini belirlemek amaçlanmıştır

## 2. Materyal ve Yöntem

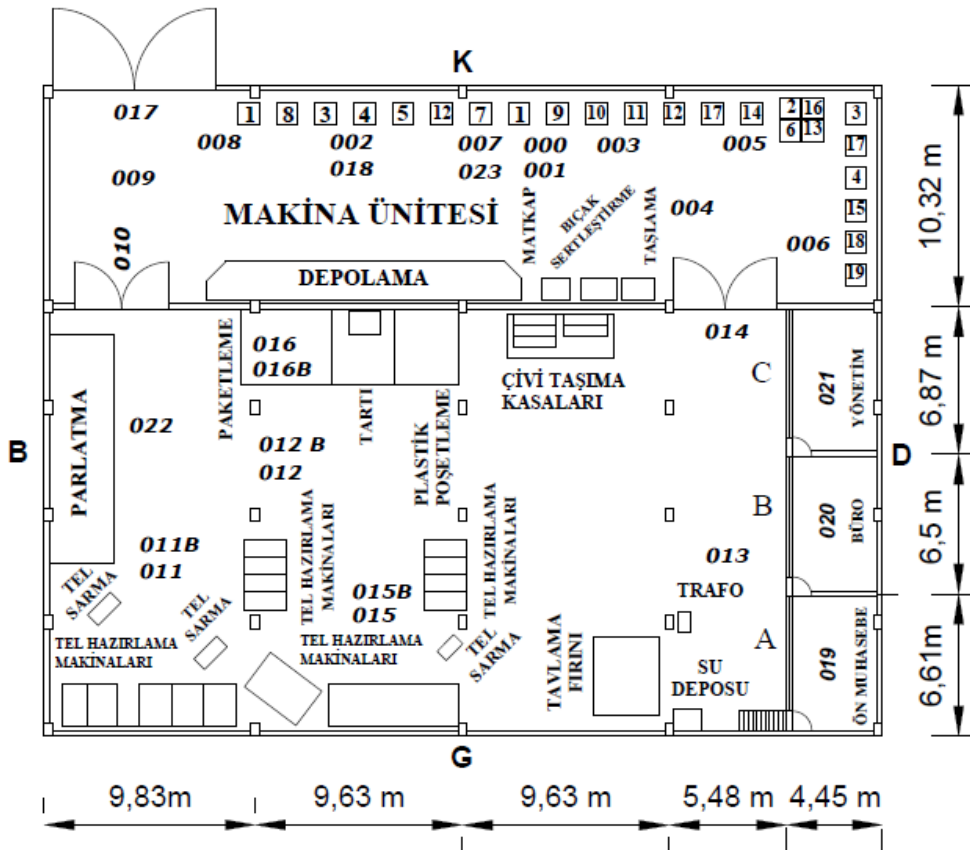
İşletmede gürültü ölçümleri için A, C, ve Z frekanslarında (23-137 dB(A)) ölçüm yapabilen, EN 60651 standardına uygun, sınıfı Type-1 olan (SC310 CESVA Sound Level Meter, Barcelona, Spain) bir gürültü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz gerçek zamanlı olarak verileri kaydedebilir ve bilgi ekran üzerinden direkt okunabilir. Cihaz, "Studio Capture" yazılımı aracılığı ile bilgisayara da bağlanabilir. Bu halde veriler anlık bilgisayara kaydedilebilir, bilgisayardan izlenebilir ve verilerle ilgili düzenlemeler de yapılabilir özelliktedir (Cesva, 2019).

Çalışmada, her bir ölçüm 3 dakika süreli olup en az 3 ölçümün ortalama değeri dB(A) olarak alınmıştır. Ölçüm yapılırken dikkat edilen diğer bir konu; planlanan ölçüm noktalarının tümü bitirildikten sonra, ikinci ölçümler ve devamında da üçüncü ölçümler yapılmıştır. Bu sayede birinci ölçüm sonrası en az bir saat geçmiş, ikinci ölçüm sonrası yine en az 1 saat sonrasında üçüncü ölçümler alınmıştır. Bu şekilde elde edilen ölçüm sonuçlarının, çalışmayı daha doğru açıklayabileceği düşünülmüştür. Farklı günlerde olmak üzere toplam olarak onbir işletme ziyareti gerçekleştirilmiştir. Bir çalışanın diğer çalışana yüksek sesle seslenmesi, içerde forklift sesine ek olarak operatörün korna çalması, herhangi bir ağır parçanın yere düşmesi, sık tekrar etmeyen uygulamalar, bakım nedeniyle veya yönetim tarafından imalata ara verilmesi, gibi işletmede yaşanan olağan dışı durumların etkisini azaltmak için (bazen ölçüm anında yukarıda bahsedilen durumlarla karşılaşıldığından) ölçümler üç defadan fazla sayıda tekrarlanmıştır. Yukarıda verilen istisnai durumlar anlık darbeleri gürültü seviyelerini arttıran

etkenler olarak da gösterilebilir. Bu durum fabrika alanının herhangi bir yerinde rastgele olabilmektedir. Her bir ziyarette farklı makinelerin çalışıyor olması, fabrikada yaşanan rutin bir durumdur.

İşletme yerleşim olarak 3 birimden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bunlar, girişte üretimin yapıldığı “makina ünitesi”, makina ünitesinden tamamen ayrılmış olan ve ana girişin uzağında kalan “hazırlık ve üretim sonrası” bölüm ve “idari bölümler” şeklindedir. İdari bölümler 2. katta olup bu birimin altında (Şekil 2.1’de A, B, C olarak tanımlanmıştır) sırasıyla A; WC ve takımhane, B; yemekhane ve laboratuvar, C; tartı, tamirhane, malzeme deposu yer almaktadır.

Şekil 2.1’de verilen yerleşim planı üzerinde 000’den başlayarak 023’e kadar verilen numaralar tüm işletmede ölçüm alınan noktaları göstermiştir. İşletmede ölçüm alınırken makina ünitesindeki tüm makina numaraları karşısındaki bütün ölçüm numaraları aynı anda çalışır durumda değildir. İşletme, ölçüm için farklı zamanlarda ziyaret edilmiş olsa da, iş planına göre belirli makineler çalışıyor olduğundan, işletmenin rutinine kesinlikle engel olunmamıştır. Bu fabrikanın doğal çalışma seyrinde çalışanlara olan gürültü maruziyetini doğru belirleyebilme adına da önemlidir. Şekil 2.1 ve Çizelge 2.1’den görüleceği üzere ölçüm noktasından ölçüm alınırken, çalışmakta olan makinalara göre “merkezi bir ölçüm noktası” almaya özen gösterilmiştir. Makinaların birbirlerine göre boyutları, tipleri, özellikleri farklıdır. Bu durum nedeniyle ölçüm yapılan seviyeler, “makinaların hareketli elemanlarının olduğu seviyeler olarak” dikkate alınmıştır. Ölçüm seviyeleri ise Çizelge 2.1’de ilgili sütunda, her bir ölçülen noktaya göre ayrı ayrı verilmiştir. Fabrika yerleşimi Şekil 2.1’de verildiği gibi 1/1 ölçeğe aynı olup, alan ölçüleri ise  $39,02 \times 30,3 \text{ m}^2$ ’dir.



Şekil 2.1 Yerleşim planı ve ölçüm noktaları

İdari bölümleri oluşturan ön muhasebe, büro ve yönetim birimleridir. Burada giriş için tek bir kapı mevcut olup genelde daima kapalıdır ve gürültü kaynağı olan makine ünitesine en uzak noktadadır. Makine ünitesinin çalışıyor olması anında, arka bölümde yer alan idari büroların, içerisinde genelde gürültü kaynaklı olumsuz bir etki hissedilmemiştir. Bu nedenle ilk etapta idari bölümlerden herhangi bir ölçüm (019, 020,021) alınmamıştır. Fakat bu durum makine ünitesi çalışıyor iken, arka bölümde çalışan makineler de olduğunda, farklılık göstermektedir. İdari bölümlerde de oldukça belirgin ve çalışanlar için zamanla rahatsızlık yaratabilecek gürültü seviyeleri de olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle arka bölüme ait olan gürültü ölçüm noktalarının yanında yazılan B sembolleri ile verilen gürültü değerleri, aynı anda (makine ünitesi çalışıyor durumdayken) ilave olarak arka bölümdeki makineler de çalışırken, aynı ölçüm noktalarından alınan gürültü değerlerini göstermektedir.

Çizelge 2.1 İşletmeden alınan ölçümlerde aktif makineler ve ölçüm yerleri

Makine Ünitesi Çalışmasında Ölçüm Değerleri					
Ölçüm Numarası	Aktif Makinalar	Ölçüm Yeri	Ölçüm Mesafesi (m)		Ortalama Değer dB(A)
			Yere	Duvarlara	
000	3,6	(3) ve (6) arası	1,00	K2,25	99,0
001	3,4,6	(3,4) ve (6) arası	1,00	K2,25	101,4
002	3,4,6	(3) ve (4) arası	1,00	K2,25	101,6
003	3,4,7,10,14,17,18	(10) önü	1,00	K2,25	100,5
004	3,4,7,10,14,17,18	Kısa hat ortası	1,00	K5,16 - D9,93	95,1
005	3,4,7,10,14,17,18	(14) önü	1,00	K2,25	95,1
006	3,4,7,10,14,17,18	(18) önü	1,00	D2,25	95,6
007	3,4,7,10,14,17,18	(7) önü	1,00	K2,25	95,2
008	3,4,7,10,14,17,18	(1) sol yan	1,00	K2,25	94,4
009	3,4,7,10,14,17,18	Giriş-1. arka giriş ortası	1,00	K5,16 - B4	92,5
010	3,4,7,10,14,17,18	1. arka giriş ortası	1,00	B4	91,4
011	3,4,7,10,14,17,18	1. giriş karşı ortası	1,00	G9,86 - B4,92	94,7
012	3,4,7,10,14,17,18	Tel hazırlama, paketleme arası	1,00	G13,11 - B12,42	89,5
013	3,4,7,10,14,17,18	Ofis önü	1,00	D7,19 - G8,61	86,1
014	3,4,7,10,14,17,18	2. arka giriş ortası	1,00	D7,19	92,6
015	3,4,7,10,14,17,18	Tel hazırlama ortası	1,00	G6,61 - B14,65	90,6
016	3,4,7,10,14,17,18	Paketleme önü	1,00	A5,25 - B12,5	87,1
017	3,4,7,10,14,17,18	Giriş kapısı ortası	1,00	K0,00 - B4,00	91,7
018	3,4,7,10,14,17,18	(3) ve (4) arası	1,00	K2,25	97,2

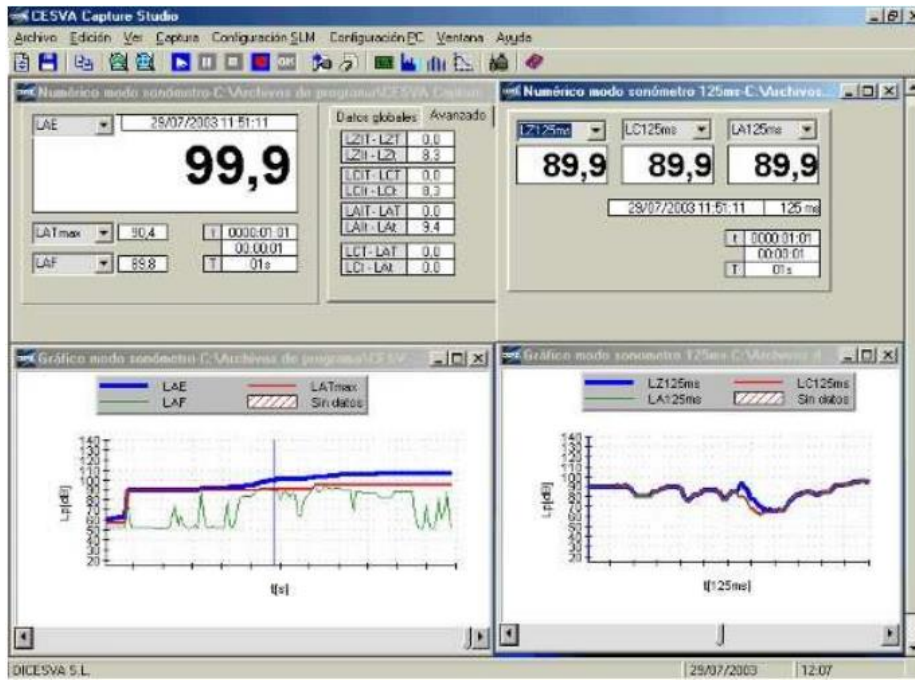
Arka bölüm devreye girdiğinde 019, 020, 021, 022, 023, 011B, 012B, 015B, 016B ölçümleri yapılmış ve bu değerler Çizelge 2.2’de verilmiştir. Şekil 2.1’de gürültü ölçümlerin de eğik-kalın olarak verilen ölçüm numaraları sembolleri yanına ilave edilen büyük harf B simgesi, aynı noktadan alınan ikinci ölçüm olduğunu göstermektedir. Şekil 2.1’de bu semboller verilmiştir. Şekil 2.1’de fabrika yerleşim planı dışında sembol olarak gösterilen K, D, G, B harfleri ise saat ibreleri yönünde olmak üzere, Çizelge 2.1’de ve Çizelge 2.2’de mesafe sütununda duvara olan uzaklıkların önündeki harfler olarak verilmiştir. Bu gösterimde “ölçüm yerinin” yakın olduğu duvarlara olan uzaklıkların belirtilmesi tercih edilmiştir. Çizelgelerdeki mesafe sütununda verilen diğer bir bilgi de ölçüm anında yerden olan yükseklik bilgisidir. Yerden olan yüksekliğin belirlenmesindeki durum, yukarıda bahsedildiği üzere gürültüye sebebiyet



veren, farklı boyutlardaki makinaların hareket eden elemanlarının olduğu merkezi bir noktadır.

Çizelge 2.2 İşletmeden alınan ölçümlerde aktif makinalar ve ölçüm yerleri

Arka Bölüm Çalışmasında Ölçüm Değerleri					
Ölçüm Numarası	Aktif Makinalar	Ölçüm Yeri	Ölçüm Mesafesi (m)		Ortalama Değer dB(A)
			Yere	Duvarlara	
019	3,9,7,12 011B, 015B	İdari bölüm.	0,75	D2,23 – G3,30	65,7
020	3,9,7,12 011B, 015B	İdari bölüm.	0,75	D2,23 – G9,86	66,4
021	3,9,7,12 011B, 015B	İdari bölüm.	0,75	D2,23 – A4,43	68,8
022	3,4,9,12 011B, 015B 022Parlatma	Parlatma önü.	1,45	G13,11 – B4,00	90,1
023	3,4,9,12 011B, 015B 022Parlatma	(7) önü.	1,00	K2,25	95,6
011B	3,4,9,12, 011B, 015B, 022Parlatma	011B İşaretli yer.	1,00	G9,86 - B4,92	96,1
012B	3,4,9,12 011B, 012B, 015B 022Parlatma	012B İşaretli yer.	1,00	G13,11 - B12,42	87,9
015B	3,4,9,12 011B, 015B, 022Parlatma	015B İşaretli yer.	1,00	G6,61 – B14,65	90,2
016B	3,4,9,12 011B, 015B, 016B, 022Parlatma	016B İşaretli yer.	1,00	A5,25 – B12,5	89,9



Şekil 2.2 Gürültü ölçüm ve kayıt cihazının yazılım aracılığıyla veri kaydı (Cesva, 2019)

### 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

İşletmede 000 ile tanımlanmış olan “ölçüm numarası” karşılığı olan 3,6 numaralı makineler (Şekil 2.1) çalışmakta iken ikisinin orta noktasından ölçüm yapıldığında 99 dB(A) gibi yüksek bir gürültü seviyesi olduğu görülmüştür. Ölçüm numarası 001 ve 002 olan ölçümlerde çalışan makineler 3,4,6 olup 001 ölçüm yeri çalışan tezgahların orta noktası olarak alınmış ve bunun ölçüm değeri 101,4 dB(A) ile yüksek bir gürültü seviyesi olduğu belirlenmiştir. Ölçüm numarası 002 olan ise o an 3 tezgah (3,4,6) çalışıyor iken ve iki tezgah arası mesafe 1 m olup 3 ve 4 numaralı tezgah orta önünden 101,6 dB(A) olarak en yüksek gürültü seviyesi ölçülmüştür. Ölçüm numarası 003, 10 numaralı çalışan makine önünden alınmış olup aynı anda çalışan diğer makineler 3, 4, 7, 14, 17, 18’dir. Ölçüm değeri 100,5 dB(A) ile yüksek bir gürültü seviyesi tespit edilmiştir (Çizelge 2.1).

Ölçüm numarası 004’den başlayarak 018’e kadar olan ölçümlerin tümünde aktif makineler 3, 4, 7, 10, 14, 17 ve 18 şeklindedir. Bu ölçümlerde en düşük gürültü seviyesi 86,1 dB(A) ve en yüksek ise 97,2 dB(A) olmuştur. Gürültü ölçümünde, ölçüm alınacak noktanın tezgah önünden olması veya tezgahlara uzak olması arasında, gürültü seviyesinin yüksekten azalana doğru bir eğilimde olduğu belirlenmiştir. Herhangi bir tezgahın diğerine göre çalıştığı anda ortama yaydığı gürültü eşit değildir. Bu farklılık nedeniyle, birlikte çalışan makineler olsa da, ortama yayılan gürültü seviyesinin çalışan makina sayısına bağlı olarak, artıyor ya da azalıyor şeklinde bir sonuç çıkarmak anlamsız olmaktadır. Ölçüm yeri numarası 004’den 018’e kadar olan aktif makineler için alınan ölçüm sonuçlarının farklı olması nedeni olarak; ölçüm yerleri olarak makina önü veya uzak bir noktanın seçilmesi, tezgahların atölyedeki yerleşimleri ve çalışanların makinelerde çalışırken bulunma ihtimalleri olan bir noktanın seçilmiş olması gibi farklı hallerden kaynaklandığı söylenebilir. İlave olarak, her bir tezgahın montajından ölçümlerin yapıldığı ana kadar geçen süreçte, tezgahın yoğun kullanımı, dinamik hareketlerin yapılmasında rolü olan elemanların bakımlarının zamanında yapılıp yapılmaması, bakım düzenli yapılmış olsa dahi makina ömründeki uzayan sürelerin gürültüyü arttırdığı da söylenebilir. Bu açıklanan sebeplere göre ölçüm numarası 001 ve 002 olan ölçümlerde özellikle 6 numaralı makinenin yapısı itibari ile elde edilmiş olan yüksek gürültü seviyelerinin alınmasına neden olduğu söylenebilir (Çizelge 2.1).

Ölçüm numarası 002 ile çalışmadaki en yüksek gürültü seviyesi 101,6 dB(A) ve ölçüm numarası 001 ile çalışmadaki ikinci en yüksek gürültü seviyesi 101,4 dB(A) olarak elde edilmiştir. Ölçüm numarası 003 ile de üçüncü en yüksek gürültü seviyesi 100,5 dB(A) ile elde edilmiştir. Ölçüm numarası 000 olan ölçümde, 3 ve 6 numaralı aktif makinelerin yine 99 dB(A) gibi yüksek bir gürültü değeri vermesi de, benzer sebepli olduğu söylenebilir (Çizelge 2.1).

Makina ünitesi bölümünde ölçüm numaraları 000’dan 010’a ve ilave 017 ve 018 ile toplam 13 ölçüm yeri gürültü seviyeleri en düşük ve en yüksek 91,4-101,6 dB(A) arasında ölçülmüştür ve çalışan sağlığı açısından yüksek risklidir. Hazırlık ve üretim sonrası bölümünde ise ölçüm numarası 011’den 016’a kadar toplam 6 adet veri ile en düşük ve en yüksek 86,1-94,7 dB(A) arasında ölçülmüştür. Bu bölgenin de yine yüksek riskli olduğu söylenebilir.

Tesisteki çalışma alanları, ön makine ünitesi birimi, arka hazırlık birimi ve paketleme bölümü ve idari bürolar altındaki dinlenme ve depo birimi olmak üzere üç ana birimden oluşmaktadır. Makina ünitesinde yerleşimleri yapılan makinelerin sayısı dikkate alındığında, ortama yayılan gürültü adına mevcut durumda makineler arasındaki mesafelerin yeteri kadar büyük olmadığı söylenebilir. Çalışan makineler oldukça yüksek gürültü oluşturmaktadır ve bu makineler

birbirlerine çok yakın olarak konumlandırılmıştır. Dolayısıyla aynı anda çalıştıklarında ortama yayılan gürültü seviyesi artmaktadır. Alan olarak mekan yeterli büyüklüktedir ve burada her bir makina olmak üzere bölgesel ses izolasyonu yapılmasının yararlı olacaktır. İlave olarak makina ünitesi mekanına özel bir yapısal ses izolasyonu da düşünülebilir. İkinci birim olan arka bölüm ise yeterli büyüklüktedir. Çalışan makinelerin yerleşimleri, gürültü oluşsa da yeterli uzaklıkta olduğu söylenebilir ve kullanım ergonomisi açısından da yeterlidir. İdari büro alt katındaki bölümlerde (Şekil 2.1, A, B, C) yer alan tüm birimler ihtiyaç olduğunda kullanılmaktadır. Bu bölümlerin en ölçüleri 3,735 m'dir ve makine ünitesine uzak bir yerdedir. Çalışanların bu bölgede, çalışma anında olmaması sebebiyle bu bölgede ölçüm numarası 013 ve 014 olan noktalardan alınan ölçümler çalışmada yeterli görülmüştür. Bu ölçümlerden sırasıyla 86,1 dB(A); 92,6 dB(A) gürültü seviyeleri elde edilmiştir. B ile kodlanan birim, çalışanların dinlenme odası olarak kullanılmaktadır. Mekan normal yapı malzemeleriyle inşa edilmiştir. Bu birimde çalışma anında yüksek gürültüye maruz kalan işçiler, periyodik dinlenme yapabilirler. Fakat mekanda gürültü önleme adına herhangi bir tedbir alınmadığı belirlenmiştir.

İşletmeden alınan ölçümlerde, (makine ünitesi çalışıyor halde iken) arka bölüm devreye girdiğinde gürültü seviyeleri ölçümü idari bölümden sırasıyla 019, 020 ve 021 olmak üzere 65,7-68,8 dB(A) aralığında gürültü değerleri alınmıştır. Gürültü derecesi, 2. Derecedeki gürültüler kapsamında 60-95 dB(A) olup; kan basıncı artışı, kalp atışlarında ve solunumda hızlanma, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler vb. fizyolojik reaksiyonlar olmak üzere sağlık üzerine çeşitli etkileri olduğu açıktır. İdari bölümden alınan değerler başlangıç düzeyi kabul edilse dahi, zamana bağlı çalışanlar üzerine olumsuz etkisi olacağı söylenebilir.

Parlatma makinasında, üretilen çivilerin (bazı karışımlar ilavesiyle) makina haznesine atıldıktan sonra, haznenin belirli bir devir sayısı ile döndürülerek, çivilerin temizlenmesi ve parlatılması işlemi tamamlanmış olur. Parlatma işleminde makine kapağı kapatılmadığı durumda 101,9 dB(A) olarak yüksek bir gürültü değeri ölçülmüştür. Parlatma makinası mekan içerisinde darbeli gürültü oluşturan bir ünite olarak tanımlanabilir. İş güvenliği gereği, çalışma anında ön kapak daima kapatılmaktadır. Buna rağmen oluşan ortalama gürültü seviyesi değeri 90,1 dB(A) olmuştur. Çalışan sağlığı açısından bu değer 3. derece gürültü (90-120 dB(A)) olarak tanımlanır ve fizyolojik reaksiyonların yanında baş ağrılarına da sebep olabilir. Ölçüm numarası 023 olan ölçümde, makine ünitesinde aynı anda çalışan 4 makine ile birlikte, 011B ve 015B olarak tanımlanan ölçüm noktalarındaki tüm tel hazırlama makineleri de çalışıyor haldedir. Bu durum Çizelge 2.1'e göre farklılık oluşturmaktadır, arka bölüm çalışıyor iken makine ünitesinde alınan ölçümde, gürültü değeri üzerine arka birimin etkisini de göstermektedir. Bu değer 95,6 dB(A) olmuştur. Ölçüm noktası 011B'de gürültü seviyesi 96,1 dB(A), 012B'de 87,9 dB(A), 015B'de 90,2 dB(A), 016B'de ise (ürünsüz çalışan makine) 89,9 dB(A) olmuştur. Son dört ölçümde (011, 012, 015, 016 ile) aynı yerden ölçüm alınsa da genelde arka birimin devreye girmesi ile gürültü değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Çizelgelerde, ölçüm mesafesi olarak verilen değerlere bakıldığında sırasıyla öncelikle 2 duvar, daha sonra 1 duvar olmak üzere sıkışık mekan da yer alan makinaya göre, açık alanı olduğu halde yerleştirilmiş olan bir makinanın ürettiği gürültü seviyesinin daha düşük olduğu görülmektedir. Buna sebep olarak, oluşan gürültünün daha hızlı bir şekilde yakın duvara teması ile yankılanması ve diğer gürültülerle karışması olarak açıklanabilir.

İşletmede makine ünitesi çalışmasında ortalama gürültü seviyeleri 86,1-101,6 dB(A) aralığında değişmiştir. Ölçülen 19 ortalama gürültü seviyesi değerinin sadece üç adedi 86,1; 87,1; 89,5 dB(A) olmuş, diğer 16 ölçüm noktasından ise 90,6-101,6 dB(A) ortalama gürültü seviyesi değerleri alınmıştır. Arka bölüm çalışmasında ölçülen 9 gürültü seviyesi ortalama

değerleri ise 65,7-96.1 dB(A) aralığında olmuştur. Bu ölçümlerde 011B ölçüm noktasından en büyük ortalama gürültü değeri alındığı halde; bu bölüme uzak makine ünitesi, aynı bölümdeki iki tel hazırlama ünitesi ve parlatma birlikte çalışmaktadır. Resmi Gazete’de Yönetmelikte belirtilen “en yüksek maruziyet eylem değerleri ( $L_{EX, 8 \text{ saat}}$ )=85 dB(A)” değerlerinin üzerinde olup, ölçümlerin %95’inin “maruziyet sınır değerleri ( $L_{EX, 8 \text{ saat}}$ )=87 dB(A)” nın üzerinde olması çalışan sağlığı açısından oldukça risklidir. Çünkü yönetmelik, “yeterli ölçüm ile tespit edilen haftalık gürültü maruziyet düzeyi, 87 dB(A) maruziyet sınır değerini aşamaz” maddesine göre ölçüm değerleri, işletme içerisindeki ölçüm noktalarını da gösterdiğinden, işletmenin tamamın gürültü seviyesi açısından risk oluşturduğu söylenebilir.

Üretim tezgahlarının yapıları ve (ihmal edilen veya rutin) bakımlarındaki farklılıklar ortama yayılan gürültü seviyesini etkilemektedir. Üretim tezgahlarının tek veya çoklu çalışma hallerinde farklı gürültü seviyeleri elde edilmektedir. İşletmede ana gürültü kaynağı makina ünitesidir. İkinci seviyede ortama gürültü yayan hazırlık ve üretim sonrası bölümüdür ve bölümde çalışan tezgahlardan sırasıyla yüksek seviyeli gürültüden azalana doğru olmak üzere; parlatma, paketleme, tel çekme ve tel sarmanın, ana gürültü kaynakları olduğu belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarından gözlenen ana gürültü kaynağı olan makina ünitesine yaklaştıkça gürültü seviyesi artmaktadır.

Yüksek gürültü kaynakları için bölgesel ve ilave olarak gürültülü bölge mekanı için alınabilecek ses izolasyonu tedbirleri, çalışan sağlığı açısından yararlı olacaktır. Kulak tıkaçları ve ilave manşon kullanımı öncelikli tercih edilebilir, bu durumda en fazla ses azalmasının 50 dB(A)’yı geçmeyeceği bilinmelidir. Mevcut halde gürültüye sebep olan mekan oldukça büyüktür ve makine yerleşimleri çok sıkıştırılmıştır. Bu durumda bariyerlerin kullanımı çok yararlı olmayacaktır. Öncelikle mevcut birimin diğer birimlerden duvarlarla ayrıldığı ve duvarlar dahil ses yutucu malzemelerle kaplanması düşünülebilir. Diğer bir uygulama ise mevcut mekan olduğu halde iken her bir makinaya kısmi hücre uygulaması ile yine bir çözüm olarak verilebilir. Üçüncü bir uygulama önerisi ise makine ünitesinde bu son iki yöntemin birlikte kullanılmasıdır. Bariyerlerde en fazla elde edilebilecek gürültü kaybı 10 dB(A) olup, özellikle yüksek frekanslarda etkilidir. Endüstriyel tesislerde hücre uygulaması ile 10-40 dB(A) bir gürültü kaybı sağlanabilir (Özgüven, 1986).

Bu çalışmada üretim kaynaklı ortaya çıkan gürültünün çalışan sağlığı üzerine etkilerini azaltmak için çalışanlara sunulan donanımı, kendilerine verilen eğitime rağmen ve kendi sağlıklarıyla ilgili olmasına rağmen kullanma konusunda çekinceleri olması anlaşılabilir değildir. Gelişmiş ülkelerdeki çalışanların, kendi sağlıkları konu olduğunda ülkemiz çalışanından daha duyarlı oldukları görülmektedir. Ülkemizde konuyla ilgili çalışanlara yönelik eğitimlerin ciddiyle yapılması gereği açıktır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Gürültünün insan sağlığı üzerine etkilerinde; fiziksel, fizyolojik, psikolojik ve performans üzerine olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle çalışan sağlığı adına, işyeri faaliyetine uygun düzenlemelerin yapılması gereklidir.

Sağlık açısından söz konusu işyeri değerlendirildiğinde; yeterli dinlenme aralarıyla çalışma süreleri düzenlenebilir, çalışanların dinlenmesi için ayrılan yerlerdeki gürültü düzeyinin düşük olması için gereken tedbirler alınabilir, hava yoluyla yayılan gürültünün perdeleme, kapatma, gürültü emici örtüler ve benzeri yöntemlerle azaltılması sağlanabilir ve yapı elemanları yoluyla iletilen gürültünün; yalıtım, sönümleme vb. yöntemlerle azaltılabilir. İşyerinde

işveren tarafından kulak koruyucu donanımlarının sağlandığı tespit edilmiştir. İşverenin işçilere gürültü hakkında gerekli eğitimi verdiği ve işçilerin özellikle kulak koruyucularını kullandıkları belirlenmiştir. İşçiler için işin yapısı gereği gürültü dışında aynı zamanda tozlu bir ortam oluştuğundan, kullanmaları gereken toz maskelerinin takılması konusunda işverenin denetimlerinin olduğu da gözlenmiştir. İşyerinin, çalışanları için üç ayda bir beş aşamalı bir sağlık kontrolü yapılmasını sağladığı da belirlenmiştir.

## Kaynakça

- Alberti P.W., 1997. Noise and the ear. In; Kerr AG, Stephens D(Ed.). Scott-Brown's Otolaryngology Vol.2, London; Butterworth-Heinemann Read Educational and Professional Publishing Ltd. Book, Chapter, 11, 1-34.
- Angeletti I., Horner R. Luy L. 2015. Environmental and Social Management System Implementation Handbook. Metal Products Manufacturing. IFC, International Finance Corporation, World Bank Group. 15 April. Version 1.2.
- Anonim, 2013. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik. Resmi Gazete Tarih: 28/7/2013, Sayı: 28721.
- Anonim, 18 Mayıs 2019. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Gürültü ve Titreşim Kontrolü Şube Müdürlüğü, Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu. "Bölüm 1: Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri". Ankara, 2011. Online; <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/cevresel-gurultu-olcum-ve-degerlend-rme-klavuzu-20180209145104.pdf>
- Arıtan A.E., Tümer M., 2017. Elmas Telli Sayalama Makinesi Kullanılan Bir Doğaltaş Fabrikasında Ortam Şartlarının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4): 185-192.
- Ateş E., Alagöz M.G., 2018. Tarım Makinaları İmalatı Yapan Bir Firmada Gürültü Analizi. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 2 (1): 13-22.
- Cesva, 14 Şubat 2019. Acoustic Instruments. Cesva Instruments. S.l. Maracaibo, 6-08030, Barcelona, Spain. Online.<https://www.cesva.com/en/products/sound-level-meters/sc310/>
- Darpe A.K., 2015. Fundamentals of Noise; Department of Mechanical Engineering, IIT Delhi. Dec. 18.
- Dedeler H., 2008. Bir İşletmede İşyeri Fiziksel Risk Etmenlerinin Çalışanların Sağlığına Olan Etkisinin Saptanması ve Değerlendirilmesi. Trakya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Edirne. (Yüksek Lisans Tezi).

- Erdoğan A., 2016. Denizli’de Üç Tekstil Fabrikasındaki Gürültü Düzeyinin Çalışanlar Üzerine Etkisi. T.C.Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı. Denizli. (Uzmanlık Tezi).
- Güler Ç., Çobanoğlu Z., 1994. Gürültü. Sağlık Bakanlığı. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Serisi No:19. Ankara, Kitap.
- Kim B.S., Park J.Y., Lee Y.U., 2013. A Noise Generating Mechanism at Manufacturing Process of Metal Material Products- Focus on Small and Medium Size Enterprise. Journal of Korean Society of Mechanical Technology, 15(6): 925-930.
- Olala F.A, Katiku N.T., 2012. Design of a Nail Making Machine Suitable For the Local Cottage Industry. Final year Project report. University of Nairobi. Project No. JMO/01/2012. May.
- OSHA, 20 December 2016. Noise. Technical Manual. United States Department of Labor; Occupational Safety & Health Administration. Section III. Chapter 5. Online, [https://www.osha.gov/dts/osta/otm/new\\_noise/](https://www.osha.gov/dts/osta/otm/new_noise/)
- Özce L., Ateş E., Bulduk İ., 2018. Bir İmalat Firmasında Gürültü Değerlendirilmesi. Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi (MSG), Türk Tabipleri Birliği. 18(67): 30-36.
- Özgüven M.M., 2012. Kapalı Alanlarda Kullanılan Bazı Hasat Sonrası Tarım Makinalarının Gürültü Haritalarının İncelenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi. 9(3): 45-53.
- Özgüven N., 1986. Endüstriyel Gürültü Kontrolü. TMMOB, Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:118. Ankara. Kitap.
- Porter N.D, Berry B.F., 1998. Noise and Nuisance Policy Health Effect Based Noise Assessment Methods: A Review and Feasibility Study. Department for Environment, Food and Rular Affairs. Sept.
- Sağbaş A., Kahraman F., Eşme U., Özbek A., 2008. Tekstil İşletmelerinde Gürültü Ve Gürültünün Azaltılmasında Mühendislik Önlemler. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi. 23(1): 181-187.
- Singh L.P., Bhardwaj A., Deepak K.K., 2010. Occupational Exposure in Small and Medium Scale Industry with Specific Reference to Heat and Noise. Noise & Health. 12(46): 37-48.

Soylu M., Gökkuş Ö., 2016. Endüstriyel Kaynaklı Gürültü Kirliliğinin Araştırılması ve Bir Tekstil Fabrikasında Uygulama Örneği. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 32, Sayı 2.

Wallace R. B., 1998. Maxy-Rosenau-Last Public Health & Preventive Medicine. Moller RA. Effects of the Physical Environment: Noise As a health hazard; Appleton & Lange. 14th Edition. Stamford. USA, Book, 637-44.

Weinger M.B., Wiklund M.E., Bonneau D. J. G., 2010. Handbook of Human Factors in Medical Device Design. CRC Press. Taylor & Francis Group. Book, 41.

Yavuz L., Ateş E., Bulduk İ., 2016. Bir İmalat Firmasında Gürültü Değerlendirilmesi. 1. Uluslararası İş Güvenliği ve Çalışan Sağlığı Kongresi. 6-2 Mayıs, 1(1): 244.



## Spool İmalat Süreci Optimizasyonu

Bige Küçükefe\*

Namık Kemal Üniversitesi, Marmara Ereğlisi Meslek Yüksek Okulu

12.12.2018 Geliş/Received, 14.03.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Rafineri ve petrokimya tesislerinin kurulmasında boru sistemine ait bölümlerin (spool) fabrika ortamında imalatı son yıllarda tercih edilen bir yöntem olmuştur. Spool imalatı farklı boy ve miktarlarda boru ve bağlantı elemanı malzemelerinin kullanımını gerektirmektedir. Bir spool için kesilmesi gereken borular belirlenirken kayıp miktarının en az olması amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, spool imalat sürecinde malzeme kayıplarını en aza indiren ve seçilen performans kriterini (spool sayısı veya Weld Dia Inch (WDI toplamı)) maksimize eden stok malzemenin belirlenmesidir. Gerçek bir fabrika için spool imalat sürecinin bütün aşamalarını kapsayan bir dijital dönüşüm projesinin parçası olan çalışmada, NP-hard kategorisinde yer alan optimizasyon probleminin çözümü için bir Monte-Carlo algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem ile minimum kayıp ile en uygun performans kriterini sağlayan malzeme planlaması (MRP) belirlenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Monte Carlo, stok kesme problemi, stokastik optimizasyon

## Optimization of Spool Fabrication Process

### Abstract

Spool manufacturing in a workshop environment is a preferred method in recent years for refinery and petrochemical plants. Spool manufacturing involves cutting and welding pipe and fittings in different length and quantities. It is aimed to have the least amount of loss when determining pipes to be cut for a spool. The purpose of this study is to optimize stock material usage to maximize spool quantity or Weld Dia Inch (WDI) total depending on the selected performance criteria. As part of a digital transformation project that covers all stages of the spool manufacturing process for a real factory, a Monte-Carlo algorithm has been developed to solve the optimization problem in the NP-hard category. Material Resource Planning (MRP) which provides the best performance criterion with minimum loss, is determined with the developed method.

**Keywords:** Monte Carlo, cutting stock problem, stochastic optimization

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Bige Küçükefe  
(e-posta:bkucukefe@nku.edu.tr)

Bu makale Namık Kemal Üniversitesi Teknoparkında faaliyet gösteren BigeSoft yazılım firmasının Katar'daki bir projesi sonucu yazılmıştır.

## 1. Giriş

Proses borulama sistemlerini oluşturan kısımların (spool) bir fabrika ortamında imal edilmesi, rafineri ve petrokimya tesislerinin kurulmasında tercih edilen bir yöntemdir. Bu sayede sahada yapılması gereken boru kaynağı miktarı azalmakta ve dolayısı ile tesis kurulum süresi önemli oranda kısalmaktadır. Bu makalede, Katar'da faaliyet gösteren gerçek bir firma için spool imalat süreçlerinin takip edilmesi, optimum stok kullanımı, raporlaması ve kalite kontrol işlemlerinin elektronik kayıt altına alınması amacıyla geliştirilen bilgisayar yazılımı detaylı olarak sunulmaktadır. Spool Manager olarak adlandırılan yazılımın bileşenleri arasında, spool imalatı için atanacak stok malzemeyi optimum olarak belirlemeyi hedefleyen bir stokastik optimizasyon algoritması da yer almaktadır.

Stok kesme problemleri (SKP) literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Bir optimizasyon problemi olarak NP-zor (Garey ve Johnson, 1979) sınıfında yer alan SKP'nin çözümü için pek çok sezgisel yöntem önerilmiştir (Wäscher ve Gau, 1996). Aynı uzunluktaki stok büyüklüklerinden farklı uzunluktaki parçaların kesimini ele alan çalışmalar (Eshgi ve Javanshir 2008; Cui ve Liu, 2011) literatürde yaygın olmakla birlikte, çoklu stok büyüklüklerinin çoklu boylarda tek boyutlu kesimine yönelik sınırlı sayıda araştırma vardır. Dikili ve ark. (2008) bir matematiksel model oluşturmadan farklı stok boyları kullanarak kayıp miktarını en aza indiren sezgisel bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Benzer şekilde Keskin (2015) ve Wascher ve ark. (2007) tarafından "Çoklu Stok Büyüklüklerinin Tek Boyutlu Kesim Problemi" şeklinde sınıflandırılan problem için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önermiştir. İlk aşama sezgisel bir algoritma içerirken, ikinci aşamada bir tam sayılı doğrusal problemi modelinden yararlanılmıştır. Karelanti (2002) çelik endüstrisindeki kesme işlemini iki boyutlu bir modelin optimizasyon probleminin çözümü şeklinde ele almıştır. Berberler ve ark. (2011) ise problemin çözümü için bir dinamik programlama algoritması kullanmışlardır. Tanır ve ark. (2017) çelik sektöründeki birleşik stok kesme ve patern sıralama problemi için sezgisel bir algoritma kullanmışlardır.

Geliştirilen yazılım 4 ana modülden oluşmaktadır. Bu modüller; proje verilerinin veritabanına aktarılması, stok malzeme atama optimizasyonu, imalat ve kalite kontrol sürecine ait verilerin sisteme aktarılması ve raporlamadır. Bir ön çalışma ile belirlenen proje verileri sisteme aktarıldıktan sonra, spool imalatında kullanılacak stok malzemenin kayıplarını en aza indirecek şekilde optimum ataması gerçekleştirilir. Optimizasyon sürecinde öncelikle yaygın olarak kullanılan bir sezgisel yöntem ile referans optimum atamalar belirlenir. Sonrasında gerçekleştirilen stokastik optimizasyon çok sayıda farklı ve rastgele kombinasyon için kayıp değerlerini hesaplar ve sonuçlar sezgisel yöntemin sonuçları ile kıyaslanır. Stokastik optimizasyonun daha başarılı sonuçlar elde ettiği atamalar en uygun kabul edilerek yeni referans atama olarak alınır. Stokastik yöntem sonuçlarından daha iyi performans elde edilemez ise malzeme atamaları için sezgisel yöntem sonuçları kullanılır. Spool imalat ve kalite kontrol sürecine dair güncel bilgiler mobil cihazlar ile sisteme aktarıldıktan sonra gereksinim duyulan raporlar oluşturulur.

Bir spool boru ve bağlantı elemanları malzemelerinden oluşur. Optimizasyon ile boru kayıplarını en aza indirgeyen stok kullanımının belirlenmesi hedeflenirken, bağlantı elemanı atamalarında amaç en fazla spool sayısını elde etmek veya en fazla toplam kaynak miktarını (Weld Dia Inch, WDI) gerçekleştirmek olabilir. Seçilen kritere göre (spool sayısı veya toplam WDI) stokastik optimizasyon kullanılarak en uygun bağlantı elemanı atamaları belirlenir. Bu yöntemin başka bir avantajı da eksik malzeme nedeniyle imalatı tamamlanamayacak olan

spool listesinin de elde edilmesidir. Bu sayede malzemesi tam olmayan spool imalatına başlanmayarak önemli faydalar sağlanır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Spool imalat süreci özellikle büyük projeler için çok karmaşık bir yapıya sahiptir ve özel yazılım çözümlerinin geliştirilmesini gerektirir. Proje dokümanlarında gösterilen spool'ların fabrika ortamında imal edilmesi için izometri, spool, malzeme ve kaynak bilgileri ve ilişki yapıları bir veritabanında tanımlanmalıdır. Sonrasında, imal edilecek spool'lar için hangi stok malzemenin kullanılacağı kesme kayıplarını en aza indirmeyi amaçlayan bir algoritma ile belirlenmelidir. Boru seçimini takiben en fazla spool sayısı veya toplam WDI tercihinine göre bağlantı elemanı malzemelerinin atamaları yapılmalıdır. Takip eden imalat ve kalite kontrol süreci mobil cihazlar kullanılarak hızlı ve hataları en aza indirecek bir şekilde yürütülmelidir. Son olarak, imalat sürecinin her aşaması için kapsamlı raporlama araçları mevcut olmalıdır. Bütün bu ihtiyaçları karşılayan hazır bir paket yazılımın ticari olarak sunulmaması nedeniyle firmaya özel bir yazılımın geliştirilmesi gerekmiştir.

Yöntem olarak kullanılan Monte Carlo stokastik optimizasyon modelinde, karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç olmak üzere üç temel unsur bulunmaktadır. Kısıtları gerçekleştiren amaç fonksiyonunu maksimize ya da minimize eden karar değişkeni değerlerinin en iyi kombinasyonunu belirleme sürecine optimizasyon adı verilir. Optimal değerleri elde etmek için ise genellikle hedefe doğru ve tekrarlayan işlemlerden oluşan bir süreç gerektirmektedir. Bu süreç şu şekilde işler. İlk önce karar değişkenlerinin başlangıçtaki değerleri için amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır, sonuçları analiz edilir, bir veya daha fazla karar değişkeninin değerleri değiştirilerek model tekrar çalıştırılır ve uygun bir sonuç bulana dek aynı işlemler tekrarlanır.

## 3.Yazılım

Proje dokümanlarına dayanarak mühendislik ekibince hazırlanan veri girişlerinin içerdiği bilgiler Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Veritabanı Proje Veri Alanları

	Veri Alanları
İzometri	Proje No, İzometri No, Hat No, Alan, Revizyon, Öncelik, Boya, Malzeme, Bitmesi gereken tarih, Not
Spool	Spool No, İzometri No, Boya alanı, Boya, Boru sınıfı, Öncelik, Not
Malzeme	Malzeme No, Tip (Boru veya Bağlantı Elemanı), Açıklama, Çap, Birim ağırlık, Malzeme, Not
MTC	Spool No, Nokta, Malzeme Kodu, Miktar, Not
Kaynak Bilgisi	Kaynak No, Spool No, Kategori, Pozisyon-1, Pozisyon-2, Kaynak Tipi, WDI, Not
Stok Bilgisi	Stok No, Malzeme No, İlk miktar, Kalan miktar, Proje No, Not

Çizelge 3.1’de yer alan proje verileri sisteme aktarıldıktan sonra, stok malzeme ataması için gerekli olan bilgiler tamamlanmış olur. Aşağıda boru ve bağlantı elemanı atama işlemi için kullanılan optimizasyon yöntemi açıklanmaktadır. Atama sonrasında başlayan imalat ve kalite kontrol süreci için veri girişinde mobil cihazlar kullanılır ve bu sayede kağıt formlar ve ikincil veri girişi ihtiyacı ortadan kalkar.

Raporlama modülü ise spool imalat sürecinin her aşamasında gerekli olan bilgilere erişimi sağlar. Dinamik filtreleme seçeneklerinin de yer aldığı raporlama modülünün yanı sıra kritik performans değerlerini (KPI) gösteren içerikler de geliştirilen yazılımda yer almaktadır.

#### **4. Optimizasyon Yöntemi**

İşletmenin kullanmakta olduğu sezgisel yaklaşım ile gerçekleştirilen atama işlemlerinde, her bir spool için gerekli olan boru boyları toplu olarak listelenip büyükten küçüğe doğru sıralanmakta ve sonrasında stokta bulunan borulara atanmaktadır. Geliştirdiğimiz optimizasyon yöntemi ile birincil amacımız işletmenin kullandığı sezgisel yaklaşıma kıyasla daha az kayıp sağlayan atama işlemi gerçekleştirmektir. Bu nedenle, optimizasyon algoritması stokastik olarak belirlediği atama işlemleri sonucu hesaplanan kayıp miktarını başlangıçta sezgisel yaklaşım ataması ile karşılaştırmaktadır. Stokastik optimizasyon algoritmasında daha az bir kayıp elde edildikten sonra yeni optimum atama olarak belirlenmekte ve takip eden simülasyonlar yeni optimum atama ile kıyaslanmaktadır.

##### **4.1 Sezgisel Yaklaşım**

Sezgisel yaklaşım yöntemi takip eden adımlardan oluşmaktadır.

Adım-1: İmal edilecek Spool’lar listelenir.

Adım-2: Spool’ları oluşturan boru parçaları her boru tipi için büyükten küçüğe sıralanır.

Adım-3: Stokta bulunan borular, Adım-2’deki sıraya göre kesilir ve her boru tipi için kayıp miktarı hesaplanır ( $K$ )

##### **4.2 Stokastik Optimizasyon (Boru Ataması)**

Sezgisel yaklaşım yöntemi ile belirlenen atama sonucu oluşan kayıp miktarı başlangıç optimum olarak kabul edilerek bir stokastik simülasyon yapılır.

Adım-1: İmal edilecek Spool’lar listelenir.

Adım-2: Stokta bulunan borular tiplerine göre listelenir.

Adım-3: Her bir spool için gerekli olan boru parçaları, rastgele olarak atanır ve bu şekilde bütün atamalar tamamlandıktan sonra oluşan kayıp miktarı hesaplanır ( $K_S$ ). Eğer  $K_S$  değeri  $K$  değerinden küçük ise, bunu sağlayan atama yeni optimum olarak kabul edilir ( $K=K_S$ ) ve belirlenen simülasyon sayısı tamamlanana kadar bu işleme devam edilir.

##### **4.3 Stokastik Optimizasyon (Bağlantı Elemanı Ataması)**

Hesaplanan optimum boru ataması kullanılarak, her bir spool için gerekli olan bağlantı elemanı malzemesi için stok ataması rastgele olarak belirlenen sayıda yapılır ve her simülasyon için toplam Spool sayısı ve toplam WDI hesaplanır. İşletmenin tercihinine göre en fazla spool sayısı veya toplam WDI elde edilecek üretim planlaması bu sayede belirlenebilir. Bu yöntem ile bağlantı elemanı atamasının başka bir avantajı, eksik bağlantı elemanı malzemesinin spool imalatına başlanmadan önce tespit edilebilmesidir.

Kullanılan algoritmanın sözde kodu aşağıda verilmektedir.

*BAŞLA*

*OKU Spool Listesi, Stokta bulunan borular*

*KAYIPLAR-1 sezgisel yöntem*

*KAYIPLAR-2 rastgele yöntem (BÜTÜN OLASILIKLAR)*

*EĞER KAYIPLAR-2 < KAYIPLAR-1*

*ATAMA = rastgele yöntem ataması*

*DEĞİLSE*

*ATAMA = sezgisel yöntem ataması*

*TOPLAM SPOOL = rastgele yöntem ataması-1 İLE TOPLAM SPOOL (ATAMA)*

*TOPLAM WDI = rastgele yöntem ataması-2 İLE TOPLAM WDI (ATAMA)*

*EĞER TOPLAM SPOOL MOD*

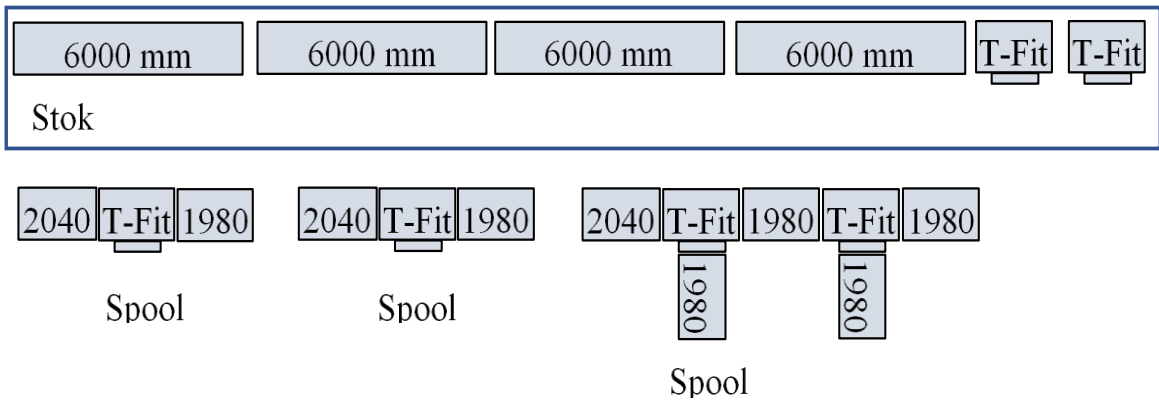
*BAĞLANTI ELEMANI ATAMA = RASTGELE BAĞLANTI ELEMANI ATAMA-1*

*DEĞİLSE*

*BAĞLANTI ELEMANI ATAMA = RASTGELE BAĞLANTI ELEMANI ATAMA-2*

## 5. Örnek Uygulama

Geliştirilen optimizasyon algoritmasını test etmek için Şekil 5.1'de gösterilen spool imalatı kullanılacaktır. 3 adet spool için stokta 6000 mm uzunluğunda 4 adet boru ve 2 adet T-bağlantı elemanı (T-Fit) bulunmaktadır. İmalatın tamamlanabilmesi için gerekli olan malzeme listesi aynı şekilde çıkarılabilir. 3 adet spool imalatının tamamlanabilmesi için 4 adet T-bağlantı elemanı gerekli iken stokta 2 adet mevcuttur. İlk olarak sezgisel yöntem yardımıyla stok atamaları yapıldıktan sonra, bu şekilde ortaya çıkan kayıp referans optimum alınarak stokastik optimizasyon ile kayıpların daha az olduğu atamalar bulunmaya çalışılacaktır. Son aşamada ise, toplam spool sayısı veya toplam WDI kriterlerine göre bağlantı elemanı atamaları yapılacaktır.



Şekil 5.1. Örnek uygulama için imal edilecek 3 adet spool ve stok durumu. (Bütün boru boyları mm'dir)

Sezgisel Yöntem: Spool boru parçaları boy olarak büyükten küçüğe doğru sıralanırlar. 2040-2040-2040-1980-1980-1980-1980-1980-1980-1980. Sonrasında stokta bulunan borular önceki belirlenen sıraya göre kesilirler. Çizelge 5.1'de bu işlem sonrası oluşan atama ve boru kayıp

boyları verilmektedir. Sezgisel yöntem ile yapılan atamalar neticesinde 1920 mm, 60 mm ve 4020 mm boru parçaları şeklinde toplamda 6000 mm kayıp oluşmaktadır.

Çizelge 5.1. Sezgisel yöntem ile yapılan stok atamaları sonrası kesilen boru parçaları ve kayıplar

Stok	Orijinal Boy (mm)	Kesilen Parçalar (mm)	Kayıp (mm)
Boru-1	6000	2040, 2040	1920
Boru-2	6000	2040, 1980, 1980	0
Boru-3	6000	1980, 1980, 1980	60
Boru-4	6000	1980	4020

Stokastik Optimizasyon: Sezgisel yöntem ile elde edilen kayıp değerleri başlangıç referansı kabul edilerek gerçekleştirilen stokastik optimizasyon sonucu hesaplanan boru atamaları Çizelge 5.2’de yer almaktadır. Görüleceği üzere, stokastik optimizasyon ile hiçbir kayıp oluşmamıştır. Bir boy boru hiç kesilmeden stokta kalmıştır. Bu sayede önemli bir tasarruf elde edildiği gibi, ilk aşamada 3 boy borunun stokta bulunması durumunda sezgisel yöntem ile tamamlanamayacak olan 3 adet spool imalatı, stokastik optimizasyon kullanılarak eksiksiz tamamlanabilir.

Çizelge 5.2. Stokastik Optimizasyon ile yapılan stok atamaları sonrası kesilen boru parçaları ve kayıplar

Stok	Orijinal Boy (mm)	Kesilen Parçalar (mm)	Kayıp (mm)
Boru-1	6000	2040, 1980, 1980	0
Boru-2	6000	2040, 1980, 1980	0
Boru-3	6000	2040, 1980, 1980	0
Boru-4	6000	-	0

Bağlantı Elemanı Ataması: Boru atamaları sonrası bağlantı elemanı atamaları gerçekleştirilir. Burada işletmenin önceliği, proje hakediş koşullarına bağlı olarak, en fazla sayıda spool imalatı yapmak veya toplam WDI (kaynak) gerçekleştirmek olabilir. Bu önceliklere göre üretim planlaması yapılmalıdır. Aynı zamanda, stokta bulunan bağlantı elemanlarının bütün spool imalatını tamamlamak için yeterli olmaması durumunda tercih edilen performans kriterine göre belirlenen spool’lar öncelikle imal edilmelidir. Çizelge 5.3’te bağlantı elemanı atama sonuçları verilmektedir.

Çizelge 5.3. Stokastik Optimizasyon ile yapılan bağlantı elemanı atamaları

Performans Krite-ri	Spool İmalat Sırası	Tamamlanan Spool Sayısı	Toplam WDI
En fazla spool sayısı	Spool-1, Spool-2, Spool-3*	2	4
En fazla WDI (kaynak)	Spool-3, Spool-1*, Spool-2*	1	6

\*: Bağlantı elemanı malzemesi eksik olduğu için tamamlanamayacak spool. İmalatın sonraki aşamasına bırakıldığı için geçen süre içerisinde eksik bağlantı elemanı malzemesi tedarik edilebilir.

## 6. Sonuç

Katar'da bulunan gerçek bir işletme için geliştirilen spool imalat süreci takip ve raporlama yazılımının modüllerinden biri spool imalatı için kesilecek borularda kayıpları en aza indirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, bağlantı elemanı atamalarının en fazla spool sayısı veya toplam kaynak (WDI) miktarını sağlayacak şekilde yapılması gerekmektedir. Stokastik optimizasyon kullanılarak gerçekleştirilen stok malzeme atamalarının sezgisel yöntemle göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Atama simülasyonu bütün olası atama kombinasyonlarını değerlendirmeyi amaçlamakla birlikte, büyük boyutlu projelerde hesaplama süresinin çok uzaması nedeniyle bütün atama olasılıkları değerlendirilememektedir. Spool imalatının tamamlanabilmesi için gerekli olan eksik malzemenin belirlenmesi yazılım modülünün işletmeye sağladığı ayrı bir faydadır. Bu sayede eksik malzemeler önceden tedarik edildiği gibi malzemesi tam olmayan spool imalatlarına başlanmayarak sürecin yarım kalmasının önüne geçilmektedir. Optimizasyon algoritmasının sonuç verebilmesi için ihtiyaç duyulan ilişkisel veriler (spool bilgisi, stok bilgisi, malzeme bilgisi ve proje bilgisi) bir veritabanından alınmaktadır.

## **Kaynakça**

- Berberler M. E., Nuriyev U., Yıldırım A. 2011. A Software For The One-Dimensional Cutting Stock Problem. *Journal of King Saud University - Science* 23: 69–76.
- Cui Y., Liu Z. 2011. C-Sets-Based Sequential Heuristic Procedure For The One-Dimensional Cutting Stock Problem With Pattern Reduction. *Optimization Methods and Software*, 26:637-645.
- Dikili A. C., Takinacı A. C., Pek N. A., 2008. A New Heuristic Approach To One-Dimensional Stock-Cutting Problems With Multiple Stock Lengths In Ship Production. *Ocean Engineering* 35: 637–645. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2008.01.003>
- Eshghi K., Javanshir H. 2008., A Revised Version Of Ant Colony Algorithm For One-Dimensional Cutting Stock Problem, *International Journal of Industrial Engineering : Theory Applications and Practice* 15: 341-348.
- Garey M. R., Johnson D. S., 1979. *Computers and Intractability; A Guide to the Theory of NP-Completeness*. Computers and Intractability.
- Karelahti J., 2002. *Solving The Cutting Stock Problem In The Steel Industry*. Master's Thesis. Helsinki University Of Technology.
- Keskin F. D. 2015. *Tek Boyutlu Kesme Problemi : Bir İşletme Uygulaması*. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 15: 180–196.
- Tanır D., Uğurlu O., Kapar M., Nuriyev U., 2018. “Birleşik Stok Kesme ve Patern Sıralama Problemi için Bir Sezgisel Algoritma”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 22:300-305.
- Wäscher G., Gau T., 1996. Heuristics For The Integer One-Dimensional Cutting Stock Problem: A Computational Study, *OR Spektrum*18:131-144
- Wäscher G., Haußner H., Schumann H., 2007. An Improved Typology Of Cutting And Packing Problems, *European Journal of Operational Research* 183:1109-1130.



Araştırma / Research

## Rüzgar Enerjisinin Önemli Geçiş Yerlerinden Olan Çanakkale Bölgesindeki Bazı Rüzgar Enerji Santralleri için Kapasite Faktörü İncelemesi

Halil Gençel<sup>1,2\*</sup>, İsmail Tarhan<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Enerjisa Çanakkale RES Mahmudiye Ezine /Çanakkale

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Kaynakları ve Yönetimi ABD

<sup>3</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi (ÇEKAM)

08.03.2019 Geliş/Received, 15.04.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Son yıllarda hızla artan enerji tüketiminin karşılanabilmesi için konvansiyonel enerji kaynakları daha fazla kullanılmak zorunda kalmıştır. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan bazı çevresel sorunlar daha fazla kendini hissettirmiştir. Dolayısı ile temiz, yenilenebilir, ekonomik ve çevre dostu alternatif enerji kaynaklarına ilgi artmıştır. Bu bağlamda; Çanakkale ili yenilenebilir enerji kaynaklarından, özellikle rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından, oldukça verimli bir konumdadır. Rüzgar enerji santrallerinin gerek yer seçimi gerekse santrallerin enerji üretim verimi, emre amadelik (availability) gibi önemli parametreleri ortaya koymada kapasite faktörü önemli rol oynamaktadır. Kurulacak santral tipinin de seçiminde önemli rol oynayan kapasite faktörü, santralin belirli bir periyotta ürettiği enerjinin santral tam kapasite ile çalıştığında üreteceği enerjiye oranı olarak tanımlanır. Öte yandan kapasite faktörü, enerji kaynağı yanında santralin tasarımı, meteorolojik koşullar, planlı ve plansız teknik bakım süreçlerinin sıklığı, üretime ara verme gibi bazı etkilere bağlı olarak değişir. Bu çalışmada; Çanakkale ili sınırları içerisinde kurulu olan bir rüzgar enerji santralinin kapasite faktörlerinin araştırılması, elde edilecek verilerin karşılaştırılarak incelenmesi, sonuçların irdelenmesi ve yorumlanması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** kapasite faktörü, rüzgar enerji santrali (RES), yenilenebilir enerji, pürüzlülük, weibull ve rayleigh dağılımları, emre amadelik.

## Capacity Factor Analysis for Some Wind Power Plants in the Çanakkale Region, One of the Important Transition Areas of Wind Energy

### Abstract

In recent years, in order to meet the rapidly increasing energy consumption, conventional energy sources have to be used more. Therefore, the interest in the clean, renewable, economic and environmental-friendly alternative energy sources has increased. In this context, Çanakkale province has very important position in terms of renewable energy sources, especially the wind energy potential. The capacity factor plays an important role in the determination of the important parameters of wind power plants such as the location selection and energy production efficiency. The capacity factor, which plays an important role in the selection of the type of power plant to be established, is defined as the ratio of the energy produced by the power plant in a certain period to

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Halil Gençel

(e-posta:halilgencel@gmail.com)

Bu makale Halil Gençel'in tez konusu kapsamında yazılmıştır.

the energy that will be produced when the plant is operating at full capacity. Besides the capacity factor and energy source, the design of the power plant, meteorological conditions, the frequency of planned and unplanned technical maintenance processes, depending on some effects (e.g. pausing the production) are also important. In this study; it is aimed to investigate the capacity factors of a wind power plant in Çanakkale, compare the obtained data, and examine and interpret the results.

**Keywords:** capacity factor, wind power plant (WPP), renewable energy, roughness, weibull and rayleigh distributions, availability.

## 1.Giriş

Yenilenebilir enerji üzerine çeşitli tanımlar olmakla birlikte en yalın ifadesiyle, doğal süreçle- ri devam eden, sürekliliği olan, ikincil enerjiye dönüşümü ile bitmeyen, yenilenecek akışı de- vam eden enerji türüdür. İnsanlığın enerjiye ihtiyaç duyduğu dönemden günümüze enerji ge- reksinimleri büyük ölçüde kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar ve bunlardan elde edilen elektrik üretimi yoluyla karşılanmaktadır. Günümüzde enerji kaynağı olarak çoğunlukla kul- lanılan petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların kısıtlı olması yanında sera etkisi başta olmak üzere olumsuz çevre etkileri göz önüne alındığında, özellikle son yıllarda rüzgar, gü- neş, biyokütle, jeotermal gibi yenilenebilir enerji çalışmaları hız kazanmış ve bu doğrultuda teknolojik araştırmalara ağırlık verilmiştir. Rüzgar enerji santrallerinin kurulumlarına yönelik tekno- ekonomik bir değerlendirme Gökçek ve ark. (2007) tarafından yapılmıştır. Rüzgar tür- binlerine ait türbin sınıfı ile kapasite faktörü ilişkisi Çetin ve ark. (2011) tarafından incelen- miştir. Türkiye'nin çeşitli il ve bölgelerinin rüzgar enerji potansiyelleri üzerine çalışmalar özellikle 2000 yılından sonra ağırlık kazanmıştır (Köse ve ark., 2004; Bilgili ve ark., 2004; Akpınar ve Akpınar, 2004; Özdamar ve ark., 2005; Eskin ve ark., (2008); Güler, 2009; Uçar ve Balo, 2009; Araslan, 2010). Rüzgar, güneş, su gibi sürdürülebilir ve doğa dostu temiz ener- ji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılır ve bu doğal enerji kaynaklarına,

- Akıntı Enerjisi
- Biyo-kütle Enerjisi
- Dalga Enerjisi
- Güneş Enerjisi
- Hidroelektrik Enerji
- Hidrojen Enerjisi
- Jeotermal Enerji
- Rüzgar Enerjisi

gibi alternatif enerji kaynakları örnek olarak verilebilir.

Rüzgar enerjisi ve teknolojileri üzerine yapılan çeşitli çalışmalar (Güler, 2009; Uçar ve Balo, 2009; Araslan, 2010) sonucu elde edilen gelişmeler, rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin avantajlarının ortaya konması yanında rüzgar enerjisi santrallerinin yaygınlaşmasına, yatırımların ve tesis kurulumlarının artmasına önemli katkılar sağlamıştır. Bu bağlamda; rüzgar enerji potansiyeli bakımından Çanakkale bölgesi ulusal ve uluslararası yatırımcılar açısından cazip

bölgeler arasında yerini almaktadır ve son yıllarda bölgede büyük rüzgar santral yatırımları yapılmaktadır. Bu yatırımlar; milli hedefler ve ulusal beklentilerin belirtildiği kalkınma programlarında da sıkça vurgulanmaktadır. Türkiye’de enerji yatırımları ve destekleme mekanizmalarında yapılan iyileştirmeler, desteklerin ve teşviklerin önünün açılması sonucu rüzgar, güneş, biyokütle gibi doğa dostu yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılmasının önü açılmıştır. Bu tür çalışmalar ve girişimler hem ekonomik hem de stratejik anlamda dış baskısının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır.

Kurulacak olan rüzgar enerji santrallerinin verimli olarak işletilmesinde belli başlı kriterlerden olan kapasite faktörünün ve teknik enerji potansiyelinin araştırılması ve irdelenmesi önemlidir.

Ülkemizin rüzgar teknik enerji potansiyeli açısından oldukça iyi konumda olan bölgelerinden biri de Çanakkale ilinin yer aldığı güney Marmara bölgesidir. Bu durum rüzgardan elektrik enerjisi üretimi yapan sahaların kurulması ve bu sahaların en iyi şekilde değerlendirilmesi açısından Çanakkale ilini ön sıralara çıkartmaktadır.

Rüzgar elektrik üretim santrallerinde enerji hammaddesi olan rüzgar, ekseriyetle stabil esmemekte ve türbin yatırım maliyetleri nispeten yüksek olmaktadır. Bu ve benzeri sorunlar nedeni ile rüzgar santrali kurulacak sahaların, kurulum öncesinde sahanın teknik potansiyeli, sahanın kapasite faktör değişim analizleri, rüzgar yön değişim ve şiddetleri önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla sahanın kapasitesine ve rüzgar rejim değişikliğine göre, türbin sınıflarının belirlenmesi, türbin çevirme kapasitesi faktörlerinin belirlenmesine yönelik ön araştırmaların ve değerlendirmelerin titizlikle yapılması çok önem taşımaktadır.

Bu çalışmada; örnek olarak seçilen saha için rüzgar türbinlerinin yıllık enerji üretimleri, rüzgar hızı değerleri, hakim rüzgar yönü, verimleri gibi verilerden yararlanarak sahanın kapasite faktörünün belirlenmesi yanında, türbin çevirme oranları, Betz limiti ile bağlı verim değerleri ve kapasite faktörünün değişimini etkileyen sebeplerin irdelenmesi ve araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışma ile Çanakkale’nin rüzgar enerjisi kapasite faktörünün belirlenmesi üzerine yapılmış az sayıda çalışmalara katkı sağlanmış olacaktır.

## **2. Materyal ve Yöntem**

### **2.1. Sahanın Kurulmasındaki Kapasite Faktörü Yeterliliği**

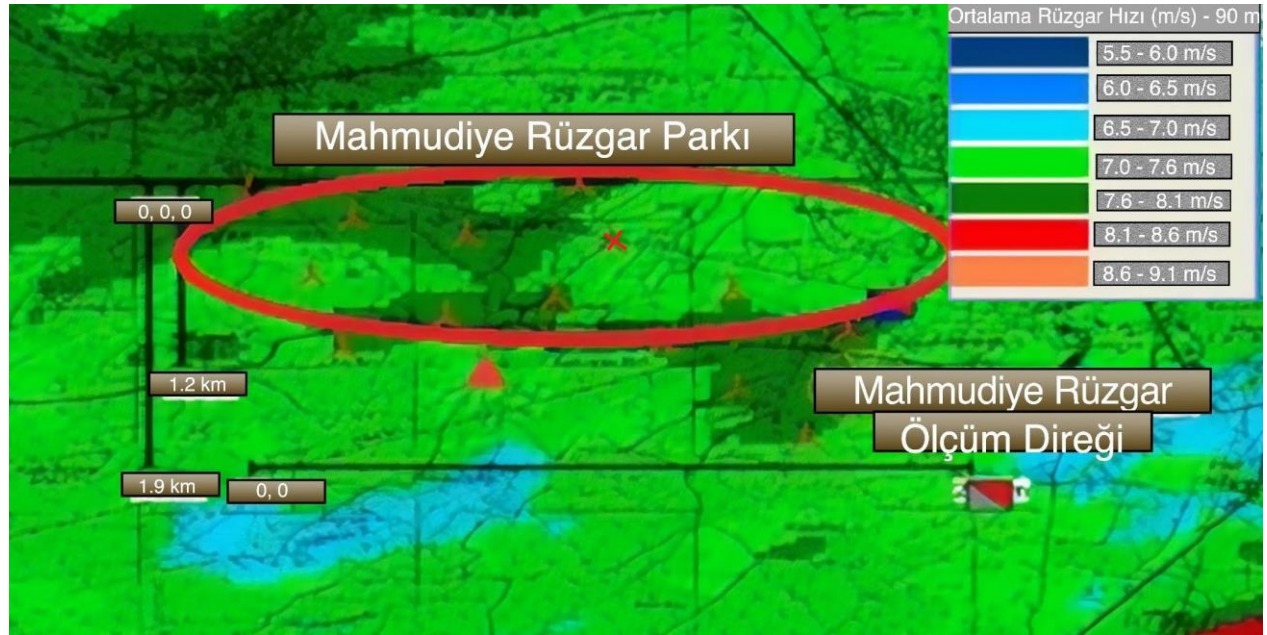
Kapasite faktörü (KF); sahanın teknik enerji kapasitesi ve kurulu olan veya kurulacak santralin, ayda veya yıllık bazda ürettiği elektrik enerjisinin, ayda veya yılda, nominal kurulu güçte üretebilecek kapasiteye bölünmesi ile elde edilen bir yüzdelik sayısıdır. Rüzgar Enerji Santral (RES) sahalarının kurulmasına izin veren Enerji Bakanlığı, sahanın kapasite faktörünün %25’ten büyük ( $KF > 0,25$ ) olmasını istemektedir. Türkiye’deki rüzgar santralleri için kapasite faktörleri ayrıntıları ile Şenkal ve Çetin (2009) ve Çetin (2010) tarafından ele alınmış ve irdelenmiştir.

### **2.2. Araştırma Sahası**

Bu çalışmada; Çanakkale ilinin Güney Bölgesi’ndeki bazı rüzgar enerji sahalarının teknik potansiyeline bakılmış, Çanakkale Güney Bölgesi teknik kapasite faktörü ve kurulu RES kapasite faktörleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Kapasite faktörlerindeki değişime sebep olan ve dolayısı ile enerji verimliliğine etki eden olası sebepler ve veriler toplanarak irdelenmiştir.

### 2.3. Araştırma Verileri

Çalışmada Çanakkale iline ait meteoroloji verileri yanında santral verilerinden de yararlanılmış olup, Şekil 2.1’de (X) ile belirtilen örnek santral (39.873161 K enlem ve 26.237844 D boylam) elektrik enerjisi üretim verileri toplanmış, türbin çevirme kapasitelerine ve santralin kapasite faktörü çıkartılarak çevirme faktörlerinde ve kapasite faktöründeki artışa sebep olan etkenler incelenmiştir. Türbin verimi ve bağlı verim bilgileri, gerçek verilere istinaden elde edilerek, olası etkiler ve sebepler irdelenmiştir.



Şekil 2.1. Çanakkale güney bölgesinde kurulu olan örnek santralin (39° 42' 23.3796" K ve 26° 14' 16.2384" D) yerleşim yerini (X ile işaretlenen) ve rüzgar potansiyelini gösteren konum haritası

### 2.4. Çanakkale Bölgesindeki Enerji Santralleri

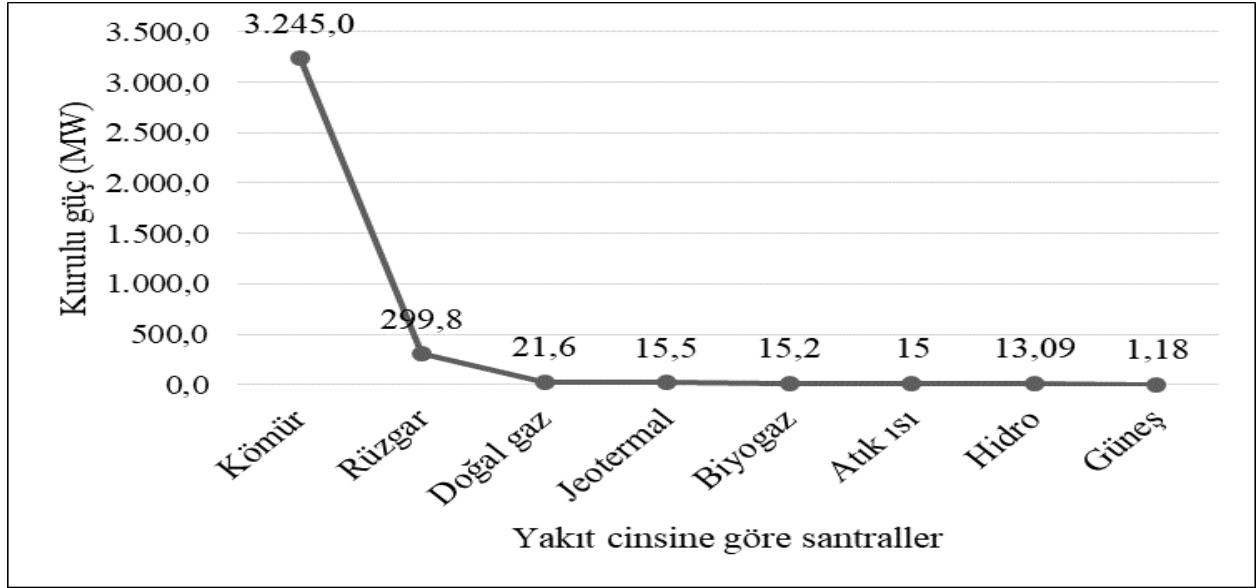
Çanakkale bölgesinde kurulu enerji santralleri yakıt cinsine ve kurulu güçlerine göre sınıflandırılması Çizelge 2.1 de listelenmiştir.

Çizelge 2.1. Çanakkale bölgesi yakıt cinsine göre toplam kurulu güç (Şenlik ve ark., 2018)

Yakıt cinsine göre santraller	Toplam kurulu güç (MW)	Yüzdesi (%)
Kömür santralleri	3.245,0	89,48
Rüzgar santralleri	299,8	8,27
Doğal gaz santralleri	21,6	0,60
Jeotermal santralleri	15,5	0,43
Biyogaz santralleri	15,2	0,42
Atık ısı santralleri	15,0	0,41
Hidrolik santralleri	13,09	0,36
Güneş santralleri	1,18	0,03
Toplam	3.626	100

Çizelge 2.1’den de görüleceği üzere elektrik üretimine yönelik santrallerinin toplam kurulu gücü 3.626 MW’dır ve Çanakkale ilinde kurulu enerji santrallerinin yaklaşık % 90’ının kömüre dayalı termik santrallerinden oluşmaktadır (Anonim, 2019a). Termik santrali

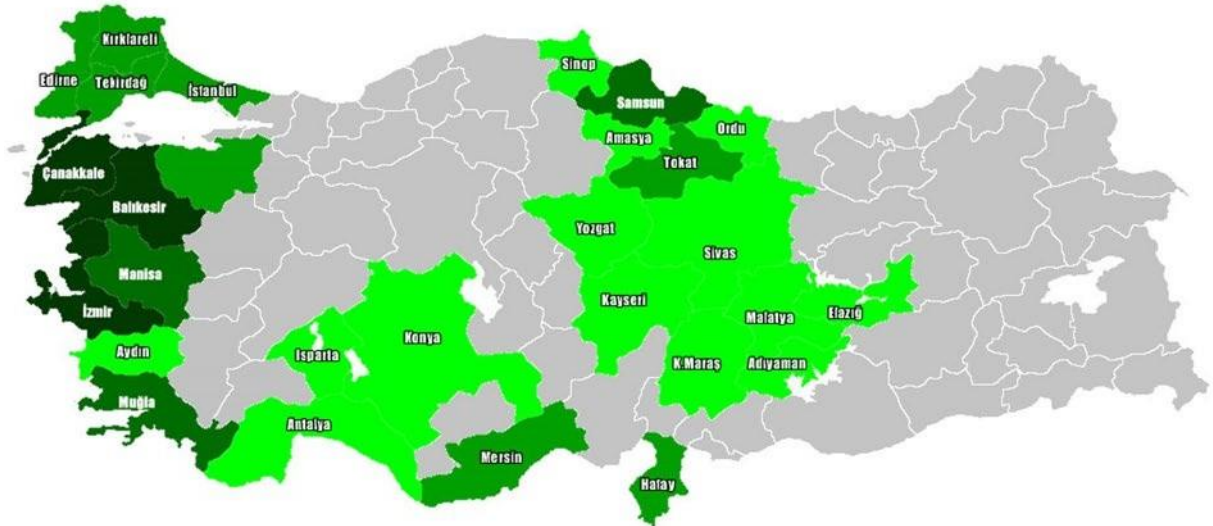
yaklaşık 300 MW kurulu güç ile % 8,3 paya sahip (Anonim, 2019bc) olan ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında üst sıralarda yer alan rüzgar santralleri takip etmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Çanakkale bölgesi yakıt cinsine göre kurulu güç grafiği

## 2.5. Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyeli

Ülkemizin Rüzgar Enerji potansiyeli haritasına (Şekil 2.3) baktığımızda Çanakkale, Balıkesir ve İzmir bölgeleri rüzgar enerjisi potansiyeli açısından ilk sıralarda yer almaktadır. Bunu Ege ve Akdeniz kıyıları ile Trakya ve İç Anadolu izlemektedir (Anonim, 2019d).



Şekil 2.3. Türkiye rüzgar enerji potansiyeli haritası (Anonim, 2019d)

## 2.6. Çanakkale Bölgesi Kurulu Elektrik Üretim Santralleri

Çanakkale bölgesinde kömür, linyit doğal gaz gibi fosil yakıt kaynaklı santraller yanında rüzgar, güneş, hidroelektrik, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim santralleri de aktif olarak yer almaktadır. Çanakkale bölgesinde kurulu ve aktif üretim yapan elektrik enerjisi üretim santralleri, firma, tesis ve kurulu güçleri Çizelge 2.2’de listelenmiştir.

Çizelge 2.2. Çanakkale bölgesi elektrik santralleri (Anonim, 2019a’dan uyarlanmıştır)

No	Santral Adı	Firma	Tesis	Kurulu Güç (MW)
1	Termik Santralı Kara Biga	Alarko Enerji	İthal Kömür	1.320
2	İÇDAŞ Termik Santralı Bekirli	İÇDAŞ Elektrik	İthal Kömür	1.200
3	İÇDAŞ Termik Santralı Biga	İÇDAŞ Elektrik	İthal Kömür	405
4	18 mart Termik Santralı Çan	EÜAŞ	Linyit	320
5	İÇDAŞ Biga RES	İÇDAŞ Enerji	Rüzgar	60
6	İntepe RES	Demirer Enerji	Rüzgar	56
7	Koru Rüzgar Santralı	Borusan Enerji	Rüzgar	50
8	Çamseki RES	Demirer Enerji	Rüzgar	44
9	Çanakakle Rüzgar Santralı	Enerjisa Üretim	Rüzgar	30
10	Sares Rüzgar Santralı	Gama Enerji	Rüzgar	28
11	Çanak. Seramik D.Gaz Santralı	Çanakkale Seramik	Doğal Gaz	22
12	Akçansa Çimento Atık Isı	Akçansa	Atık Isı	15
13	Burgaz Rüzgar Santralı	Polat Enerji	Rüzgar	15
14	Gönen HES	EÜAŞ	Hidro Elektrik	11
15	Bores Rüzgar Santralı	Demirer Enerji	Rüzgar	10
16	Babadere Jeotermal Santralı	MNT Enerji	Jeotermal	8
17	Tuzla jeotermal Santralı	Enda Enerji	Jeotermal	7,5
18	Ayres Rüzgar Santralı	Notos Elektrik	Rüzgar	5
19	Karamendre HES	Berrak Su Enerji	Hidro Elektrik	2,49
20	Meriç Güneş Enerji Santralı	Fatma Deniz Meriç	Güneş	1
21	Gökçe RES		Rüzgar	0,9
22	Çahan RES		Rüzgar	0,9
23	Kıvam Gıda RES		Rüzgar	0,5
24	Papağan Gıda Güneş Santralı	Papağan Gıda	Güneş	0,18

Çanakkale bölgesindeki elektrik üretim santrallerinin kurulu güçlerine bakıldığında 3.626 MW değeri ile Çanakkale bölgesi elektrik üretim kapasitesi açısından Türkiye’nin kurulu gücüne yaklaşık %5 civarında katkı sağlamaktadır. Çanakkale bölgesinde 50 m rüzgar ölçümlerinin ortalama değeri 7 m/s ve kapasite faktörünün de %35 civarında olması Çanakkale bölgesinin rüzgar enerji yatırımlarında ekonomik değer taşıdığı ve bu yönüyle rüzgar enerjisinde lider iller arasında üst sıralarda yer aldığı söylenebilir (Anonim, 2019c).

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Kapasite Faktörü Analizi

Kaynağı sonlu ve kıt olan fosil yakıtların hızla tüketilmesi ve çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesi çalışmaları ülkemiz ve Dünyada büyük önem taşımakta, yenilenebilir enerji teknolojileri üzerine gelişmeler ve bilimsel araştırmalar gittikçe önem kazanmaktadır. Milli hedefler ve ulusal beklentiler çerçevesinde Türkiye enerji yatırımları vizyonunda stratejik öneme sahip olan ve desteklenmesi öncelikli olarak programlara dahil edilen rüzgar enerji santralleri kurulacak sahalarda aranan belli başlı kriterlerden teknik potansiyel ve kapasite faktörlerinin araştırılması bu açıdan oldukça önemlidir.

Ülkemizde rüzgar teknik potansiyeli oldukça iyi olan bölgelerden biri de Çanakkale ili olup, bölgede rüzgar enerjisi üretimine yönelik yatırımlar önemli oranda artış göstermekte, ulusal ve uluslararası ortaklı yatırımlar artarak devam etmektedir. Rüzgar yatırım maliyetlerinin nispeten yüksek olması yanında enerji üretim ham maddesi olan rüzgar enerjisinin stabil olmaması ve sürekli esmemesi gibi sorunlar nedeniyle, santral sahalarının kurulmadan önce bazı ön araştırmaların yapılması büyük önem arz etmektedir.

Yatırımcılar ve ülkemiz için önemli yeri olan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretilmesine yönelik santrallerin kurulmasında bazı kriterlerin iyi araştırılıp analiz edilmesi gerekmektedir. Bunlardan en önemlileri; rüzgarın enerji teknik potansiyeli, teknik kapasite faktörü, türbin sınıflarının belirlenmesi, kurulacak olan santral sahasının ve türbinlerin, çevirme ve kapasite faktörünün belirlenmesidir.

#### 3.2. RES Santrallerinin Kapasite Faktörünün Belirlenmesi

Kapasite faktörü; bir enerji üretim santralının bir yıl ( $365 \times 24 = 8760$  saat) içerisinde kurulu gücünün ne kadarını kullanarak enerji ürettiğini veya üretebileceğini ifade eder (Mathew, 2006; Şenkal ve Çetin, 2009). Bir başka ifadeyle, çeşitli kaynaklarda da (Akkaş, 2001) ifade edildiği gibi, bir rüzgar türbininin belirlenen bir periyotta üretmiş olduğu enerjinin, türbinin nominal güçte çalışmasıyla periyot süresince üretebileceği toplam enerjiye oranı kapasite faktörü olarak adlandırılır. Kapasite faktörü:

$$KF = \frac{\text{Yilda Üretilen Toplam Enerji Miktarı}}{\text{Türbinin Nominal Güçte Yilda Üretmesi Gereken Enerji Miktarı}} \quad (1)$$

olarak ifade edilmektedir (Akkaş, 2001). Literatürde  $C_p$  olarak da verilen kapasite faktörü (KF) teorik olarak 0-100 arası değerler alabilir, ancak bu değer pratikte 20-70 arasında gözlenmektedir (Anonim 2019e). Rüzgar santralleri, çeşitli kaynaklarda da vurgulandığı gibi, yatırımlar öncesinde gerçekleştirilen ön çalışmalarda önemli yer tutan fizibilite çalışmaları, var olan kaynağın en optimum biçimde irdelenmesi ve değerlendirilmesi sonucu isabetli finansal ve teknik modellerin kurulabilmesinde oldukça önem taşır (Ay, 2016). Bu tür çalışmalarda, rüzgar türbinlerinde enerji üretimini dikkate değer oranda etkileyen çeşitli parametrelerin olduğu, bu parametrelerin değişik sahalarda farklı değerler alabileceği ve bu nedenle, seçilen türbinlerin performans analizlerinin her bir türbin sahası için ayrıca irdelenerek değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Örneğin herhangi bir marka türbin, bir bölgede çok iyi kapasite kullanımı yaparken, diğer bölgede



aynı verimi göstermeyebilir. Çetin ve ark (2011) tarafından da dikkat çekildiği gibi, rüzgar türbinlerinin teknik performansları ile birlikte teknik özellikleri de göz önüne alındığında, rüzgar santrallerin kapasite faktörlerinin rüzgar hızının, dolayısı ile potansiyelinin yüksek olduğu sahalardan doğrudan etkilendiğinin gözlemlendiği belirtilmektedir. Ayrıca; bu tür hesaplamalar ve modellemelerin birlikte yapılması, türbin yatırımcılarının daha kısa sürede yatırımlarını amorti etmelerine yol açar. Öte yandan; üreticiler ile birlikte kullanıcıların türbine ait kapasite faktörüne dair doğru bilgilere sahip olmaları bilinmesi gereken önemli bir performans göstergesidir (Çetin ve ark., 2011).

Akkaş (2001)'a göre, kurulması planlanan yada kurulmuş bir rüzgar enerji santralinin gerek teknik ve gerekse ekonomik anlamda uygulanabilirliği yanında sürdürülebilirliğinde de kapasite faktörü bir parametredir.

Uygun bir yerin seçimi için, kullanılacak türbine ve sahaya ait kapasite faktörüne öncelikle bakılır. Ancak kapasite faktörünün düşük olup da, elektrik enerji üretiminin yüksek olduğu durumlarda nadiren de olsa varlığı unutulmamalıdır. Bu durum, daha güçlü kapasitede türbin kullanımı ve nominal güç değeri ile açıklanabilir. Kurulması planlanan sahanın enerji teknik potansiyeli kapasiteleri hesaplanarak, bu sahada hangi sınıf türbin seçimi yapılacağına karar verilmesi ve bölgenin saha kapasite faktörlerine bakılarak yatırım hesaplamalarının yapılması gereklidir (Çetin ve ark., 2011).

### 3.3. Çanakkale Güney Bölgesi Seçilen Santral ve Türbin Özellikleri

#### 3.3.1. Santral Özellikleri

Çanakkale'nin güney bölgesi Ezine ilçesi, Mahmudiye yerleşkesinde bulunan santral ve özellikleri bu çalışmada örnek santral olarak ele alınmıştır. Seçilen rüzgar enerji santralini karakterize eden temel parametreler aşağıda verilmektedir.

Kurulu Güç	: 29,90 MWe
Yıllık Elektrik Üretimi	: 81 GWh
Türbin Adedi	13
Rüzgar Santral Yeri	: Ezine



Şekil 3.1. Rüzgar türbini bileşenleri görünümü



### 3.2. Türbin Özellikleri

Bu çalışmada örnek olarak seçilen rüzgar enerji santralinde kullanılan türbinler 2,3 MW'lık rüzgar türbini olup, türbini karakterize eden temel parametreler aşağıdaki gibidir.

Türbin Sınıfı	: III (7,5 m/s)
Kule Yüksekliği	: 80 m
Rotor Çapı	: 101 m
Kanat Uzunluğu	: 49 m
Süpürdüğü Alan	: 8000 m <sup>2</sup>
Rotor Hızı	: 6 - 16 dev/dk
Kanat Ağırlığı	: 10,9 t
Rotor Ağırlığı	: 62 t
Nacelle (motor yeri)	: 82 t
Kule Ağırlığı	: 162 t
Jeneratör	: Asenkron
Çıkış Gücü	: 2,3 MW
Voltaj	: 690 V
Yıllık 8 m/s de	: 9,500 MWh
Güç Ayarı	: Kanat açısını değiştirerek.
Devreye Girme Hızı	: 3 - 4 m/s
Nominal Güç İçin	: 12 - 13 m/s
Devreden Çıkma Hızı	: 25 m/s
Maksimum 3s Ani Rüzgar	: 60 m/s (IEC verisi)

### 3.4. Rüzgar Gücü Haritası

Bu çalışmada örnek olarak seçilen bölgenin 2012-2018 yılları arası için hakim rüzgar yönünü ve baskın yönlere göre aktif güç değişimini gösteren ve Wind Rose yazılımı kullanılarak oluşturulan rüzgar gücü Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.2'den hakim rüzgar yönünün ve baskın aktif gücün 15° – 30° arasında ve kuzeydoğu yönünde odaklandığı söylenebilir. Yıl içerisinde diğer yönlerde de rüzgar esmesi ve aktif güç üretiminin gerçekleştiği de görülmektedir.

#### 3.4.1. Rüzgar Gücü

Rüzgar olarak adlandırılan ve  $v$  hızıyla hareket eden  $m$  hava kütesinin taşıdığı hareket (kinetik) enerjisi, kinetik enerjinin bilinen temel tanımından,

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2)$$

olarak yazılır. Bu hava kütesi (yani rüzgar) hub (göbek) yüksekliğine sahip rüzgar türbininin  $L$  kalınlığında,  $r$  yarıçapında ve özel eğime sahip kanatlarına çarptığında kanatlar dönerek iş ( $W$ ) yapar ve elektrik enerjisi ( $E$ ) üretilir. Kanatların tam bir tur dönmesi ile kanatlar alanı süpürür.

$$A = \pi r^2 \quad (3)$$



kanadın dönmesini ve A alanını süpürmesini sağlar. Böylece kanat tam bir tur attığında V (A x L) hacmi oluşur ve bu hacim içerisindeki v hızına sahip m (= ρ × V) hava kütlesi;

$$P_T = \frac{E_k}{t} = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{t} = \frac{\frac{1}{2} \rho V v^2}{t} = \frac{\frac{1}{2} \rho A L v^3}{t} = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot \pi r^2 \cdot v t \cdot v^2}{t} = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \quad (5)$$

teorik gücü türbine aktarır. Çeşitli kayıplar göz önüne alındığında; pratikte tüm güç aktarılamaz. Bu nedenle (5) denkleminde Betz limiti (Betz, 1966; Burton, ve ark., 2001) olarak adlandırılan ve C<sub>p</sub> olarak gösterilen güç aktarım kat sayısı (Betz limitine göre C<sub>p</sub> ≤ 0,5926) çarpan olarak eklenir. Böylece (5) denklemi,

$$P_R = \frac{1}{2} C_p \rho \pi r^2 v^3 \quad (6)$$

halini alır ve bu ifade reel güç (P<sub>R</sub> = C<sub>p</sub> × P<sub>T</sub>) olarak adlandırılır. (6) ile verilen reel güç denkleminde görüleceği üzere rüzgardan elde edilecek gücün; rüzgar hızının küpü, kanatların süpürdüğü alan ve hava yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Buradan; bir rüzgar türbininde rüzgar hızının, kanatların süpürdüğü alanın ve hava yoğunluğunun, kapasite faktörünü etkilediği söylenebilir.

### 3.5. Betz Limiti ve Verim

Türbin kanatlarına gelen rüzgarın, giriş ve çıkış hızları arasındaki değer farkına bağlı olarak gücünde bir değişim oluşmaktadır. Betz (Betz, 1966) teorisine göre, günümüz teknolojisi göz önüne alındığında, teorik olarak rüzgar türbinin enerji veriminin en fazla %59,26 olacağını ifade edilmektedir (Betz, 1966; Burton, et al., 2001). Bu durumda v hızında P<sub>R</sub> gücünü üreten bir rüzgar türbinin enerji verimi;

$$\text{Verim} = C_p = \frac{P_R}{P_T} = \frac{\text{Yilda Üretilen Toplam Enerji}}{P_T \cdot 8760} \quad (7)$$

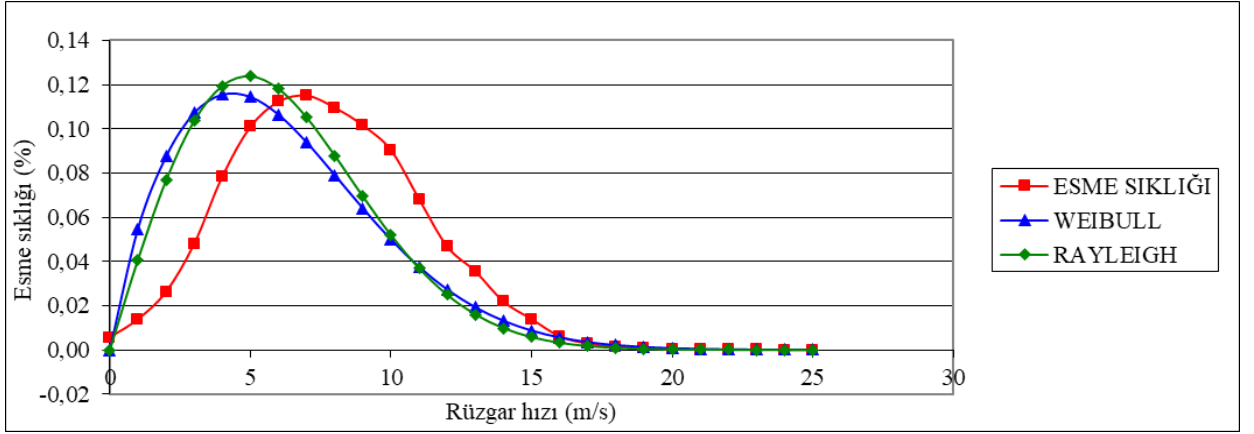
olarak yazılır (Çetin, 2010).

### 3.6. Weibull ve Rayleigh Rüzgar Dağılım Eğrileri

Rüzgar hızının dağılım durumunun belirlenmesinde birkaç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımıdır (Çetin ve ark., 2011). Bu çalışmada örnek olarak seçilen RES sahasının rüzgar verileri Çizelge 3.1'de, bu verilere göre; sahanın rüzgar esme sıklığı ile Weibull ve Rayleigh dağılımları Şekil 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Santral sahasının rüzgar verileri ve hata payı

Ortalama rüzgar hızı	Maksimum rüzgar hızı	Minimum rüzgar hızı	Standart sapma	Hata payı
6,14	23,20	0,01	3,60	1,57



Şekil 3.3 Sahanın 2018 yılı rüzgar esme sıklığı ile Weibull ve Rayleigh dağılımları

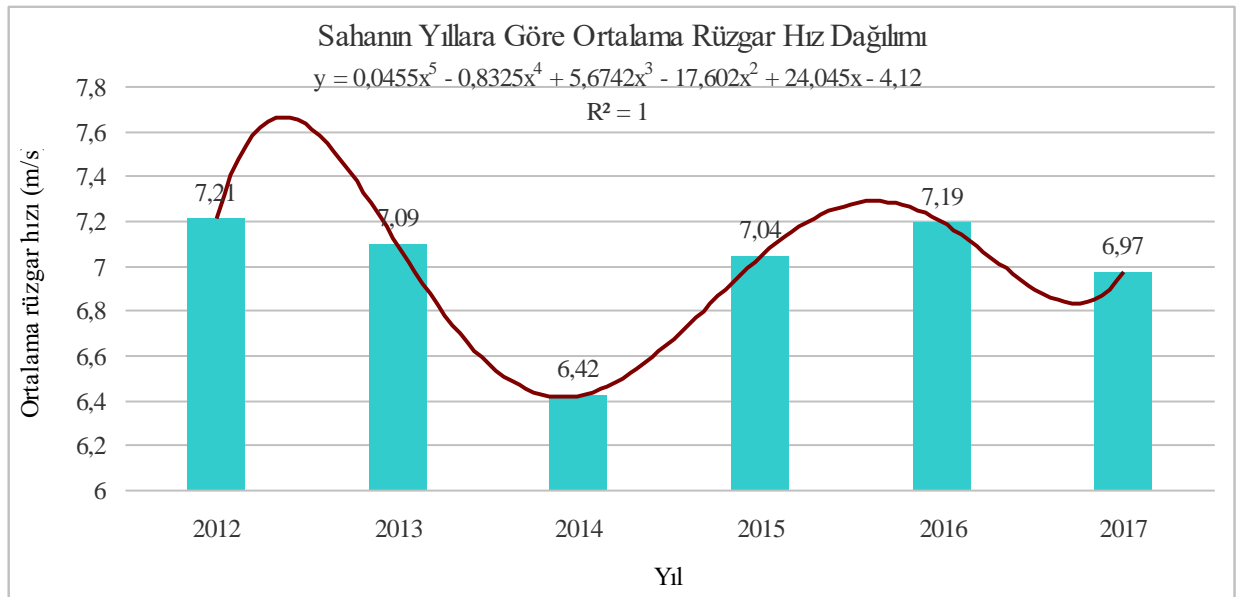
### 3.7. Santral Verilerinin İncelenmesi

#### 3.7.1. Meteorolojik Verileri

Çalışmada ele alınan rüzgar enerjisi üretim sahasına ait 2012-2017 yılları için aylık ortalama rüzgar hız verileri Çizelge 3.2’de yıllık rüzgar hız ortalamaları dağılımı Şekil 3.4’te listelenmiştir.

Çizelge 3.2. Santral sahasına ait ortalama rüzgar hız değerleri

Yıl/Ay	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Ort.
2012	6,92	7,63	6,40	8,16	7,29	4,78	8,13	7,38	8,15	5,78	8,51	7,42	7,21
2013	9,38	7,08	7,72	6,81	6,41	5,67	7,76	8,96	6,27	5,86	6,90	6,24	7,09
2014	7,10	6,99	6,95	6,05	7,01	5,67	6,18	5,51	6,26	7,13	6,61	5,54	6,42
2015	7,17	9,79	6,94	6,56	6,37	6,38	6,40	7,39	6,73	6,23	7,42	6,15	7,04
2016	8,49	7,94	7,62	5,52	5,89	5,72	7,60	8,23	8,15	6,08	7,47	7,56	7,19
2017	7,89	8,40	6,37	6,32	5,62	6,18	6,02	7,20	7,58	6,85	7,93	7,25	6,97



Şekil 3.4. Sahanın yıllara göre ortalama rüzgar hız dağılımı

### 3.7.2. Santral Yıllık Üretim Verilerine Göre Değerlendirmeler

Çalışmada örnek olarak alınan Çanakkale Güney bölgesi rüzgar enerji santralının 2012-2018 yılları arasında oluşan elektrik üretim değerleri dikkate alınarak (Anonim, 2019b), santralın kurulu gücüne göre, yıllık kapasite faktörleri hesaplanmış ve değerler Çizelge 3.3’de verilmiştir. Elde edilen verilere göre 2012-2018 yıllarına ait kapasite faktörü 2014 yılına karşılık gelen %27,3 ile 2012 yılına karşılık gelen %32,7 arasında değişmekte olup ortalama değer %30,7 olarak gerçekleşmektedir. Bu çalışmada yıllık üretim üzerinden gidilip, emre amadeliliği (availability) ve türbin bazlı santral performansını etkilemeyen, mücbir ve türbin bazlı olmayan duruşlar dan kaynaklanan kayıplar kapasite faktörü çalışmasına dahil edilmemiştir. Çalışmada santralın bulunduğu bölgenin, ortalama rüzgar tahmin bilgileri ile, santralın yıllık rüzgar teknik enerji potansiyeli, Betz limitine göre üretilebilecek maksimum enerji potansiyeli ve gerçekleşen üretim değerlerine dair hesaplamaları yapılarak Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Santralın üretim ve kapasite faktörü incelemesi (Anonim, 2019b)

Yıl	Santral Kurulu Gücü (MW)	Yıllık Üretim (MW)	Kapasite Faktörü (%)
2012	29,9	85.457,73	32,66
2013	29,9	79.191,53	30,23
2014	29,9	71.449,01	27,27
2015	29,9	84.009,31	32,07
2016	29,9	84.393,81	32,22
2017	29,9	78.379,99	29,93
2018	29,9	79.487,10	30,34

Çizelge 3.4. Santral sahasının, rüzgar enerji potansiyeli ve Betz teorisine göre enerji tahmini

Yıl	Rüzgar Verilerine Göre Teknik Enerji Potansiyeli (MWh)	Betz Limitine Göre Üretilebilecek Enerji Potansiyeli (MWh)	Gerçekleşen Üretim (MWh)
2012	223.682,34	131.972,58	85.457,72
2013	215.712,21	127.270,20	79.191,52
2014	152.194,64	897.94,83	71.449,00
2015	209.341,88	123.511,71	84.009,30
2016	221.235,64	130.529,02	84.393,80
2017	198.373,55	117.040,39	78.379,99
2018	197.525,87	116.540,26	79.487,10

Çizelge 3.5. Santral sahasının verim incelemesi

Yılı	Rüzgar Verilerine Göre Teknik Enerji Potansiyeli (MWh)	Gerçekleşen Üretim (MWh)	Rüzgar Enerji Potansiyeline Göre Üretim Verimi (%)	Betz Limitine Göre Bağlı Verim (%)
2012	223.682,34	85.457,72	38,20	64,75
2013	215.712,21	79.191,52	36,71	62,22
2014	152.194,64	71.449,00	46,95	79,57
2015	209.341,88	84.009,30	40,13	68,02
2016	221.235,64	84.393,80	38,15	64,66
2017	198.373,55	78.379,99	39,51	66,97
2018	197.525,87	79.487,10	40,24	68,21

Santralin geçmiş yıllara ait rüzgar verilerine göre, 2012-2018 yılları arası için rüzgar enerji potansiyeline göre üretim verimi ve bu verimin Betz limitine göre bağlı verimi Çizelge 3.5'te verilmiştir.

### 3.8. Kapasite Faktörü Değişiminin Olası Sebepleri

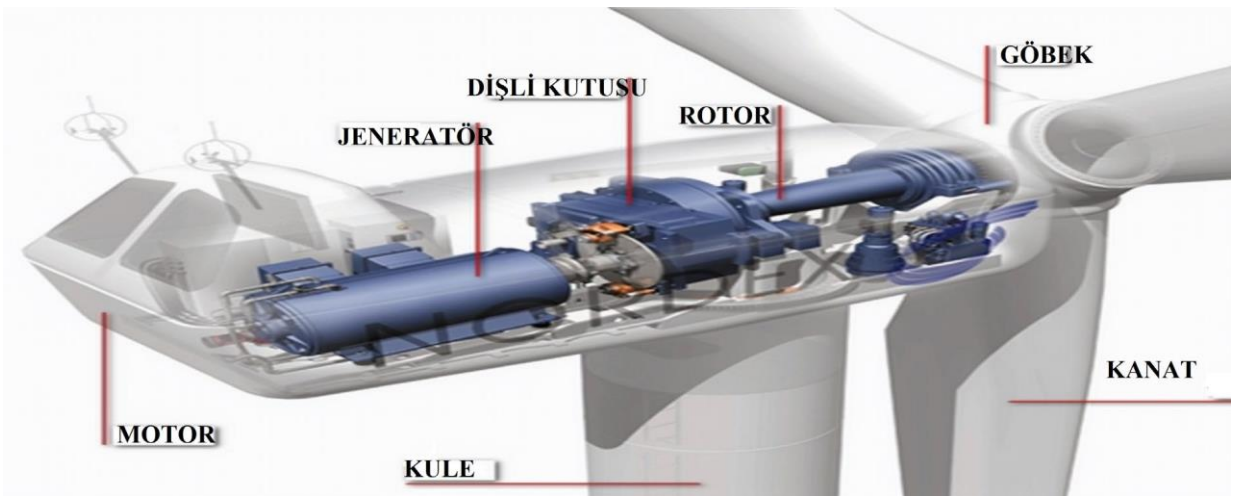
Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te verilen verilerin değerlendirilmesinden de görüleceği üzere kapasite faktörü yıllara göre değişmektedir. Bu değişimlerin olası sebepleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Yıllara göre oluşan değişik rüzgar rejimleri (mevsimsel değişimler).
- Makinelerin devreye girme ve devreden çıkma rüzgar hızı limitleri (cut in, cut out).
- Bölgeye göre seçilen türbin sınıflarının iyi tespit edilmesi.
- Türbinlerin bakım planlarının, rüzgar tahminine göre iyi hesaplanamaması.
- Türbin arıza durumları (emre amadelik).
- Kanatlarda ki mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştüren ara elamanların, dişli kutusu (gearbox) vb. gibi yıpranma zamanları.
- Arızanın çabuk veya uzun sürede giderilmesi (yetiştirilmiş teknik elaman)

Bu konularda yapılacak en iyi iş; planlamaların ve hesaplamaların işin en başında en iyi şekilde yapılması, olası tüm durumların irdelenerek dikkate alınması ve alanında uzman, deneyimli, yeterli sayıda teknik personel ile yedek parça temini ve hızlı müdahale ekiplerinin oluşturulması, ekiplerin belli aralıklarda eğitimlerinin geliştirilmesi gibi faktörler, kapasite faktörünün artışına ve dolayısı ile elektrik enerjisini üretiminin artırılmasına katkılar sağlayacaktır.

### 3.9. Rüzgar Türbini Çevirme Oranı ve Kapasite Kullanımı

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da bir rüzgar türbinin kanatlarına gelen rüzgar enerjisinin önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürülerek, iletim hatlarına aktarılmasına kadar geçen evreleri, her bir evredeki olası enerji kayıplarını ve kapasite kayıplarının ne oranda olacağını teorik olarak göstermektedir (Ata, 2008; Switzer, 2009).

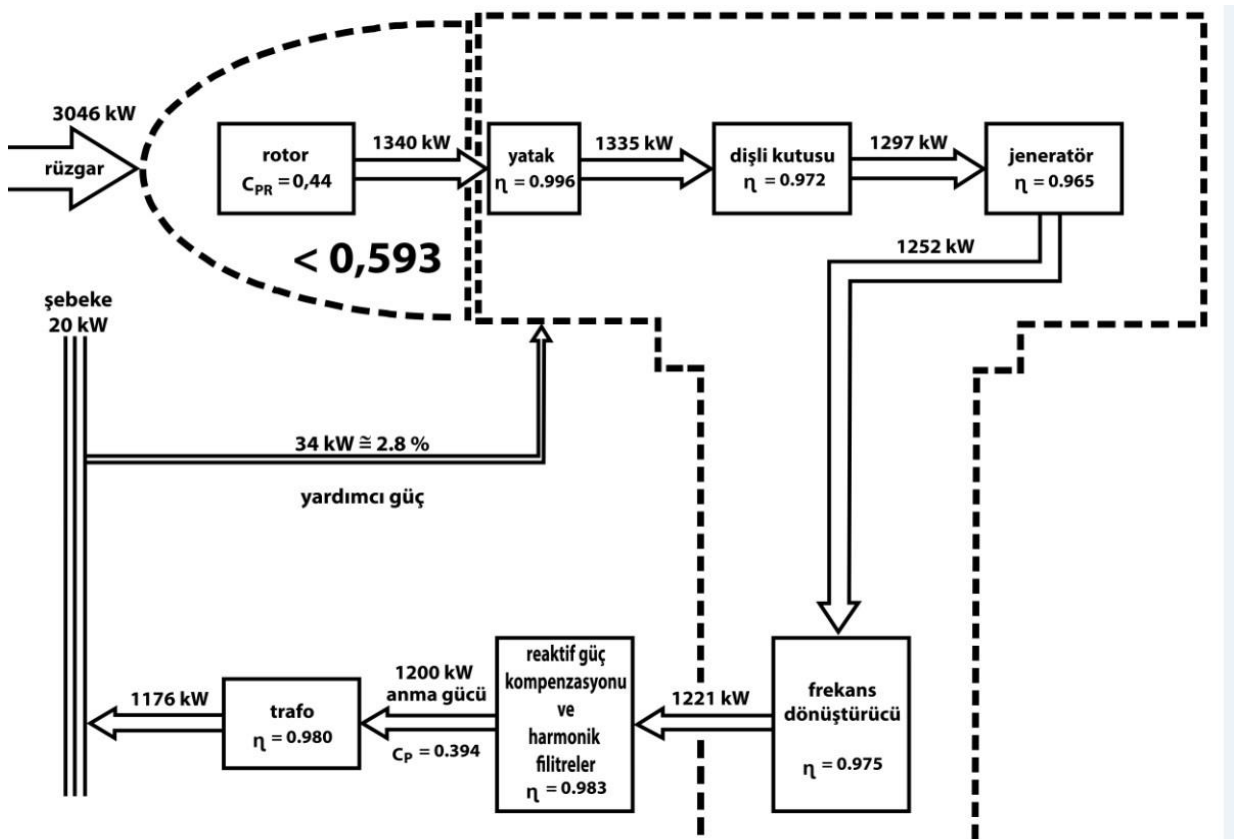


Şekil 3.5. Türbin içi enerji kaybı yaşanan bileşenlerin görünümü (Anonim, 2019'den uyarlanmıştır)

Örneğin; 3.046 kW olarak kanatlara gelen teknik potansiyel güç, öncelikle 1.340 kW değerinde rotora hareket enerjisi olarak aktarılmaktadır. Daha sonra Betz limitine göre bu oran en çok 0,5926 (%59,26) olabilmektedir. Bu değer teorik hesaplamalarda üst limit olarak kabul edilmektedir. Şekil 3.6'da verilen ve örnek olarak ele alınan türbin sistemi için bu değer 0,44 olarak görülmektedir.

Rotor milinin oturduğu yataklarda verim 0,996 dır. Buradan da yataklarda değer 1.335 kW'a düşmektedir. Gearbox olarak adlandırılan ve düşük hızı yüksek hızlara döndüren dişli kutusunun verimi 0,972 civarında olmaktadır. Bu aşamada 0,028'lük bir kapasite kaybı meydana gelmekte olup güç yaklaşık 1.297 kW'a düşmektedir. Mekanik hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren jeneratör verimi ise 0,965'tir. Sonuç olarak 3.046 kW olarak türbin kanatlarına gelen rüzgar enerji gücü jeneratörden 1.252 kW olarak elektrik enerjisine dönüşmektedir.

Rüzgar türbin jeneratörlerinde elde edilen elektrik enerjisinin frekansı sabit 50 Hz şebekelere uyumlu değildir. Rüzgar hızının değişkenliği sebebi ile jeneratör kutuplarında oluşan frekans farklılıklar göstermektedir.



Şekil 3.6. Türbin içi kapasite kaybı yaşanan bileşenler ve olası verimleri (Switzer, 2009'dan uyarlanmıştır)

Bu şekilde enterkonnekte şebekeye bağlantı yapılamamaktadır. Konvertör dediğimiz frekans çeviriciler, frekansı farklı olan elektrik enerjisini ilk önce DC sabit gerilime dönüştürür. Diğer bir konvertörde DC geriliminin frekansı 50 Hz'e ayarlanmış ulusal şebekeye uyumlu alternatif gerilime dönüştürür. Bu konvertörler de çıkışı güç 1.221 kW olur. Ayrıca; harmonik filtreleme sonucunda çıkış gücü 1.200 kW'a düşer.

Buraya kadar olan güç kayıplarına bakıldığında kanatların önünde bulunan 3.046 kW'lık güç 1.200 kW'a kadar düşer. Burada kantlardaki kayıplar dahil, rüzgar türbin kapasite kullanım oranı, yani kapasite faktörü 0,394 olur.

Öte yandan çıkış gerilimi düşük olduğu için iletim hatlarına aktarılması gereken gerilimin yükseltilmesi gerekmektedir. Çıkış gerilimini yükseltmek için kullanılan trafo verimi ise 0,98 olduğunda, şebekeye aktarılan güç 1.176 kW olacaktır. Elektrik üretim sayaçlarında yazılan ve satışa esas güç ise 1.176 kW olarak gerçekleşir ve var olan potansiyel gücün ancak  $(1.176/3.046 = 0,38)$  %38 çevirme kapasitesi ile aktarılmış olur. Dolayısı ile %44 olarak kanatlara alınan güç trafo çıkışı %38 olarak gerçekleşir. Bu aşamalar sırasında oluşan %6'lık kayıp rüzgar türbininin bileşenlerinde kaybolmuştur.

Yeni nesil türbin çalışmalarında doğrudan sürüş (direct drive) olarak adlandırılan türbinlerde, aradaki dişli kutusu (gearbox) kaldırılarak, aradaki kapasite kayıplarını minimize edilmesi sonucu, türbin veriminin artırılması çalışmaları yapılmaktadır. Bu da kapasite faktörünü olumlu yönde etkilemektedir.

#### 4. Sonuç

Çanakkale güney bölgesinde kurulu olan örnek bir rüzgar elektrik santralinde yapılan incelemede farklı yıllarda %25 ile %35 ( $\pm 5$ ) arasında değişen kapasite faktörleri değişimleri hesaplanmıştır. Bölgenin rüzgar rejimi yanında hava sıcaklığı, hava yoğunluğu ve basınç gibi diğer meteorolojik parametrelerin değişikliği ile bağlantılı olarak tek yıla bakıp ona göre yatırım yapmak yanıltıcı olabilmektedir. 2014 yılı kapasite faktörlerine bakılması durumunda, yatırımın daha geç geri dönüşüm sağlayacağı belirlenebilirdi. Fakat diğer yıllardaki kapasite faktörleri incelendiğinde, Avrupa ortalaması olan %32 değerinin yakalanmış olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda bir kaç yılın ortalamasına bakmak daha az yanıltıcı olmakla beraber, daha isabetli kararlar vermede yardımcı olmaktadır.

Rüzgar türbin sahalarından beklentiler; yatırım maliyetlerinin minimum sürede geri kazanıp, üretilen enerjinin optimum şekilde kâra dönüştürülmesidir. Bu nedenle; öncelikle, seçilen sahanın rüzgar parametreleri ve teknik potansiyeli ile birlikte, RES santralinin emre amadeliği yanında türbin verimi ilişkisi de önem taşımaktadır.

İkinci olarak; rüzgar teknik potansiyelinin yanında, o bölgede kullanılacak türbin sınıfı incelemesinde, var olan kapasitenin ne kadarının elektrik enerjisine dönüştürülüp, hangi sınıf türbin seçiminin kapasite faktörünü arttıracacağı ve kapasitenin optimum kullanılabileceği hesabı iyi yapılmalıdır.

Saha kapasite faktörünü etkileyen diğer bir kriter, emre amade durumu, türbin arıza ve bakım zaman planlamasıdır. Örnek olarak, %93 emre amade sağlayacağını taahhüt eden bir türbini ele aldığımızda, seçtiğimiz bölgenin teknik potansiyel kapasitesinden %7'lik bir zaman diliminden faydalanılmayacağını ifade eder.

Yatırım yapılacak saha yerlerinin iyi seçilmesi ve tespit edilen sahaların kapasite faktörlerinin net ve en doğru şekilde hesaplanıp çıkartılması, hangi sınıf rüzgar türbini kurulumunun yapılması gerektiği, maliyetlerin geri dönüşümü ve en verimli şekilde üretimin gerçekleşmesi



anlamını taşımaktadır. Sonuç olarak; yenilenebilir enerjiden üretilecek elektrik, dışa bağımlı fosil yakıt kullanımını azaltacaktır. Bu da ülkemizin dışa gidecek enerji harcamalarını kısması ve ülkede kalacak olan paranın ülke içinde ekonomiye olan katkısını artırarak, ülke vatandaşlarının refah artışında kullanılması anlamını ifade etmektedir.

Çanakkale Bölgesi'nin deniz kıyılarındaki pürüzsüzlük oranının düşüklüğü ve teknik potansiyel kapasite faktörünün yeterliliği nedeniyle denizsel (Off-Shore) rüzgar türbin sahası olarak değerlendirilmesi, yenilenebilir enerji üretime olan katkısını olumlu yönde artıracığı öngörülmektedir. Bu yönüyle de Çanakkale bölgesinin dikkate değer potansiyele sahip olduğu ifade edilebilir.

Çanakkale bölgesinin teorik rüzgar potansiyeli 13.013 MW ile Türkiye illeri arasında Balıkesir ilinden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Anonim, 2019d). Devreye alınan ve halihazırda aktif olarak çalışan 12 santralin toplam kurulu gücü göz önüne alındığında, teorik potansiyelin yaklaşık %2,5'i kullanılabilir. Tüm santral türleri dikkate alındığında; 20'si lisanslı ve 5'i lisansız olmak üzere aktif santral sayısı 25 olan Çanakkale ili 3.064 MW kurulu gücü ile 21.107 GWh yıllık elektrik üretimi yapmaktadır (Anonim, 2019a). Bu değerleri ile Çanakkale ili Türkiye'nin kurulu güce oranı %4,87 ve tüketime oranı ise %8,26 olarak gerçekleşmektedir. İşletmedeki RES santralleri bazında bakıldığında Çanakkale %4,8 ile 5. sıradadır. İnşa halindeki RES'ler göz önüne alındığında Çanakkale 203,4 MW (%33,55) değeri ile 1. sırada yer almaktadır (Anonim, 2019g).

Sonuç olarak; teknik kapasite potansiyeli, kapasite faktörü ve yeni yatırım alanlarının uygunluğu dikkate alındığında Çanakkale bölgesi yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerji potansiyeli bakımından yatırım cazibesi ilk üç sıralarda olma konumunu sürdürmektedir.

### **Teşekkür**

Yazarlar, bu projeye desteklerinden dolayı Enerjisa Üretim'e teşekkürlerini sunmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda Yüksek Lisans Tez Çalışması olan "Çanakkale'de Rüzgar Enerji Santrallerinin Kapasite Faktörlerinin Araştırılması Çalışması'nın bir kısmıdır.

## Kaynakça

- Akkaş A.A., 2001. Rüzgar Enerjisi Sistemleri Performans Değerlendirmesi, Rüzgar Enerji Sempozyumu, 5-7 Nisan 2001. 25 Şubat 2019, <http://www.ruzgarsempozyumu.org/wp-content/uploads/2014/08/008.pdf>
- Akpınar E.K., ve Akpınar S., 2004. "Determination of the wind energy potential for Maden-Elazığ, Turkey." *Energy Conversion and Management* 45: 2901-2914.
- Anonim, 2019a. 23 Şubat 2019, <https://www.enerjiatlası.com/sehir/canakkale/>
- Anonim, 2019b. 15 Şubat 2019, <http://www.enerjiatlası.com/ruzgar/canakkale-ruzgar-santrali.html>
- Anonim, 2019c. 25 Şubat 2019 <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Canakkale-Enerji-Yatirim-Rehberi.pdf>
- Anonim, 2019d. 25 Şubat 2019, <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/turkiye>
- Anonim, 2019e. 28.Şubat 2019,  
[http://habitatdernegi.org/wp-content/uploads/Ruzgar\\_Enerjisi.pdf](http://habitatdernegi.org/wp-content/uploads/Ruzgar_Enerjisi.pdf) sayfa 15
- Anonim, 2019f. 28 Şubat 2019. <https://www.emagrup.com/tr/ruzgar-enerjisi>
- Anonim, 2019g. <http://www.tureb.com.tr/yayinlar/turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-ocak-20-1>
- Araslan O., 2010. "Technoeconomic analysis of electric generation from wind energy in Kütahya Turkey" *Energy*, 35, 120-131.
- Ata R., 2008. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (3): 523-529.
- Ay A., 2016. Hava Yoğunluğunun Rüzgar Türbinleri Güç Eğrisi Üzerindeki Etkisi.  
25 Şubat 2019. <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/hava-yogunlugunun-ruzgar-turbinleri-guc-egrisi-uzerindeki-etkisi/18579#ad-image-0>
- Betz A., 1966. "Introduction to the Theory of Flow Mechanics". Trans.: Randal, D.G., Oxford: Pergamon Press.
- Bilgili M., Şahin B., ve Kahraman A., 2004. "Wind energy potential in Antakya and İskenderun regions Turkey." *Renewable Energy*, 29: 1733-1745.

Burton T., Sharpe D., Nick J., and Bossanyi E., 2001. Wind Energy Handbook. Jhon Wiley & Sons Ltd., ISBN 0 471 48997 2. England. 05 Nisan 2019.

[http://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/Wind\\_Energy\\_Handbook.pdf](http://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/Wind_Energy_Handbook.pdf)

Çetin N. S., 2010. "Rüzgar Türbini Üretim Teknolojileri ve Türkiye’de Kurulu Olan Büyük Güçlü Rüzgar Santrallerinin Kapasite Faktörleri", Uluslararası Enerji Türk Zirvesi, 02-04 Eylül 2010, İzmir-TÜRKİYE

Çetin N. S., Çelik H., Başaran K., 2011. 16-18 May 2011, Rüzgar Türbinlerinde Kapasite Faktörü ve Türbin Sınıfı İlişkisi, sayfa 131, 6th International Advanced Technologies Symposium (LATS’11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey. 25 Şubat 2019.

Eskin N., Artar H., ve Tolun S., 2008. "Wind energy potential of Gökçeada Island in Turkey." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12: 839-851.

Güler Ö., 2009. "Wind energy status in electrical energy production of Turkey," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: 473-478.

Gökçek M., Erdem H. H., and Bayülken, A., 2007. Energy Exploration & Exploitation, 25 (6): 407-428.

Köse R., Ögür M.A., Erbağ O. ve Tuğcu A., 2004. "The Analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya", Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8: 277-288.

Mathew S., 2006. "Wind Energy Fundamentals, resource Analysis and Economics, Springer Berlin Heidelberg Inc., Germany.

Özdamar A., Özbata N., Akın A., ve Yıldırım E. D., 2005. "An application of combined wind and solar energy system in İzmir." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9: 624-637.

Switzer E., 2009. Compon Lecture 4: October 24, 2009. 28 Şubat 2019.

<https://tr.scribd.com/document/309147702/HAU-E-Wind-Turbines-Fundamentals-Technologies-Application-Economics-2nd>

Şenkal A., ve Çetin N.S., 2009. "Türkiye’de kurulu Olan Büyük Güçlü Rüzgar Santrallerinin Kapasite Faktörlerine Genel Bir Bakış", Ege Bölgesi Enerji Formu, 12-13 Ekim 2009, Denizli.

Şenlik İ., Çınar R., Çetin Ö., Efe Ç., Gençoğlu T., 2018. Güney Marmara Elektrik Enerjisi Raporu 2018, Güney Marmara Bölgesi Elektrik Enerjisi Çalışma Grubu, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Bursa Şubesi, sayfa 24. 25 Şubat 2019, [http://www.emo.org.tr/ekler/ac53d16b0e46456\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/ac53d16b0e46456_ek.pdf)

Uçar A., ve Balo F., 2009. “Investigation of wind characteristic and assessment of wind generation potentiality in Uludağ-Bursa, Turkey.” 86: 333-339.

## Sürekli Değişken Modele Dayalı Gözetimli Kuantum Makine Öğrenmesi ile Kişilerin Satın Alma Davranışlarının Tespitinin Simülasyonu

Ömer Eryılmaz<sup>1\*</sup>, İhsan Yılmaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

04.03.2019 Geliş/Received, 27.05.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Bu çalışmada kişilerin satın alma davranışları sürekli-değişken modele dayalı gözetimli kuantum makine öğrenmesi ile incelenmiştir. Bu bağlamda, örnek veriler bulut ortamından alınmaktadır. Bu verilerin %75'inin eğitim ve %25'inin test verisi olarak, homojen bir şekilde ayrılması sağlanmıştır. Ayrılan test verisinin eğitim işleminde kullanılmamasına, öğrenme işleminin sağlıklı gerçekleştirilmesi için dikkat edilmiştir. Sonrasında bu verilerdeki bağımsız değişkenler arasındaki uyumun sağlanması için normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece öğrenme işlemi için hazır hale gelen veriler, sürekli değişken modele dayalı varyasyonel devre üzerinde gerçekleştirilen gözetimli kuantum makine öğrenme algoritmasında kullanılmıştır. Ayrıca bu veriler klasik destek vektör makine öğrenme algoritması ile de simüle edilmiştir. Hem kuantum hem de klasik makine öğrenme algoritmalarına ait çapraz tahmin matrisleri ve alıcı işletim karakteristiği (AİK) eğrileri elde edilmiştir. Son olarak veri kümesindeki test verisi haricinde örnek değerler girilerek, sonuçlar metinsel ve görsel olarak görüntülenmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonucunda ise sürekli değişken modele dayalı kuantum makine öğrenmesinin daha duyarlı sonuç verdiği tespit edilmiştir. Algoritmalar ile ilgili kaynak kodlar Github'ta bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** kuantum makine öğrenmesi, sürekli-değişken modeli kuantum hesaplama, kuantum bilgisayarlar.

### Simulation of Detection of Purchasing Behaviors of People Using Supervised Quantum Machine Learning Based on Continuous-Variable Model

#### Abstract

In this study, purchasing behavior of people is examined by supervised quantum machine learning based on continuous-variable model. In this context, sample data is taken from the cloud environment. These data is provided as homogenous separation as 75% training and 25% test data. Separated test data was not used in the training process, attention was paid to the healthy implementation of the learning process. Then, the normalization process was performed to ensure the consistency between the independent variables in this data. Thus, the data ready for the learning process are used in the supervised quantum machine learning algorithm performed on variational circuit based continuous variable model. In addition, these

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Ömer Eryılmaz

(e-posta:omer-eryilmaz@hotmail.com)

Bu makale Ömer Eryılmaz'ın tez konusu kapsamında yazılmıştır.

data are simulated with the classical support vector machine learning algorithm. Confusion matrices and receiver operating characteristic (ROC) curves for both quantum and classical machine learning algorithms were obtained. Finally, by entering sample values except the test data in the data set, the results are displayed textually and visually. Based on the obtained results, it was determined that quantum machine learning based on continuous variable model is more sensitive. The source codes related to algorithms are found in Github.

**Keywords:** quantum machine learning, continuous-variable model, quantum computing.

## 1. Giriş

Yapay zekâ ve istatistiğin bir parçası olan makine öğrenme algoritmaları; görüntü ve konuşma tanıma, örüntü tanımlama veya strateji optimizasyonu gibi insan beynine doğal gelen görevler için büyük miktarda bilgi işlemektedir. Bu tarz bilgilerin depolanması ve işlenmesi elektronik sistemler için zorlu ve masraflı bir süreçtir. Bu tarz zorluklar neticesinde makine öğrenimi için yenilikçi yaklaşımlar bulmanın önemini artmaktadır. Son zamanlarda bilim dünyası ve önde gelen teknoloji şirketleri kuantum bilgisayarların potansiyellerini kullanarak klasik makine öğrenme algoritmalarının optimize edilmesini umut verici bir fikir olarak görmekteyiz. Bu doğrultuda yapılan araştırmalar, kuantum algoritmaların klasik yöntemler üzerinde hızlanma sağlayabileceğini göstermiştir (Jordan, 2018). Bu gelişmeler doğrultusunda benzer tekniklerin makine öğrenimi alanında da uygulanarak olumlu sonuçlar alınabileceği ve bu gelişmeler neticesinde mevcut makine öğrenimi problemleri için yeni pratik çözümler sunulabileceği düşünülmektedir. Makine öğrenmesinde, eğitim aşamaları genellikle algoritmanın en maliyetli kısmı olarak görülmektedir. Öğrenme türü ve yöntemi ne olursa olsun, en uygun makine öğrenme algoritmaları asgari kaynaklarla çalışıp, minimum hata oranına sahip olmalıdır. En uygun çözümü sağlayan parametreleri ve başlangıç değerleri bulma problemine ya da algoritmanın karmaşıklık oranını düşüren planlar bulmaya odaklanmak bu işin en zorlanılan kısımları olarak görülmektedir (Schuld ve ark., 2014).

Kuantum bilgisayarlar, klasik bilgisayarların aksine 0 ve 1 'in ve aradaki diğer tüm olasılıkları değerlendirerek aynı anda işlem yaptığından hız ve veri depolama bakımından diğer bilgisayarlardan daha üstün özelliklere sahiptir. Kuantum makine öğrenmesinde, kuantum hesaplamanın verimliliğini kullanarak makine öğrenmesinin tipik problemlerini çözmek için kuantum algoritmaları geliştirilmektedir. Yakın gelecekte bu tür makinelerin, giderek artan miktardaki küresel bilgiyi işlemede yaygın olarak kullanılacağı öngörülmektedir (Schuld ve ark., 2014).

Gerçekte hesaplama terimleriyle eşdeğer fakat kavramsal olarak birbirinden farklı olan birkaç kuantum bilgisayar modeli bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de kuantum bilgisayarların sürekli-değişken (SD) (continuous variable) modelidir (Braunstein ve ark., 2005). Sürekli-değişken modelinde, bilgi işlem birimi (information processing unit), sonsuz-boyutlu (infinite-dimensional) bosonik moddur. Sürekli-değişken modeli, bir dizi benzersiz özellik sunarken, kubit modelinin hesaplama gücünü de koruduğu belirtilmektedir (Nielsen ve ark., 2002). Ayrıca sürekli-değişken modeli, bosonik sistemleri (elektromanyetik alanlar, tuzaklanan atomlar, harmonik osilatörler, Bose-Einstein yoğunlaşması, fononlar ve optomekanik rezonatörler) ve sürekli kuantum operatörlerinin mevcut olduğu ortamları simüle etmek için de uygun görülmektedir (Killoran ve ark., 2018).

Bu öngörüler doğrultusunda bu çalışmada kuantum bilgisayarların üstün özelliklerinden yararlanılarak, makine öğrenmesinde karşılaşılan zorlukların ve maliyetin asgari miktarlara

indirgenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda örnek olarak, kişilerin satın alma davranışlarının kuantum makine öğrenmesi kullanılarak tespit edilmesine yönelik kuantum simülasyonu gerçekleştirilecektir. Sonrasında ise kuantum simülasyonda elde edilen sonuçlar ile klasik simülasyonda elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

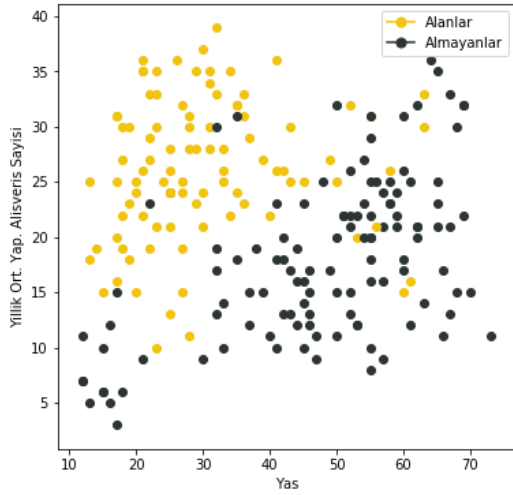
Bu çalışma, kuantum sürekli-değişken modelinde, varyasyonel devrenin gözetimli öğrenim algoritması üzerinde gerçekleştirilmektedir. Simülasyon ortamı için Strawberry Fields adında bir Python kütüphanesi kullanılmıştır (Killoran ve ark., 2018). Bu bağlamda kuantum makine öğrenmesi araç kutusu (QMLT) kullanılmıştır. QMLT, varyasyonel kuantum devrelerinin optimizasyon işlemini basitleştiren bir uygulama olarak tanımlanmaktadır (Killoran ve ark., 2018).

### 2.1. Kişilerin Satın Alma Davranışlarının Kuantum Makine Öğrenmesi Kullanılarak Tespit Edilmesi

Çalışma için yapılan örnekte, hem kuantum makine öğrenmesiyle hem de klasik makine öğrenmesiyle, iki boyutlu desen tanıma görevi için sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Veri kümesi ise bulut ortamından güncel olarak alınıp, kullanılmaktadır. Bu veri kümesindeki örnekler, gerçeğe uygun bir şekilde tarafımızdan üretilmiştir ve “KullaniciID”, “Cinsiyet”, “Yaş”, “AlisverisSayisi”, “SatinAldiMi” gibi özniteliklere sahip 211 adet örnekte (kişiye ait alışveriş bilgilerinden) oluşmaktadır. Buradaki “KullaniciID” özniteliği tam sayı (integer) türünde olup 0’dan yaklaşık olarak 2 milyara kadar değer alabilmektedir. “Cinsiyet” özniteliği karakter dizisi (string) türünde olup sadece “K” ve “E” karakterleri ile sınırlandırılmıştır. “Yaş” özniteliği tam sayı (integer) türünde olup 0-120 aralığında “AlisverisSayisi” özniteliği tam sayı (integer) türünde olup 0-1000 aralığında değer alabilmektedir. Son olarak “SatinAldiMi” özniteliği ise mantıksal veri (boolean) türünde olup sadece 1 veya 0 değerlerini alabilmektedir. Ayrıca bu özniteliklerden “KullaniciID” kişiye verilen benzersiz numarayı, “Cinsiyet”, kişiye ait cinsiyet bilgisini, “Yaş” kişiye ait yaş bilgisini, “AlisverisSayisi” kişiye ait yıllık ortalama alışveriş sayısını, “SatinAldiMi” ise kişinin ilgili ürünü satın alıp almadığını temsil etmektedir.

Öncelikle iki boyutlu girdi verilerimizi ve bu girdilerin hedef olarak çıktılarını ifade edecek özniteliklerin seçilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Örneğimiz için bu özniteliklerin “Yaş”, “AlisverisSayisi” ve “SatinAldiMi” olarak belirlenmiştir. Geriye kalan, “KullaniciID” özniteliği herhangi belirleyici bir kriter olmadığından, “Cinsiyet” özniteliği ise örneğimizin 2-boyutlu veriler için gerçekleştirildiğinden öğrenme işlemi için kullanılmamışlardır.

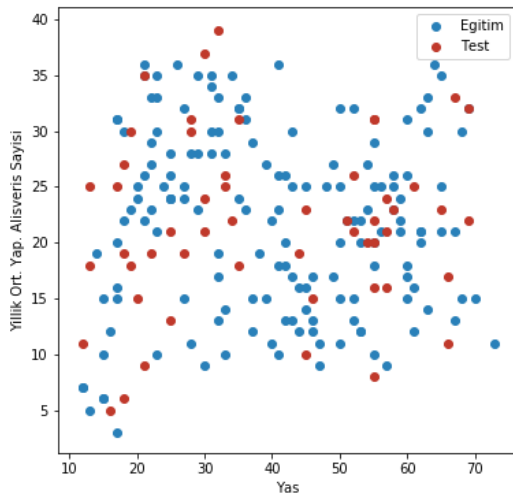
Veri kümesindeki örneklere ait “Alışveriş Sayısı” ve “Yaş” bilgileri, noktalar olarak Şekil 2.1.’de gösterilmektedir. Bu noktalardan siyah olanlar ilgili ürünün müşteri tarafından satın alındığını, sarı olanlar ise ilgili ürünün müşteri tarafından satın alınmadığını temsil etmektedir.



Şekil 2.1. Veri kümesindeki “Alışveriş Sayısı” ve “Yaş” dağılım grafiği.

Bu aşamadan sonra veriler %75’i eğitim, %25’i test verisi olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

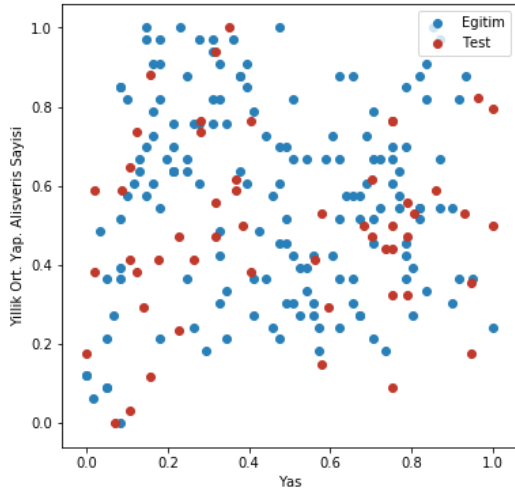
Verileri, “Eğitim” ve “Test” verisi olarak ikiye ayrıldıktan sonraki durumu Şekil 2.2.’de gösterilmektedir. İlgili şekilde mavi noktalar “Eğitim”, kırmızı noktalar ise “Test” verilerini temsil etmektedirler. Öğrenme işleminin sağlıklı gerçekleştirilebilmesi için “Test” verisinin tüm veri kümesinden homojen olarak seçilmesine dikkat edilmektedir. “Alışveriş Sayısı” ve “Yaş” bağımsız değişkenlerinin aynı birimde olmadıkları görülmektedir. Öğrenme işleminde olumsuzluklara yol açmaması için bağımsız değişkenlere normalizasyon işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2.2. Verilerin “Eğitim” ve “Test” verisi olarak ayrılması

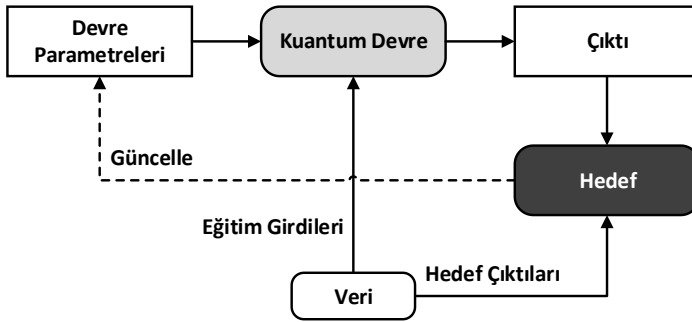
Verilerin normalizasyon işleminden sonraki aldığı değerler Şekil 2.3’de görülmektedir. Normalizasyon işlemi, MinMaxScaler metoduyla gerçekleştirilmiştir. MinMaxScaler metodu öznitelikleri istenilen aralığa ölçeklendirmeyi sağlamaktadır. Böylece iki bağımsız değişkendeki değerlerin 0 ve 1 dâhil olmak üzere, o aralıktaki değerlerde olması sağlanmıştır.





Şekil 2.3. Verilerin normalizasyon uygulanmış hali

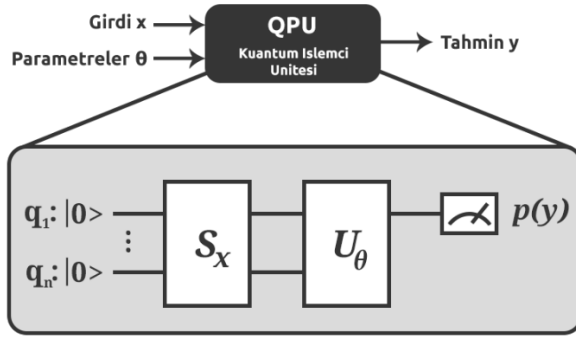
Bundan sonraki aşamada kuantum makine öğrenmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. İki sınıf arasında, ikili (binary) iki boyutlu desen tanıma görevi için varyasyonel devre eğitilmektedir. Bu öğrenme işleminde ilk olarak Strawberry Fields kütüphanesi, yerdeğiştirme kapısı, ışın-ayırıcı kapısı, öğrenci ve yardımcı kütüphaneler koda dahil edilmektedir. Devre fonksiyonu ve devrenin ilgili parametreleri tanımlandıktan sonra öğrenme işlemine geçilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Varyasyonel devre üzerinde gerçekleştirilen gözetimli öğrenme algoritmasının çalışma diyagramı (Schuld, 2018)

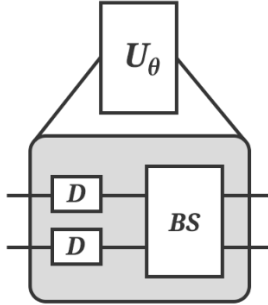
Varyasyonel devre üzerinde gerçekleştirilen gözetimli öğrenmede, desen tanıma görevi için varyasyonel devre eğitilmektedir. Bu işlem için ilgili kodda belirtilen fonksiyon aracılığıyla girdi verileri devreye iletilir. Veriler, bir grup girdi içerdiğinden başka bir fonksiyon yardımıyla da kuantum devresi tek girdili vektörler için çalışmaya uygun hale getirilmektedir. Böylece kuantum devre, tek seferde sadece bir girdiyle beslenebilecek hale getirilmiş olur (Izaac, 2018a).

Schuld ve ark. (2018) tarafından önerilmiş devre-merkezli kuantum sınıflandırıcısının devresi ve devrenin işleyiş şeması Şekil 2.5 'de gösterilmektedir. Devrede bulunan  $S_x$ ,  $x$  girdilerini kuantum sisteminin genliği içinde kodlayan durum hazırlama devresini,  $U_\theta$  ise işlemlerin gerçekleştirildiği birimsel kapılarla oluşturulan model devresini temsil etmektedir.  $f(x, \theta) = y$  modelindeki çıkarım işlemi bir kuantum cihazı olan kuantum işlemci ünitesi (QPU) tarafından gerçekleştirilmektedir (Izaac, 2018a).



Şekil 2.5. Devre-merkezli kuantum sınıflandırıcı (Schuld et al., 2018)

$U_\theta$  model devresinin, yer değiştirme (displacement) ve ışın ayırıcı (beamsplitter) kapılarından oluştuğu Şekil 2.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Model devresini oluşturan birimsel kapılar

Çalışmada kullanılan Strawberry Fields kütüphanesi sayesinde QPU'nun simülasyonunda makine öğrenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon ortamında ProjectQ ile modellenen ve SD ayarlamalarında özelleştirilmiş Blackbird programlama dili kullanılmıştır.

İlk olarak  $x$  klasik verileri  $S_x$  (durum hazırlama devresi) fonksiyonu ile  $n$  kübit kuantum durumlarına kodlanır. Burada girdi  $x \in \mathbb{R}^N$  verileri  $2^n$ -boyutlu  $\varphi(x)$  genlik vektörü olarak başlangıç kuantum durumuna  $|\varphi(x)\rangle$  haritalanmaktadır. Elde edilen kuantum durumuna  $U_\theta$  uygulanır. Sonucunda yeni bir durum olan  $|\varphi'\rangle$  durumu elde edilir.

$$|\varphi'\rangle = U_\theta|\varphi(x)\rangle \quad (1)$$

Şekil 2.6'da görüldüğü üzere  $|\varphi(x)\rangle$  durumuna etki eden ilk kapılar/operatörler aşağıdaki şekilde ifade edilen yer değiştirme (displacement) kapılarıdır.

$$D_i(\alpha) = \exp(\alpha\hat{a}_i^\dagger - \alpha^*\hat{a}_i) \quad (2)$$

Yukarıdaki formülde belirtilen  $\alpha$  karmaşık genliği temsil etmektedir.

$$\alpha = (q + ip)/2 \quad (3)$$

Ayrıca;

$$D(\alpha) = \exp(\alpha\hat{a}^\dagger - \alpha^*\hat{a}) = \exp\left(r(e^{i\varphi}\hat{a}^\dagger - e^{-i\varphi}\hat{a})\right) \quad (4)$$

$D^\dagger(\alpha) \hat{a} D(\alpha) = \hat{a} + \alpha I$  burada  $r \geq 0$  ve  $\varphi = [0, 2\pi)$  olmak üzere  $\alpha = r e^{i\varphi}$  'dir. Yer değiştirme kapısı vakum durumuna (5) eşitliğindeki gibi etki ederek onun durumunu değiştirmektedir. Bu etki sonucunda eşitlik (4)'deki tutarlı durum elde edilmektedir (Izaac, 2018b).

$$|\alpha\rangle = D(\alpha)|0\rangle \quad (5)$$

İlgili kumod'lara etki eden ikinci kapı da aşağıda ifade edilen ışın ayırıcı (beamsplitter) kapısıdır. (Izaac, 2018b).

$$BS_{ij}(\theta, \phi) = \exp(\theta(e^{i\phi}\hat{a}_i^\dagger\hat{a}_j - e^{-i\phi}\hat{a}_i\hat{a}_j^\dagger)) \quad (6)$$

Eşitlik (6)'da  $\hat{a}_i$  imha,  $\hat{a}_j$  oluşturma operatörlerini,  $\theta$  ise ışın ayırıcının geçirgenliğini temsil etmektedir ( $T = \cos^2\theta \in [0,1]$ ). Işın ayırıcı,  $T = 1/2$  olduğunda dengeli olarak adlandırılmaktadır (Izaac, 2018b).

Son olarak ölçme işlemi yapılarak, fock durumu olarak tanımlanmış olan modelin çıktısı elde edilmektedir.

Kuantum makine öğrenmesi kaba-kodu Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Burada kuantum makine öğrenmesi işlem adımları basit bir şekilde listelenmeye çalışılmıştır.

**1. Başlat**

**2. Girdiler:**  $X$  örnek özellik vektörlerinin listesi

$Y$  çıktıların (etiketlerin) listesi

$steps$  algoritmanın tekrar sayısı

$params$  eğitilecek varyasyonel devre ile ilgili parametreler

$batch\_size$  Her parametre güncellemesi için kullanılan eğitim

girdilerinin miktarı

**3. Varyasyonel Devre Eğitimi:**

**4. Döngü:**  $steps$  sayısı kadar

**5. Varyasyonel Devre Fonksiyonu( $X, params$ ):**

**6. Kuantum Derleyici Motorunu Oluştur**

**7. Döngü:**  $X$  örnek listesi oluşturan  $x$  örneklerinin sayısı kadar

**8.**  $x$  örneklerini teker teker kumod'lara ata

**9.** kumodlar üzerinde ölçme işlemi gerçekleştir

**10.** normalizasyon işlemi gerçekleştir

**11.**  $outp$  = normalizasyon sonucu

**12. Çıktı:**  $circuit\_output$  yani tüm  $x$  örneklerinin normalizasyon sonucu

**13. Varyasyonel Devreyi Optimize Et:** Devre çıktılarını ilgili etiketlerle ilişkilendirip model oluştur. Model başarısını hedef fonksiyonu ile sorgula ve sonuca göre  $params$ 'ı güncelle.

**14. Bitir**

Şekil 2.7. Kuantum makine öğrenmesi kaba-kodu (pseudo-code)

Kuantum makine öğrenimi işleminden sonra klasik makine öğrenimi adımına geçilmektedir. Bunun için kuantum makine öğrenmesinde kullanılan veriler, destek vektör makinesi algoritmasında da kullanılmıştır. Ayrıca çekirdek fonksiyonu lineer olarak ayarlanmıştır. Fonksiyonun python svm kütüphanesindeki svc modülünün varsayılan parametreleri kullanılmış olup herhangi bir optimizasyon işlemi yapılmamıştır. Yine aynı şekilde kuantum makine öğrenmesi algoritmasında kullanılan %75 eğitim verileri, klasik algoritmanın eğitiminde kullanılmıştır. Daha öncesinde bu veriler normalizasyon işlemine uğradığı için bu işlem tekrar gerçekleştirilmemektedir. Sonrasında %25'lik test verisi ile algoritmanın doğruluk oranı bulunmuştur.

DVM öğrenme modeli oluşturulmasının kaba-kodu Şekil 2.8'de gösterilmektedir. Burada DVM öğrenme modelinin adımları basit bir şekilde listelenmeye çalışılmıştır.

- 1. Başlat**
- 2. Girdiler:** X örnek özellik vektörlerinin listesi  
Y çıktıların (etiketlerin) listesi  
 $\lambda$  düzenleme parametresi  
T adımların sayısı
- 3.**  $w = (0, \dots, 0)$
- 4. Döngü**  $t=1$ 'den  $T$ 'ye kadar
- 5.** Seç eğitim örneği  $x_i$  ve onunla ilişkili olan çıktı etiketi  $y_i$
- 6.**  $\eta = \frac{1}{\lambda \cdot t}$
- 7.**  $skor = w \cdot x_i$
- 8.** Eğer  $y \cdot skor < 1$  ise
- 9.**  $w = (1 - \eta \cdot \lambda) \cdot w + (\eta \cdot y_i) \cdot x_i$
- 10. Değilse**
- 11.**  $w = (1 - \eta \cdot \lambda) \cdot w$
- 12. Çıktı**  $w$
- 13. Bitir**

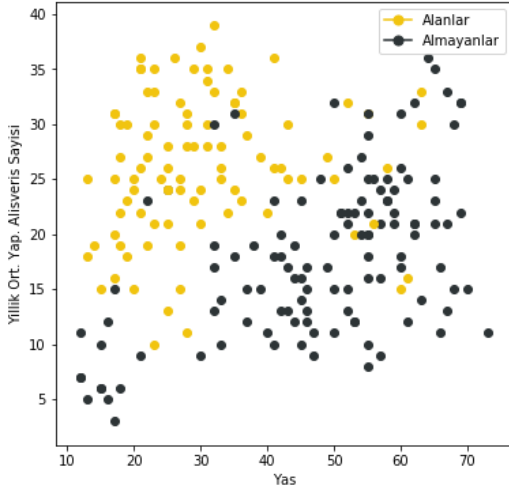
Şekil 2.8. DVM öğrenme modeli oluşturulması kaba-kodu (pseudo-code) (Shalev-Shwartz et al., 2011)

Burada, eta ( $\eta$ ), gradyan inişindeki adım uzunluğunu temsil etmektedir. Gradyan iniş algoritması, eğer adım uzunluğu  $\eta$  uygun şekilde ayarlanmamışsa, minimumu bulmada bazı sorunlarla karşılaşıldığı belirtilmektedir. Bu sorunların önüne geçmek için değişken adım uzunluğu kullanılmaktadır (Johansson, 2015).

Öğrenme işlemleri tamamlanan kuantum ve klasik modele dışarıdan “Alışveriş Sayısı” ve “Yaş” değerine sahip bir örnek verilerek, ilgili bilgilere sahip kişinin ilgili ürünü alıp almayaacağı tahmininin yapılması sağlanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmadaki, kuantum makine öğrenimi ile klasik öğrenimi arasındaki farkı gözlemleyebilmek için bulut ortamından çekilen ve 211 örnekten oluşan, “Kullanıcıların Satın Alma Alışkanlığı” hakkında bilgilere sahip veri kümesinden yararlanılmıştır. Öğrenme modelini oluşturmak için yararlanılan veri kümesindeki “Alışveriş Sayısı” ve “Yaş” dağılımı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Veri kümesindeki “Alışveriş Sayısı” ve “Yaş” dağılım grafiği

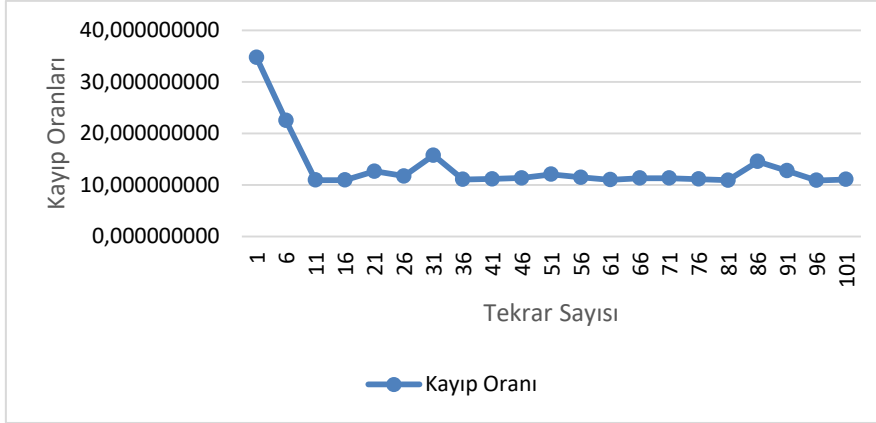
Bu veriler %75 eğitim, %25 test verisi olarak ayrılmıştır. Bu ayırma işleminden sonra gruplara atanan veri miktarları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Eğitim ve test için ayrılan örneklerin sayısı

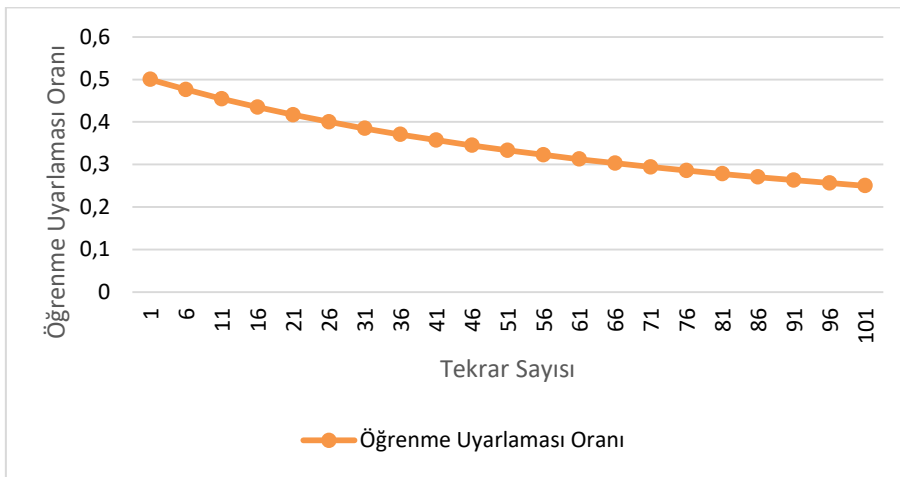
Toplam Örnek Sayısı	Eğitim Örneği Sayısı	Test Örneği Sayısı
211	158	53

Kuantum makine öğrenmesi işleminde, öğrenme modelinin en uygun durumuna ulaşmasını sağlayacak algoritmanın 101 defa tekrarlanması sağlanmıştır.

Adım sayısı arttıkça öğrenme modelindeki kayıpların azaldığı Şekil 3.2.’de, bu doğrultuda da öğrenme uyarlamasının azaldığı Şekil 3.3.’de görülmektedir. Yapılan bu iterasyon sayesinde öğrenme modelinin hassaslığının arttığı gözlemlenmiş olup bu hassaslık sayesinde kritik konumlarda bulunan veri noktalarının doğru bir şekilde sınıflandırılması sağlanmıştır.



Şekil 3.2. Kuantum makine öğrenmesi algoritması kayıp oranları



Şekil 3.3. Kuantum makine öğrenmesi algoritması öğrenme oranı uyarlaması (gradyan güncellemeleri)

Gerçekleştirilen kuantum makine öğrenmesi ve klasik makine öğrenmesi arasındaki doğruluk oranlarının karşılaştırması Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kuantum ve klasik makine öğrenme algoritmalarındaki doğruluk oranları

	Klasik	Kuantum
Toplam Test Verisi Sayısı	53	53
Doğru Tahmin Sayısı	46	49
Yanlış Tahmin Sayısı	7	4
Doğruluk Oranı (%)	86,8	92,5

İlgili test verisinin, klasik ve kuantum makine öğrenme modeline uygulandıktan sonraki sonuçlar Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4.'de ifade edilen çapraz tahmin matrisi üzerinde gösterilmiştir. Çizelge 3.3.'deki klasik makine öğrenmesi sonuçlarına göre algoritma 17 pozitif tahmini (gerçekte ürün alınmış, tahminde alır olarak yapılmış) ve 29 negatif tahmini (gerçekte ürün alınmamış, tahminde almaz olarak yapılmış) doğru yapmıştır. Çizelge 3.4.'deki kuantum makine öğrenmesi sonuçlarına göre ise algoritma 21 pozitif tahmini ve 28 negatif tahmini doğru yapmıştır.

Çizelge 3.3. Klasik makine öğrenimi çapraz tahmin (confusion) matrisi

		Klasik	
		Gerçek Değerler	
		Pozitif	Negatif
Tahmin Değerleri	Pozitif	17	1
	Negatif	6	29

Çizelge 3.4. Kuantum makine öğrenimi çapraz tahmin (confusion) matrisi

		Kuantum	
		Gerçek Değerler	
		Pozitif	Negatif
Tahmin Değerleri	Pozitif	21	2
	Negatif	2	28

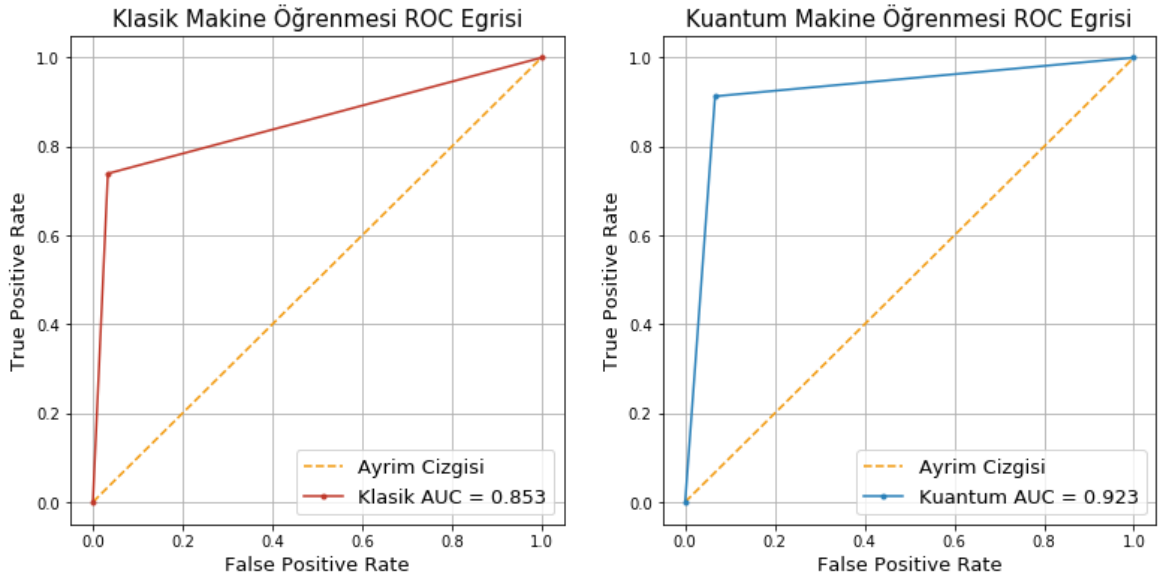
Çapraz tahmin matrislerinde gösterilen sonuçların oranları Çizelge 3.5.'de gösterilmiştir. Bu tablodaki oranlardan algoritmaların verimlilikleri hakkında sonuçlar elde edilmektedir.

Çizelge 3.5. Klasik ve kuantum makine öğrenme algoritmalarındaki çapraz tahmin (confusion) oranları

	Klasik	Kuantum
Doğruluk (Accuracy)	0.87	0.92
Hata Oranı (Error Rate)	0.13	0.08
Anma (Recall) (True Positive Rate)	0.74	0.91
Belirginlik (Specificity) (True Negative Rate)	0.97	0.93
Yanlış Pozitif Oranı (False Positive Rate)	0.03	0.07
Keskinlik (Precision)	0.94	0.91

Alıcı İşletim Karakteristiği (AİK - ROC), bir olasılık eğrisini ifade etmektedir. Eğrinin Altındaki Alan (EAA - AUC) ise modelin, tahmin gücünü diğer bir deyişle sınıflar arasındaki ayırım kapasitesini ifade etmektedir. AUC yükseldikçe, yani 1'e yaklaştıkça modelin tahmin gücü yükselmektedir. Şekil 3.4.'de görüldüğü üzere kuantum makine öğrenmesine ait AUC değeri 0.923, klasik makine öğrenmesine ait AUC değeri ise 0.853 olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkarak kuantum makine öğrenmesinde elde edilen modelin daha iyi tahminler yaptığı sonucuna ulaşılmıştır.





Şekil 3.4. Klasik ve kuantum makine öğrenmelerine ait ROC eğrileri

İlgili öğrenme işlemlerinden sonra örnek kullanıcı bilgileri girilerek her iki algoritmanın da bu bilgilere göre sınıflandırma işlemi yapması sağlanmıştır. İlgili girdiler Şekil 3.5’de gösterilmektedir.

Birinci örnek denemesi:

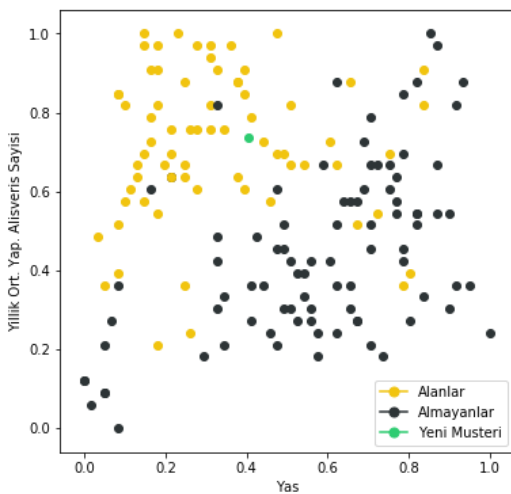
```

Yasi Giriniz : 35
Yillik Ort. Yap. Alisveris Sayisi : 30
Yeni girdilerin normalize edilmiş hali : [[0.40350877 0.73529412]]

```

Şekil 3.5. Birinci örnek girdi değerleri

Girilen değerlerin, hangi konuma denk geldiği Şekil 3.6’da gösterilmektedir. Görüldüğü üzere bulunan konum, ürünü alanların çoğunlukta olduğu kısma denk gelmektedir. Şekil 3.7 ise bu sonucun metinsel olarak çıktısını göstermektedir.



Şekil 3.6. Birinci örnek girdisinin, diğer veriler içerisindeki konumu

```
86.8 dogruluk oranina sahip Klasik ML e gore musteri;   Urunu alabilir.  
92.5 dogruluk oranina sahip Kuantum ML e gore musteri;   Urunu alabilir.
```

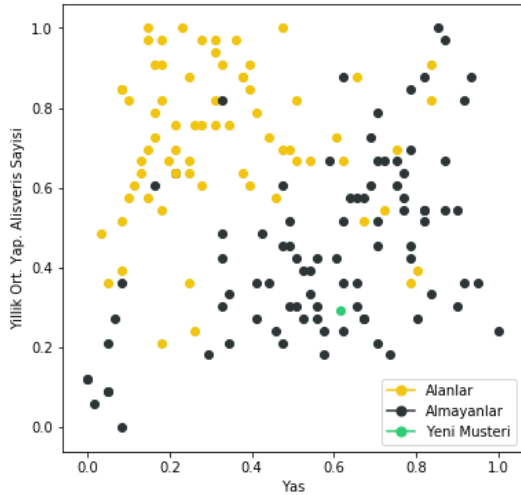
Şekil 3.7. Birinci örnek girdisinin sınıflandırma sonuçları

İkinci örnek denemesine ait girdiler Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

```
Yasi Giriniz : 47  
Yillik Ort. Yap. Alisveris Sayisi : 15  
Yeni girdilerin normalize edilmiş hali : [[0.61403509 0.29411765]]
```

Şekil 3.8. İkinci örnek girdi değerleri

Girilen değerlerin hangi konuma denk geldiği Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Görüldüğü üzere bulunulan konum ürünü almayanların çoğunlukta olduğu kısma denk gelmektedir. Şekil 3.10 ise bu sonucun metinsel olarak çıktısını göstermektedir.



Şekil 3.4. İkinci örnek girdisinin, diğer veriler içerisindeki konumu

```
86.8 dogruluk oranina sahip Klasik ML e gore musteri;   Urunu almayabilir.  
92.5 dogruluk oranina sahip Kuantum ML e gore musteri;   Urunu almayabilir.
```

Şekil 3.10. İkinci örnek girdisinin sınıflandırma sonuçları

#### 4. Sonuç

Kuantum bilgisayarlar ve makine öğrenmesi çalışmaları ayrı ayrı olarak yıllar öncesine dayanmaktadır. Bu iki alanı birbirine yaklaştıran şey teknolojinin gelişmesiyle birlikte işlenmesi gereken veri miktarlarının çok büyük boyutlara ulaşması ve artık klasik yöntemlerin yetersiz kalması olarak görülmektedir. Son yıllarda ise klasik yöntemlerdeki bu yetersizliğinin kuantum yöntemlerinin üstün özelliklerini kullanarak üstesinden gelenebileceği düşünülmektedir.

Bilindiği üzere kuantumsal sistemlerin davranışlarında süreklilik mevcuttur. Işık buna prototip bir örnek olarak gösterilebilir. Bu anlamda bilim insanları, kuantum davranışları direkt olarak anlamak adına çalışmalar yapmaktadırlar ve kuantum sistemlerin davranışlarındaki dalgaları

algılayan dedektörler geliştirerek kuantum bilgisayarları inşa etmeye çalışmaktadırlar. Bu tarz sistemler genel olarak sürekli-değişken model olarak anılmaktadır. Sürekli-değişken model, günümüzde kuantum teknolojilerinin daha ileri safhasında olacağı yapıyı temsil etmektedir. Bu çalışmada kuantum sürekli-değişken modeli üzerinde yapılan makine öğrenmesi incelenmiştir.

İki boyutlu verilerde desen tanıma görevi için kuantum varyasyonel devre üzerinde öğrenme işlemi simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Öğrenme işlemi sonucunda kuantumsal işlemler ve uygulanan iterasyon sonucunda muadili olan klasik makine öğrenmesi algoritmasından daha hassas olarak sınıflandırma yaptığı tespit edilmiştir. Sürekli-değişken model kuantum sistemlerin yaygınlaşmasıyla bu işlemlerin kuantumsal sistemler üzerinde daha hızlı ve kısa sürede gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir. Kuantum makine öğrenmesinin üstünlüğü doğrultusunda; bu çalışmada elde edilen sonuçlar Grant ve ark. (2018) tarafından elde edilen sonuçlar ile uyum içindedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Ömer ERYILMAZ'ın "Kuantum Temelli Gözetimli Bazı Makine Öğrenme Algoritmalarının Gerçekleştirimi" başlıklı Yüksek Lisans Tezi kapsamında üretilmiştir.

## Kaynakça

- Braunstein S. L., Loock P., 2005. Quantum Information With Continuous Variables. *Reviews Of Modern Physics*, 77:p513.
- Eryılmaz Ö., Yılmaz İ., (1 Mart 2019). Github. QML Sample Source Code. 2019. <https://github.com/omereryilmaz/master-thesis-qml>.
- Grant E., Benedetti M., Cao S., Hallam A., Lockhart J., Stojevic V., Green A., Severini S., 2018. Hierarchical Quantum Classifiers. *Quantum Information* (2018) 4:65 <https://doi.org/10.1038/s41534-018-0116-9>.
- Izaac J., (25 Aralık 2018). Numerical Learning: Supervised Learning. 3 Temmuz 2018a <https://qmlt.readthedocs.io/en/latest/tutorials/numerical.html#supervised-learning>.
- Izaac J., (25 Aralık 2018). Continuous-Variable Quantum Computing: Conventions And Formulas. 3 Temmuz 2018b. <https://strawberryfields.readthedocs.io/en/latest/conventions/gates.html>.
- Johansson R., (20 Aralık 2018). Clarification Of The Pseudocode In The Pegasos Paper. 2015. [https://svn.spraakdata.gu.se/repos/richard/pub/ml2015\\_web/a2\\_clarification.pdf](https://svn.spraakdata.gu.se/repos/richard/pub/ml2015_web/a2_clarification.pdf).
- Jordan S.,(20 Aralık 2018). Quantum Algorithm Zoo: Algebraic And Number Theoretic Algorithms. 13 Haziran 2018. <http://math.nist.gov/quantum/zoo/>.
- Killoran N., Izaac J., Quesada N., Bergholm V., Amy M., Weedbrook C., 2018. Strawberry Fields: A Software Platform for Photonic Quantum Computing. arXiv:1804.03159v1. Xanadu, 372 Richmond St W, Toronto, M5V 1X6, Canada.
- Nielsen M. A., Chuang I., 2002. *Quantum Computation And Quantum Information*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 40-58.
- Schuld M., Sinayskiy I., Petruccione F., 2014. An Introduction To Quantum Machine Learning. *Contemporary Physics* 56(2). arXiv:1409.3097. 1-3.
- Schuld M., (27 Aralık 2018). Quantum Machine Learning Toolbox: Variational Circuits. 3 Temmuz 2018. <https://qmlt.readthedocs.io/en/latest/variational.html#variational>.
- Schuld M., Bocharov A., Svore K., Wiebe N., 2018. Circuit-Centric Quantum Classifiers. arXiv:1804.00633v1. 1-2.

Shalev-Shwartz S., Singer Y., Srebro N., Cotter A., 2011. Pegasos: Primal Estimated Sub-Gradient Solver For SVM. *Mathematical Programming Volume 127*: 3–30.

Derleme/Review

## Afganistan'ın Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teorik Potansiyelleri ve Kullanım Kapasiteleri

Abdul Maroof Shirzad<sup>1\*</sup>, İsmail Tarhan<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Kaynakları ve Yönetimi ABD

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik ABD

<sup>3</sup>ÇOMÜ Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi (ÇEKAM)

18.03.2019 Geliş/Received, 15.04.2019 Kabul/Accepted

### Özet

Afganistan halkı dünya ölçeğinde en düşük elektrik kullanım oranına sahip olmasına rağmen yapılan çalışmalar, bu ülkenin hem önemli yenilenebilir enerji potansiyeli hem de geleneksel enerji rezervleri bakımından oldukça zengin olduğunu göstermektedir. Afganistan, doğal ve coğrafi olarak güneş, rüzgar, hidro, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından uygun coğrafi konumda olduğu için çok önemli bir ölçüde bu kaynaklardan faydalanabilir potansiyele sahiptir. Ayrıca, alternatif enerji kaynaklarının kullanımı için yeterli ve uygun arazilere sahip bir ülkedir. Tüm bunlara rağmen, altyapıların çoğu özellikle ulusal şebekeler, son birkaç on yıl içinde ülkedeki savaş ve istikrarsızlık sırasında tahrip edilmiştir. Bu nedenle, Afganistan elektrik ihtiyacını çoğunlukla Türkmenistan, Özbekistan, Tacikistan ve İran gibi komşu ülkelerden ithal etmektedir. Afganistan'daki Enerji ve Su Bakanlığı'nın (ESB) liderliği altında elektrik üretimi ile ilgili çalışmakta olan şubeler ve kamu sektörlerine göre, ülkede hidroelektrik sistemi hariç, yenilenebilir enerji kaynakları için şebeke ölçeğinde bir sistem bulunmamasına rağmen, bu kaynaklarla ilgili birçok proje çalışması yapılmaktadır. Teorik açıdan, Afganistan'da yenilenebilir enerjinin kullanımı, çoğunlukla kırsal bölgelerde yaşayan Afgan halkı için sadece sürdürülebilir bir enerjinin sağlanmasına değil, ayrıca ülkede sürdürülebilir ekonomik kalkınmaya katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın temel amacı diğer kaynaklardan da faydalanarak Afganistan'daki yenilenebilir enerji kaynaklarının teorik potansiyellerini, mevcut ve gelecekteki kullanım kapasitelerini derleyerek, irdelemeye ve tartışmaya çalışmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Afganistan, alternatif enerji kaynakları, elektrik şebekeleri, yenilenebilir enerji.

## Theoretical Potentials and Utilization Capacities of Afghanistan's Renewable Energy Resource

### Abstract

Afghanistan is one of the countries where its population has the lowest access to electricity in the world although the studies show that it is rich in both significant renewable energy

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Abdul Maroof Shirzad  
(e-posta:abdulmaroofshirzad@gmail.com)

Bu makale Abdul Maroof Shirzad'ın tez konusu kapsamında yazılmıştır.

potential and conventional energy reserves. Since Afghanistan has adequate natural and geographical conditions, it can benefit significantly from renewable energy resources such as hydro, solar, geothermal, biomass, wind and biomass. Even though Afghanistan has enough areas for utilization of alternative resources, most of the infrastructures (particularly national grids) were destroyed during the last decades because of war and instability. Therefore, the majority of electricity demands are imported from central Asian countries and Iran. This cause higher cost for energy, and other problems as well. According to public sector organizations and departments under leadership of the Ministry of Energy and Water of the country, although Afghanistan does not have any network system for renewable energy excluding hydropower system, does not have any network system, so many projects have been done in this regard. From the theoretical point of view, utilization of renewable energy in Afghanistan can play a very important role (especially in the rural areas where majority of Afghan Nation live there) not only to supply sustainable energy for its population but also it contributes for sustainable economic development. The main purpose of this study is to attempt to compile, examine and discuss the theoretical potential, current and future use capacities of renewable energy sources in Afghanistan by considering other studies.

**Keywords:** Afghanistan, alternative energy resources, electricity networks, renewable energy.

## 1. Giriş

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları; çevre dostu olması yanında ekonomik büyümeye ve sosyal-toplumsal gelişmeye katkılar sağlaması nedeniyle, özellikle elektrik üretim konusunda diğer kaynaklara göre daha fazla dikkat çekmektedir. Bölgedeki ülkelerin küresel elektrik şebekesine erişimleri karşılaştırıldığında, Afganistan halkı dünya ölçeğinde en düşük elektrik kullanım oranına sahip olmasına rağmen yapılan çalışmalar, bu ülkenin hem önemli yenilenebilir enerji potansiyeli hem de geleneksel enerji rezervleri bakımından oldukça zengin olduğunu göstermektedir. Peştun aşiretlerini bir araya getiren Ahmed Şah Durrani tarafından 1747 yılında kurulan ve 08 Ağustos 1919 tarihinde bağımsızlığına kavuşan Afganistan, coğrafi olarak doğuda 60° 31' ve 75° 00' ile kuzeyde 29° 35' ve 38° 40' arasında yer almaktadır. Asya kıtasının Güney-Orta Asya kısmında yer almakta; dağlık, karasal ve denize sınırı olmayan bir konumda bulunmaktadır (Ershad, 2017). Afganistan, batı taraftan 936 km'lik sınırı ile İran'la, güney doğu'dan 2.430 km'lik sınırı ile Pakistan'la, kuzey doğu'dan 76 km'lik sınırı ile Çin'le, kuzey'den 1.206 km'lik sınırı ile Tacikistan, 137 km'lik sınırı ile Özbekistan ve 744 km'lik sınırı ile Türkmenistan olmak üzere komşuları ile toplam sınır uzunluğu 5.529 km dir (Anonim, 2017a). Doğu ve batı arasındaki önemli yolların kesişme noktalarında bulunan Afganistan, stratejik konumundan dolayı tarih boyunca Arapların, Yunanlıların, Türklerin, Sovyetlerin, Moğolların, İranlıların ve İngilizlerin çeşitli saldırılarına maruz kalmıştır (Anonim, 2019a). Hindistan ile Çin'i birbirine bağlayan ve uluslararası öneme sahip enerji koridoru üzerinde yer almasıyla stratejik ülke konumunda olan Afganistan'ın gelişmesi bu saldırılar nedeniyle uzun yıllar boyunca engellenmiştir (Anonim, 2017b). Bu durum özellikle berilyum, altın, gümüş, krom, kurşun, çinko, bakır, demir, tuz, mermer, klinker, kil, kireç taşı yataklarına ek olarak kömür, doğalgaz ve petrol gibi zengin maden kaynakları yanında zengin hidroenerji, jeotermal, güneş ve rüzgar enerji potansiyellerinin gerektiği gibi kullanılamamasında kendini göstermiştir (Anonim, 2019a, Anonim 2019b; Anonim, 2109c). Ülkenin toplam yüzölçümü 652.864 km<sup>2</sup> olup, kurak ve yarı kurak bozkır bir iklime sahip, dolayısı ile yazları sıcak ve kışları çok soğuktur (Ludin ve ark., 2017a; Ludin ve ark., 2017b; Ershad, 2017; Anonim, 2017a). Nüfusu yaklaşık 33.000.000'un üzerinde olan Afganistan'da, 2004 yılı verilerine göre nüfusun yaklaşık yarıya yakını iş

gücüne katkı sağlamakta ve iş gücünün %80'i tarım, %10'u endüstri yanında %10'u da hizmet sektöründe çalışmaktadır (Anonim, 2017b; Anonim, 2018a; Anonim, 2019a). Çeşitli kaynaklarda (Anonim, 2019a; Anonim, 2019d; Anonim, 2019e) nüfus artış oranı'nın (Çizelge 1.1 ve Şekil 1.1) tahminen % 2,67 olduğu belirtilen Afganistan'ın yıllık elektrik üretiminin yaklaşık 900 GWh civarında, elektrik tüketiminin ise 1000 GWh/yıl değerini aştığı ve bu nedenle her yıl 200 GWh aşan değerlerde elektrik enerjisi ithal etmek zorunda kaldığı ifade edilmektedir. Birkaç on yıl içinde, bu ülke yaşadığı savaşlar ve savunmasızlıktan dolayı güvensiz bir hale gelmiştir. Birleşmiş Milletler İnsani Gelişme Endeksi'ne göre Afganistan, 2012 yılında 175. sırada yer alırken 2017 yılında 168. sıraya yükselmiştir (Ershad, 2017; Anonim, 2018b). Ershad (2017)'ye göre Afganistan'da, 2008 yılı nüfusunun işsizlik oranı %35 ve fakirlik koşullarında yaşayanların oranının ise %36 olduğu belirtilmiştir. Bu durum Afganistan'daki halkın büyük çoğunluğunun elektrik şebekelerinden yararlanamamasına neden olmaktadır. Ershad (2017) tarafından yapılan bir çalışmada; Afganistan'da 2010 yılında okuryazarlık oranı yaklaşık %30 civarında iken, 2015 yılında bu değer %50 civarında olduğu ifade edilmiştir. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (BMKP)'nin 2013 yılındaki bir araştırmasında, gayri safi yurtiçi üretimin %33'ü ülkedeki tarımdan karşılandığı ve tarım ülkesi olan Afganistan'da istihdamın %78,6'sının tarım alanında olduğu belirtilmiştir (Anonim, 2015). Afganistan'daki orman örtüsü son otuz yılda %50 oranında azalmıştır. 2013 yılında yapılan BMKP anketine göre, ülkenin yalnızca %2'si ormanlarla kaplıdır (Musleh, 2016). Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı (AESB)'nin de yer aldığı çeşitli çalışmalarda; 2003 yılında Afganistan'ın nüfusunun yalnızca %7 oranında elektrik şebekesiyle bağlantısı olduğu, ancak bu oranın 2009 yılında %10 - 15 arasında, 2014 yılında %26 ve 2016 yılı için ise %30 civarında olduğu ifade edilmiştir (Ashraf, 2009; Alamyar, 2014; Anonim, 2014a; Ershad, 2017). Ershad (2017)'ye göre; Afganistan'da 2032 yılına kadar ulusal elektrik şebekesine ulaşım oranının %83'lere ulaşacağı ön görülmektedir. Ershad (2017)'de belirtildiği üzere Dünya Bankası tarafından yapılan bir çalışmaya göre, Afganistan'daki nüfusun yaklaşık %77'si kırsal alanlarda yaşamaktadır, bu nüfusun sadece %11'i ulusal sistemlerden elektrik sağlamaktadır, %85'inden fazlası ise geleneksel biyokütle (özellikle odun ve gübrelerden) kullanarak enerji taleplerini karşılamaktadır ve bu yakıtlar özellikle pişirme ve ısıtma işleri için doğrudan kullanılmaktadır. Diğer taraftan, Ershad (2017) tarafından da vurgulandığı gibi; Afganistan nüfusunun %23'ü kentsel alanlarda Kabil, Kandahar, Herat ve Mezar Şerif gibi büyük şehirlerde yaşamaktadır ve bunların %90'ından fazlası şebeke elektrik sisteminden elektrik almaktadır. Yapılan çalışmada; Afganistan'da, 2013 yılında brüt elektrik enerjisi tüketiminin kişi başına 178 kWh ve yıllık brüt talebin 3.531 GWh olarak gerçekleştiği, 2032 yılına kadar toplam brüt talebin yıllık ortalama 18.409 GWh'lık talebin beklendiği tahmin edilmekte olduğu belirtilmiştir (Ershad, 2017). Bu nedenle, büyümenin de getirdiği gereksinimler sonucu, Afganistan'ın 2013 yılında ürettiği enerjinin yaklaşık 5 katı daha fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. 2013 yılında Afganistan'ın toplam nüfusunun yaklaşık %24'ü elektrik şebekesinden elektrik alırken, bu rakamın 2032 yılına kadar yaklaşık %83 oranında artması beklenilmektedir (Ershad, 2017; Ludin ve ark., 2017a,b). Bu çalışmalarda; 2013 yılında Afganistan halkının %25'ten az bir kesimin elektrik şebekesine erişimi var iken, 2020 yılında erişimin %50'ye çıkmasının beklendiği belirtilmektedir.

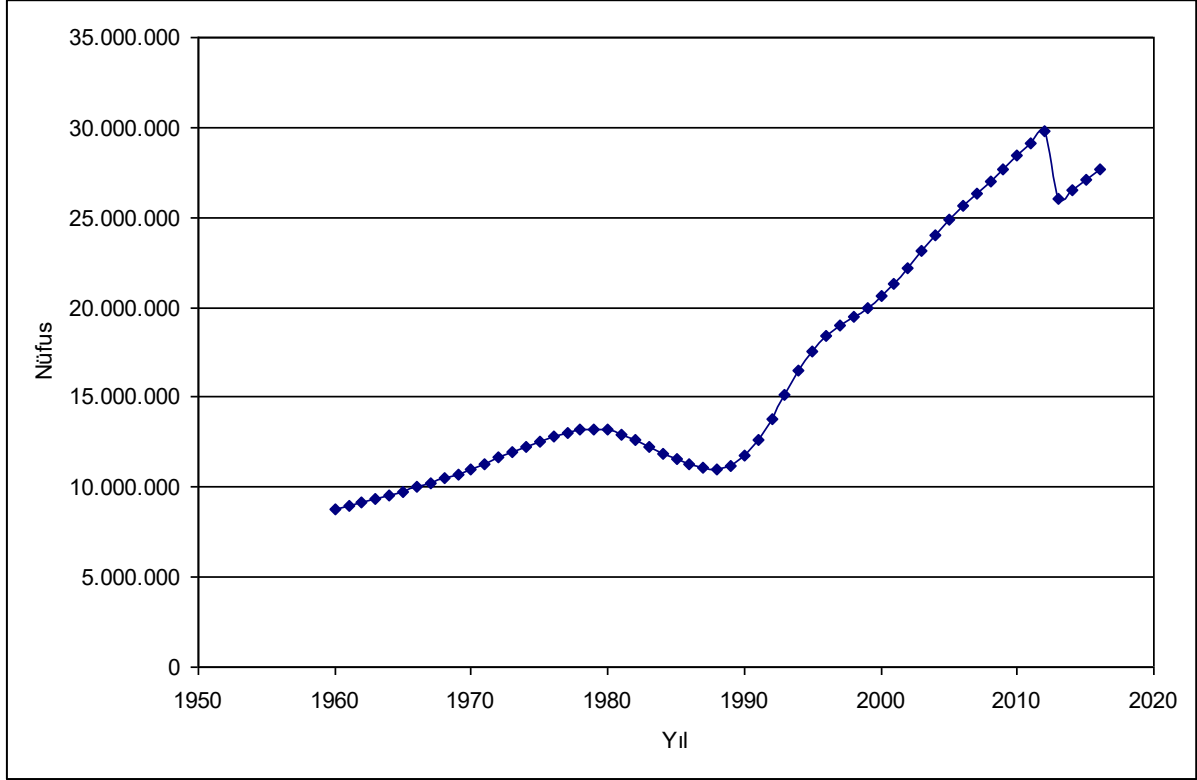


Çizelge 1.1. Yıllara göre Afganistan nüfusu ve yıllara göre değişimi (Anonim, 2019e; Anonim, 2019f'den uyarlanmıştır)

Yıl	Toplam Nüfus	Artış Yüzdesi	Yıl	Toplam Nüfus	Artış Yüzdesi
2016	27.657.145	↑ %2,05	1988	11.013.345	↓ %0,45
2015	27.101.365	↑ %2,05	1987	11.063.107	↓ %1,77
2014	26.556.754	↑ %2,05	1986	11.262.439	↓ %2,31
2013	26.023.100	↓ %12,75	1985	11.528.977	↓ %2,74
2012	29.824.536	↑ %2,47	1984	11.854.205	↓ %3,17
2011	29.105.480	↑ %2,49	1983	12.241.928	↓ %3,11
2010	28.397.812	↑ %2,49	1982	12.634.494	↓ %2,54
2009	27.708.187	↑ %2,50	1981	12.963.788	↓ %1,64
2008	27.032.197	↑ %2,59	1980	13.180.431	↓ %0,58
2007	26.349.243	↑ %2,80	1979	13.257.128	↑ %0,44
2006	25.631.282	↑ %3,10	1978	13.199.597	↑ %1,27
2005	24.860.855	↑ %3,51	1977	13.034.460	↑ %1,78
2004	24.018.682	↑ %3,90	1976	12.806.810	↑ %2,03
2003	23.116.142	↑ %4,11	1975	12.551.790	↑ %2,27
2002	22.202.806	↑ %4,01	1974	12.273.589	↑ %2,57
2001	21.347.782	↑ %3,65	1973	11.966.352	↑ %2,77
2000	20.595.360	↑ %3,04	1972	11.644.377	↑ %2,83
1999	19.987.071	↑ %2,51	1971	11.323.446	↑ %2,79
1998	19.496.836	↑ %2,50	1970	11.015.621	↑ %2,67
1997	19.021.226	↑ %3,29	1969	10.729.191	↑ %2,52
1996	18.415.307	↑ %4,72	1968	10.465.770	↑ %2,39
1995	17.586.073	↑ %6,68	1967	10.221.902	↑ %2,32
1994	16.485.018	↑ %8,63	1966	9.990.125	↑ %2,31
1993	15.175.325	↑ %9,87	1965	9.765.015	↑ %2,28
1992	13.811.876	↑ %9,51	1964	9.547.131	↑ %2,22
1991	12.612.043	↑ %7,51	1963	9.339.507	↑ %2,16
1990	11.731.193	↑ %4,60	1962	9.141.783	↑ %2,10
1989	11.215.323	↑ %1,83	1961	8.953.544	↑ %2,04
			1960	8.774.440	

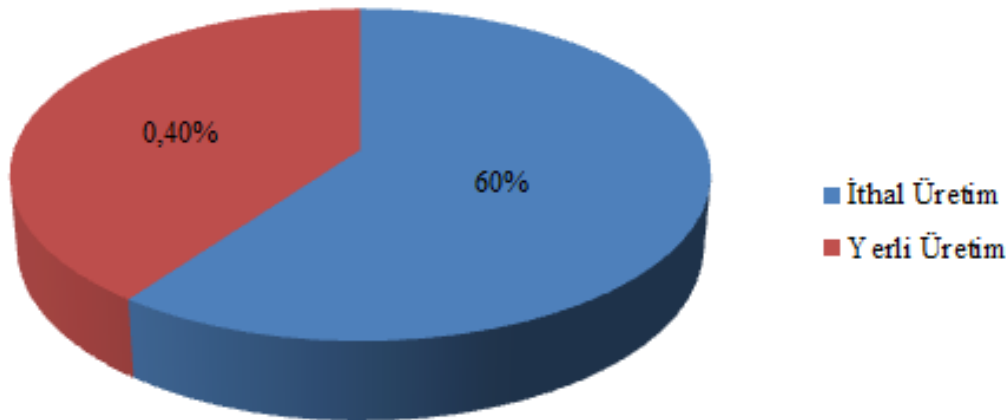
Afganistan'ın Enerji Hizmetleri Kanunu, Ulusal Enerji Politikası ve Ulusal Yenilenebilir Enerji Politikası'nın temel amacı, ülkenin elektrik talebinin %95'ini 2032 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından üretmek olduğu ifade edilmektedir (Ershad, 2017). Şekil 1.2'de görüldüğü gibi, Afganistan şu anda elektrik talebinin %60'ını Özbekistan, Türkmenistan ve Tacikistan gibi Orta Asya ülkelerinden ve İran'dan ithal ederken, ülkenin enerji ihtiyacının %40'ı yerli üretimden karşılanmaktadır (Anonim, 2017c; Anonim, 2017d; Anonim, 2017e). Şekil 1.3'de gösterildiği gibi, yerli üretimin %44'ü hidroelektrik santrallerden elde edilirken, %41'i termik santrallerden ve %15'i dizel jeneratörlerden sağlanmaktadır (Anonim, 2017c). Ancak, toplam 51,5 MW'ın 37 MW'ı mikro hidroelektrik santrallerinden ve 14,5 MW'ı ise fotovoltaik güneş enerjisinden olacak şekilde projelendirilmektedir. Bunlar Şekil 1.3'deki yüzdeye dahil değildir. Afganistan'ın mevcut arz ve tahmini elektrik talebi, 2007 yılından 2020 yılına kadar Şekil 1.4'te verilmektedir

(Alamyar, 2014). Afganistan’da sektörlere göre 2013, 2014 ve 2015 yılları için enerji kullanımı Şekil 1.5’te ve 2015 yılı için elektrik kullanım yüzdesi sektörlere göre Şekil 1.6’te gösterilmektedir (Anonim, 2017c).

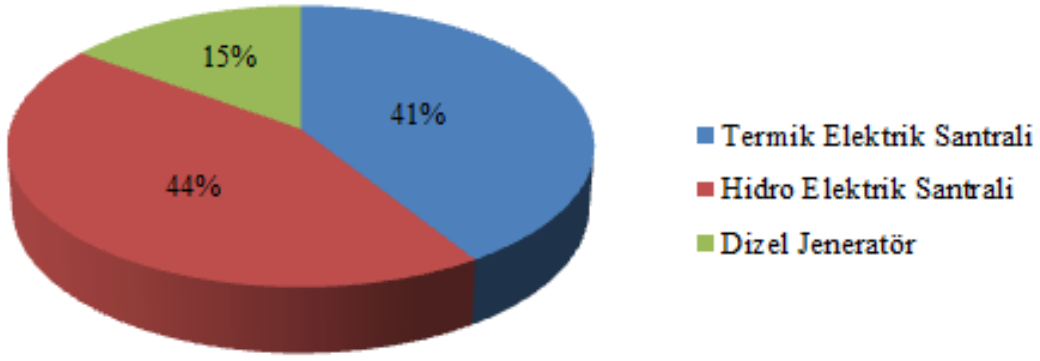


Şekil 1.1. Afganistan nüfusunun yıllara göre değişimi (Anonim 2019d; Anonim, 2019e; Anonim, 2019f’den uyarlanmıştır)

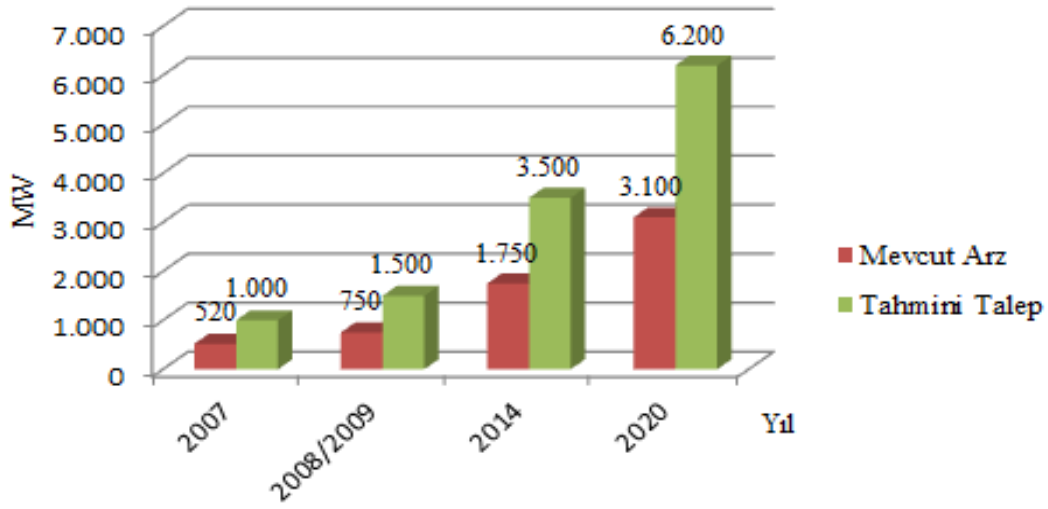
Bu çalışmanın temel amacı; yapılan çeşitli çalışmaları birlikte değerlendirerek, Afganistan’daki güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakların teorik potansiyelini incelemek, mevcut ve gelecekteki kullanımlarını irdelemek, bu kaynakların Afganistan gibi bir ülke için ne kadar önemli ve faydalı olduğunu vurgulamak olarak özetlenebilir.



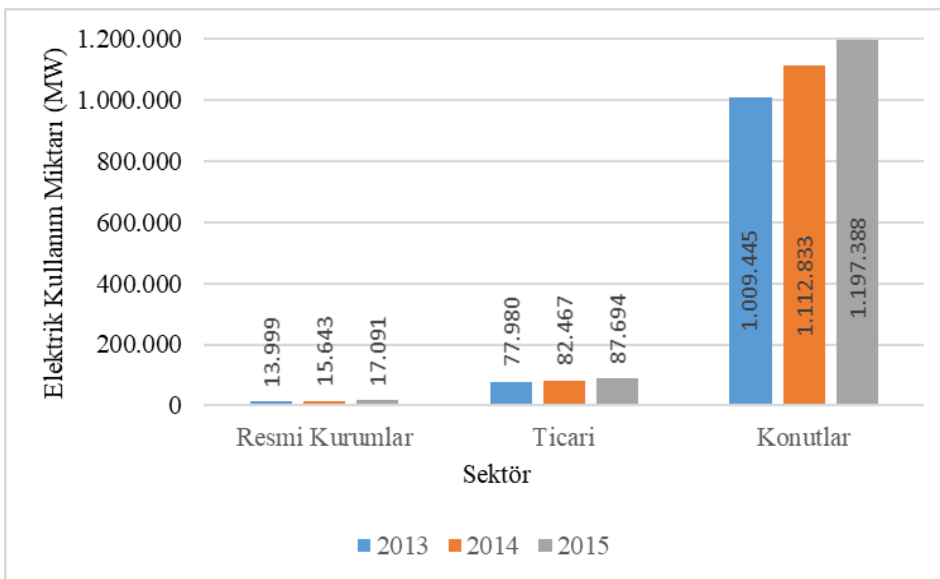
Şekil 1.2. Afganistan’ın mevcut elektrik üretim dağılımı (Anonim, 2017c’den uyarlanmıştır)



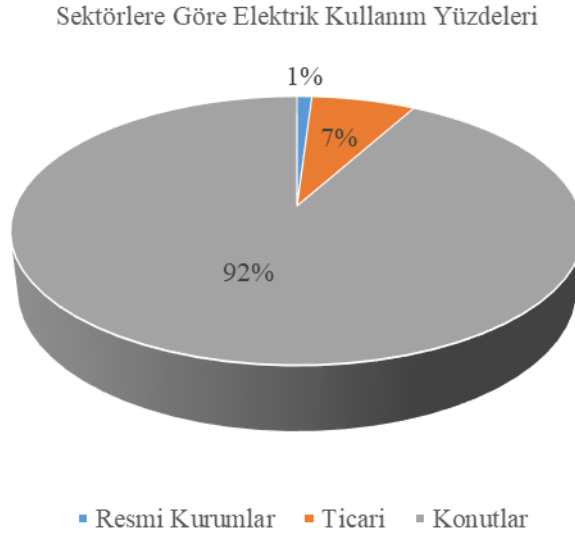
Şekil 1.3. Afganistan'ın mevcut yerli elektrik üretim durumu (Anonim, 2017c'den uyarlanmıştır).



Şekil 1.4. Yıllara göre Afganistan'daki mevcut arz ve tahmini talep elektrik (Alamyar, 2014'den uyarlanmıştır).



Şekil 1.5. Afganistan'da yıllara göre devlet kurumları, ticari alanlar ve binalar gibi sektör başına elektrik kullanım miktarı (Anonim, 2017c'den uyarlanmıştır).



Şekil 1.6. Afganistan’da 2015 yılı sektörlere göre elektrik kullanım yüzdesi (Anonim, 2017b’den uyarlanmıştır).

## 2. Afganistan’daki Enerji Çalışmaları ve Destekler

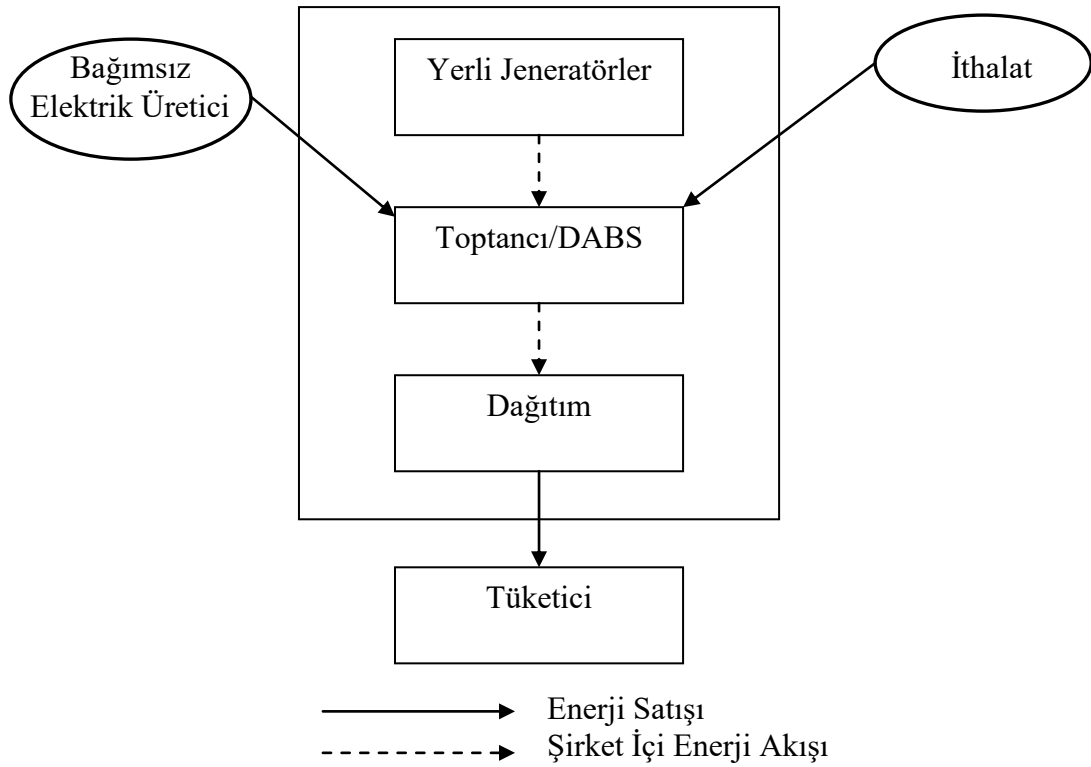
Afganistan’da Enerji ve Su Bakanlığı (ESB), Kırsal Rehabilitasyon ve Kalkınma Bakanlığı (KRKB) ve Da Afganistan Breşna Şerkat (DABŞ) gibi bakanlıklar ve kurumlar ülkenin enerji sektörünün gelişim konusunda üç ana kamu kuruluşu olarak rol oynamaktadır. Enerji ve Su Bakanlığı, hem kırsal ve hem de kentsel alanlar dahil olmak üzere enerji sektörünün gelişimin ana sorumlusudur. Örneğin; ESB ülkenin elektrik sektöründe, sektör planlarının tasarımı dahil olmak üzere kurumsal olarak tüm politika ve düzenlemelerinin şekillendirilmesinden sorumludur. Enerji ve Su Bakanlığı, enerji ve su sektörlerinin gelişmesini yönlendirmek ve onları devlet tarafından oluşturulan kararı alma süreçlerini getirmektedir. Ayrıca, kamu ve özel paydaşları, politikaları ve stratejileri uygulama konusunda teşvik etmeye çalışmaktadır. Ayrıca, bazı bölümler ve kamu sektörü kuruluşları veya yenilenebilir enerji bölümü ve yenilenebilir enerji koordinasyon komitesi gibi koordinasyonlar, ülkedeki enerjiyi geliştirmek için Enerji ve Su Bakanlığı’nın liderliği altında farklı görevleri yapmak için çalışmaktadır (Anonim, 2017b). Öte yandan, KRKB’nın görevi sadece ilçelere ve köylere yardım götürmek olup, etkisi ilçeler ve köylerle sınırlıdır. KRKB’nın işlevi ise, tarımsal faaliyetler hariç, kırsal alanlarda sosyal ve finansal büyümeyi arttırmaktır. Böylece yoksulluğun azaltılması ve kırsal alanlardaki insanların yaşam koşullarının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla KRKB, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik arzı ile ilgili bazı programlar uygulamıştır ve yeni proje çalışmaları da sürmektedir. Ayrıca; Afganistan Kırsal Kalkınma için Sürdürülebilir Enerji (AKKSE) çalışma birimi, KRKB liderliği altında çalışmalarını sürdürmektedir. Bu birimin görevi özellikle kırsal alanlarda sürdürülebilir enerjinin kullanımını sağlamak ve geliştirmektir. Afganistan’da elektrik enerjisi üzerine yatırımları organize eden ve işleri yürüten DABŞ, Afganistan’daki devlete ait %100 yardımcı kurumdur. Bu kurumun görevi elektrik üretimi, tesis operasyonu ve ulusal şebeke ve dağıtım şebekelerinin bakımını sağlamak ve yeni projeler gerçekleştirmektir. Yeni yürürlüğe giren ‘‘Güç Hizmetleri Yönetmeliği Yasası’’na göre, özel şirketler elektrik üretimine ve dağıtımına yatırım yaparak Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı’ndan lisans alabilmektedir. Nisan 2017’ye kadar sekiz özel şirket lisansı almıştır (Anonim, 2017b; Alamyar, 2014; Ludin ve ark., 2017a). Şekil 2.1’de Afganistan’daki genel elektrik tüketim durumu gösterilmektedir. Asya Kalkınma Bankası

(AKB), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (BMÇP), Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (BMKP), Amerika Birleşik Devletleri Ajansı Uluslararası Kalkınma (ABDAUK) için, Afganistan'da Enerji Kurumsal Gelişmesi (AEKG) ve Dünya Bankası (DB) gibi uluslararası kuruluşlar, Afganistan'ın enerji sektöründe etkin olan ana finansal kuruluşları ve destekçileridir (Anonim, 2017b).

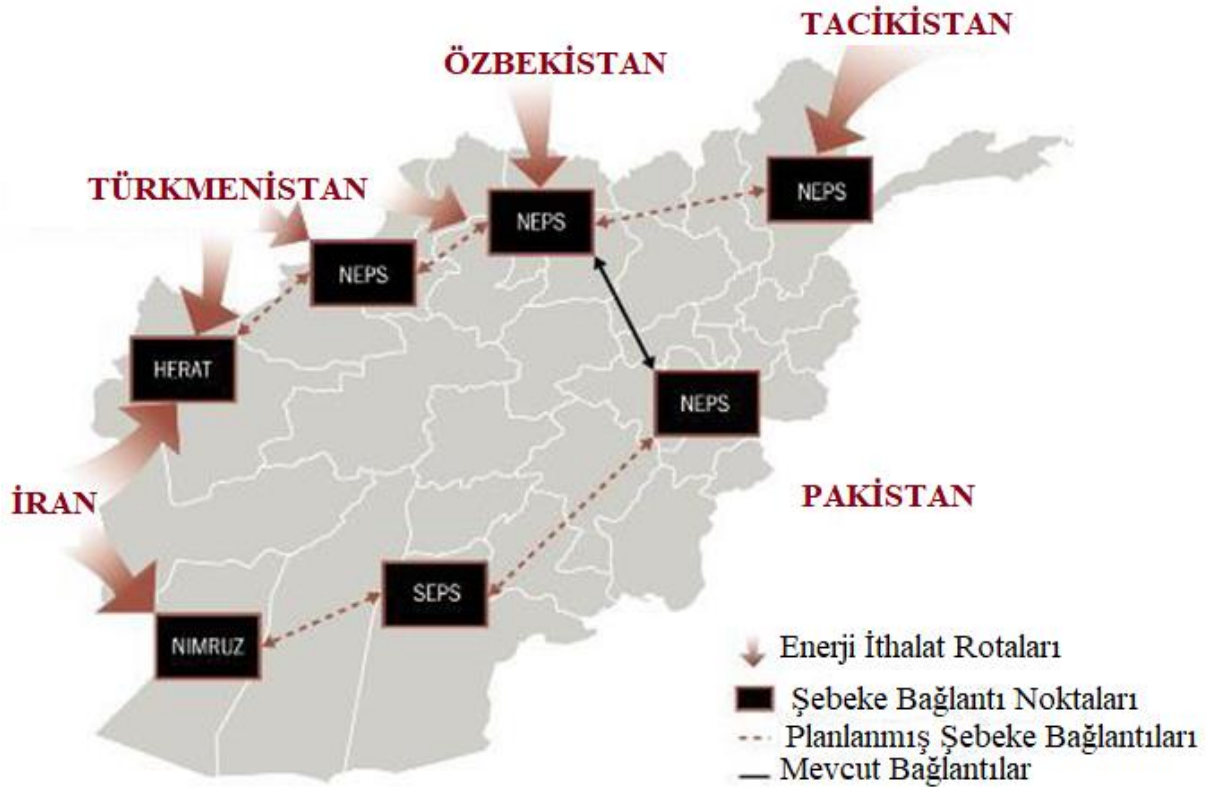
### 3. Afganistan'ın Elektrik Şebeke Sistemi

Afganistan'da hidroelektrik şebeke sistemi hariç, şu ana kadar yenilenebilir enerji üretimi ile bağlantılı bir şebeke sistemi yoktur. Ancak bazı yerleşim yerlerinin elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için fotovoltaiik güneş panelleri kurularak bireysel kullanımlara yönelik birkaç yerel elektrik üretim uygulamaları yapılmıştır. Diğer taraftan, tüm elektrik şebekelerinin birbirine bağlanması 2032 yılına kadar öngörülmektedir (Ershad, 2017). Afganistan, özellikle güneş, rüzgar, hidro, biyokütle ve jeotermal olmak üzere yenilenebilir kaynaklar bakımından zengin olan bir ülkedir. Halbuki bu ülke şu anda elektrik talebinin büyük bir kısmını komşu ülkelere ithal ederek ve diğer kısmını da hidroelektrik santralleri, termik santralleri ve dizel jeneratörleri gibi elektrik üretimini kurarak mevcut elektrik talebini karşılamaktadır (Ludin ve ark., 2017a). Afganistan'ın üretim, iletim, ve dağıtım gibi elektrik altyapılarının çoğu son 30 yıldaki savaş ve çatışma nedeniyle tahrip olmuş ve yıkılmıştır (Alamyar, 2014). Afganistan'ın elektrik sistemi dört farklı şebekeye ayrılmaktadır. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonunun (BMAEK) raporuna göre, Afganistan'ın Kuzey Doğu Şebeke Sistemi (KDGS); Özbekistan ve Tacikistan'ı Kabil, Mazari - Şerif, Celalabad, vb ile birleştirirken Güney Doğu şebeke Sistemi; Kajaki ile kandahar, vb bağlar, Herat Şebeke Sistemi (HGS) ise; Herat bölgesi ile İran ve Türkmenistan'ı bağlar ve Türkmenistan Şebeke Sistemi de; Herat, Faryab, Sari - Pul ve Jawzjan gibi illerin Türkmenistan ile bağlantısını sağlar (Anonim, 2016). Son zamanlarda, Afganistan elektrik talebinin 345 MW'lık kısmını Özbekistan'dan, 350 MW'ını Tacikistan'dan, 300 MW'ını Türkmenistan'dan, 180 MW'ını İran'dan ithal edilmektedir (Alamyar, 2014; Amonim, 2014b; Samadi, 2011). Yerli hidroelektrik santrallerden 196 MW'lık kapasite, termik santrallerden 248 MW'lık, dizel jeneratörlerden 93 MW'lık kapasite üretilmektedir (Anonim, 2017b; Anonim, 2018b). Afganistan'daki genel elektrik tüketim durumu Şekil 3.1'de verilmiştir.

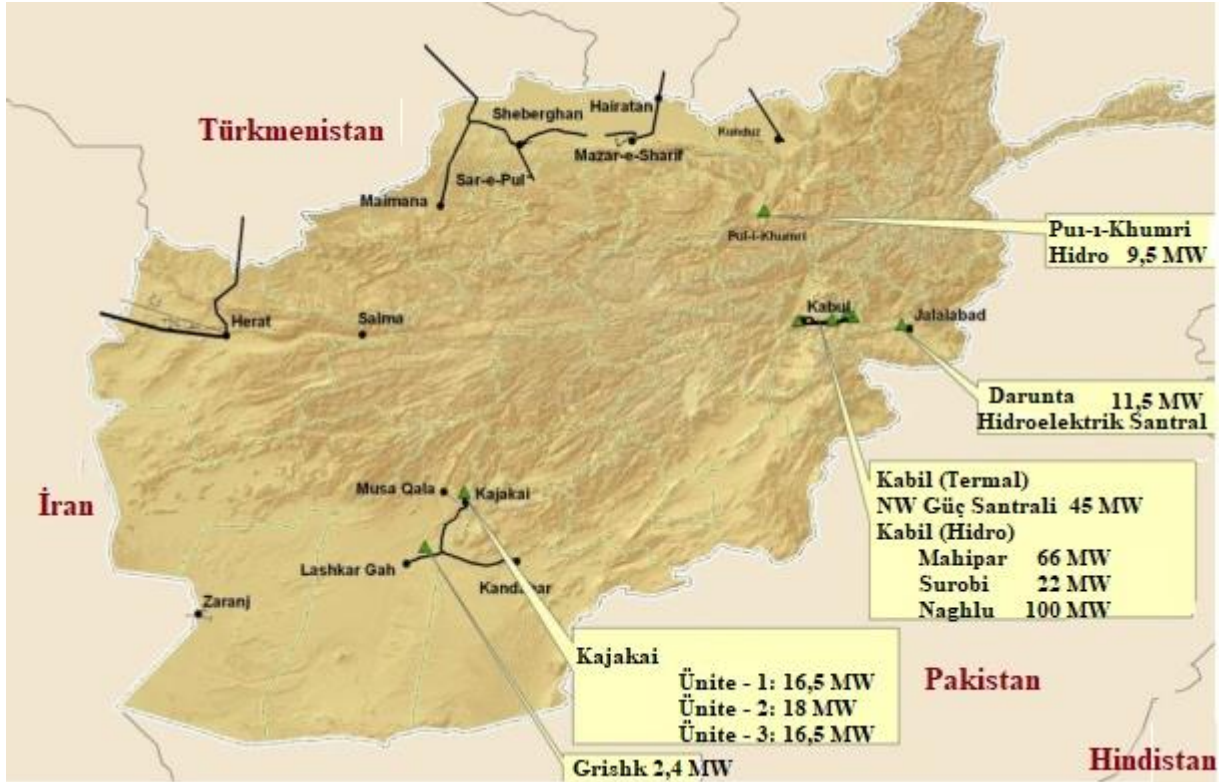
Afganistan'ın yerli hidroelektrik santralleri çoğunlukla Kabil'de Naghlu, Mahiper ve Sarobi gibi bölgelerinde, Herat bölgesinde ise Selma'da yoğunlaşmışken, termik santraller ise çoğunlukla Tarakhil ve Kuzey – Batı Kabil'de bulunmaktadır (Ludin ve ark, 2017a; Alamyar, 2014). Şekil 3.2'de Afganistan ile Türkmenistan, Özbekistan ve Tacikistan gibi Orta Asya ülkelerin ve İran'ın bağlantı hatlarını göstermektedir. Şekil 3.3'de yerli hidroelektrik santrallerinin konumu belirtilmektedir (Alamyar, 2014). Afganistan'ın Ana Güç Sektör Planı'na göre, Şekil 3.4'ten de görüleceği gibi ülkenin büyük bir kısmına elektrik şebekesinin ulaştırılabilmesine yönelik çalışmaların önümüzdeki 20 yıl boyunca süreceği tahmin edilmektedir.



Şekil 3.1. Afganistan'daki genel elektrik tüketim durumu (Ludin ve ark, 2017b'den uyarlanmıştır).

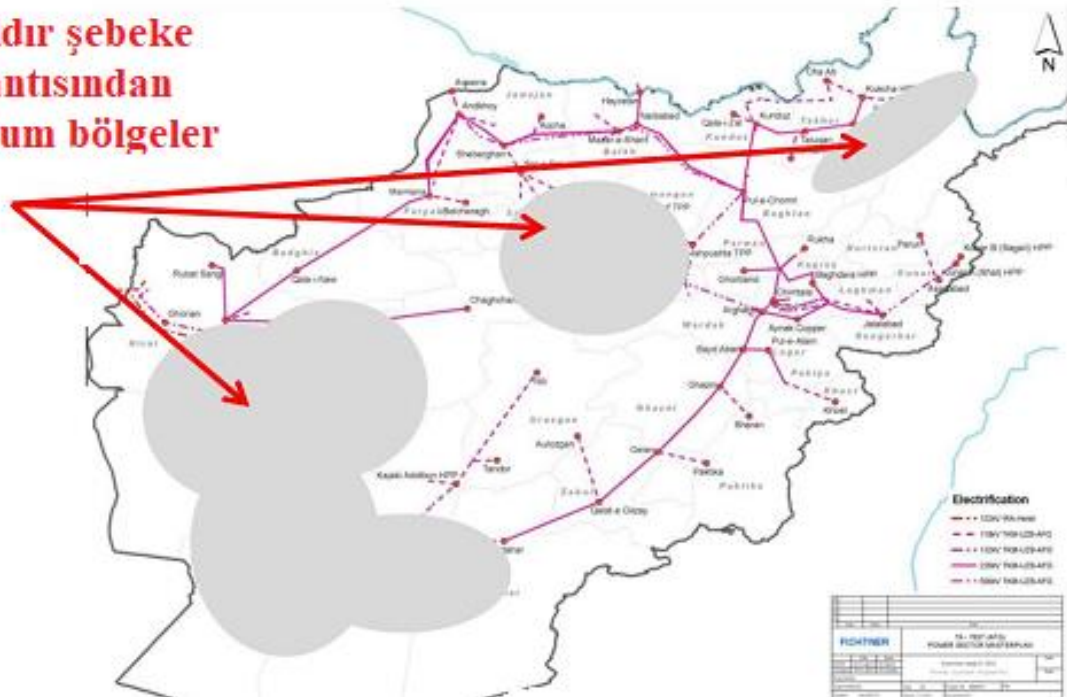


Şekil 3.2. Afganistan ve komşu ülkelerin arasındaki şebeke bağlantı hatları (Anonim, 2016'dan uyarlanmıştır).



Şekil 3.3 Yerli hidroelektrik santrallerinin konumu (Alamyar, 2014'den uyarlanmıştır).

### 20 yıldır şebeke bağlantısından mahrum bölgeler



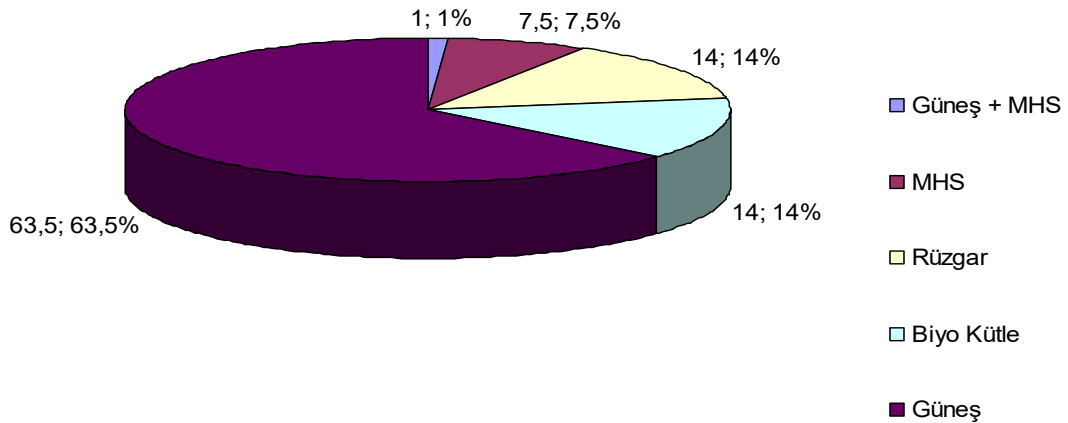
Şekil 3.4. Afganistan'da 20 yıldır şebekeden mahrum bölgeler (Nasrati, 2015; Ludin ve ark., 2017a'dan uyarlanmıştır).



#### 4. Afganistan'ın Geleceği için Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

Afganistan'ın geleceği için yenilenebilir enerji potansiyelinin önemi üzerine yapılan önemli çalışmalardan biri de Fahmi ve Upham (2017)'in çalışmasıdır. Bu çalışmada Afganistan'daki hidro, güneş, jeotermal, rüzgar ve biyo-kütle gibi doğa dostu yenilenebilir enerji kaynakları, potansiyelleri ve kullanım durumları irdelenmiştir. Bu ülkenin güneş, rüzgar ve hidrolik enerji potansiyeli yüksektir. Bu kaynaklardan hem büyük hem de küçük ölçekte yararlanılması için yeterince iyi potansiyel bulunmaktadır. Örneğin, yerli elektriğin çoğu hidroelektrik santrallerinden üretilmektedir. Ancak, ülkede fotovoltaik güneş ve rüzgar santrallerinden enerji üretim konusunda küçük ölçekte uygulamalar bulunmaktadır. Afganistan'da biyokütle; genellikle tarımsal atık şeklinde olup, daha çok yemek pişirmek ve ısınmak için doğrudan kullanılmaktadır. Ayrıca, bu kaynaktan elektrik üretmek için de küçük miktarlarda ve kişisel girişimler bulunmaktadır. Afganistan'da jeotermal önemli olmasına rağmen, bu kaynakla ilgili şu ana kadar geniş bir şekilde araştırma yapılmamıştır (Anonim, 2018b). Afganistan'ın Enerji ve Su Bakanlığı'na göre, Afganistan yıllık 67.000 MW rüzgar enerji potansiyeline, 220.000 MW güneş enerji potansiyeline, 4.000 MW biyokütle enerji potansiyeline ve 23.000 MW'ın üzerinde hidrolik potansiyeline sahip olan bir ülkedir (Anonim, 2014b; Sherzai, 2017; Ahmadzai ve MacKinna, 2018). Bu ülkenin 19 ilinde, önümüzdeki birkaç yıl içinde yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş, hidro, biyokütle ve rüzgârdan elektrik üretimi için toplam 100 MW kapasiteye sahip olacak 30 projenin hayata geçirilmesi öngörülmektedir. Bu projelerin toplam maliyetinin yaklaşık 326 milyon ABD Doları olduğu tahmin edilmektedir ve ülkedeki 1.000.000 kişiye elektrik sağlayacağı öngörülmektedir (Anonim, 2016). Şekil 4.1'de her bir enerji türünden elektrik üretim kapasite miktarları görülmektedir ve Şekil 4.2'de birkaç yıl içinde her enerji türü için yapılacak yatırımların yüzdesi görülmektedir. Ayrıca, Çizelge 4.1'de 2032 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin öngörülen kapasitesi verilmiştir.

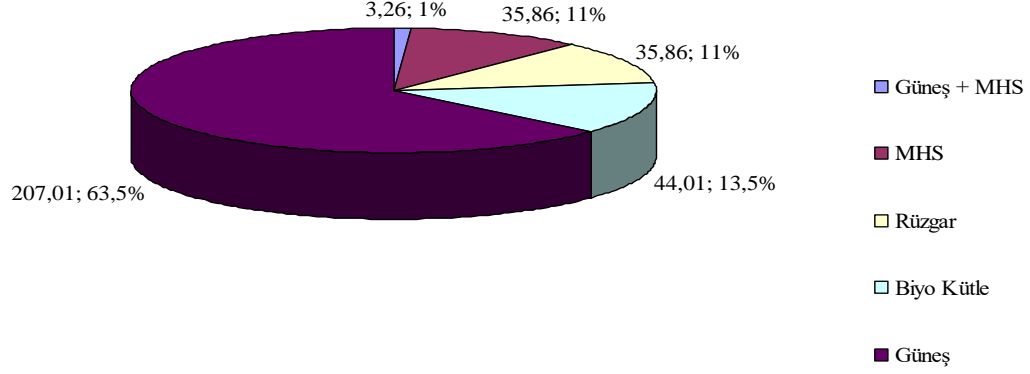
Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Üretim Kapasiteleri (MW)



Şekil 4.1. Önümüzdeki birkaç yıl içinde farklı enerji kaynağı türlerinden elektrik enerjisi üretim kapasitesi (Anonim, 2016'den uyarlanmıştır).



Kaynaklara Göre Elektrik Üretim Yatırımları (Milyon ABD \$)



Şekil 4.2. Önümüzdeki birkaç yıl içinde her enerji türünden elektrik üretim için yatırım dağılımı ve yüzdeleri (Anonim, 2016'den uyarlanmıştır).

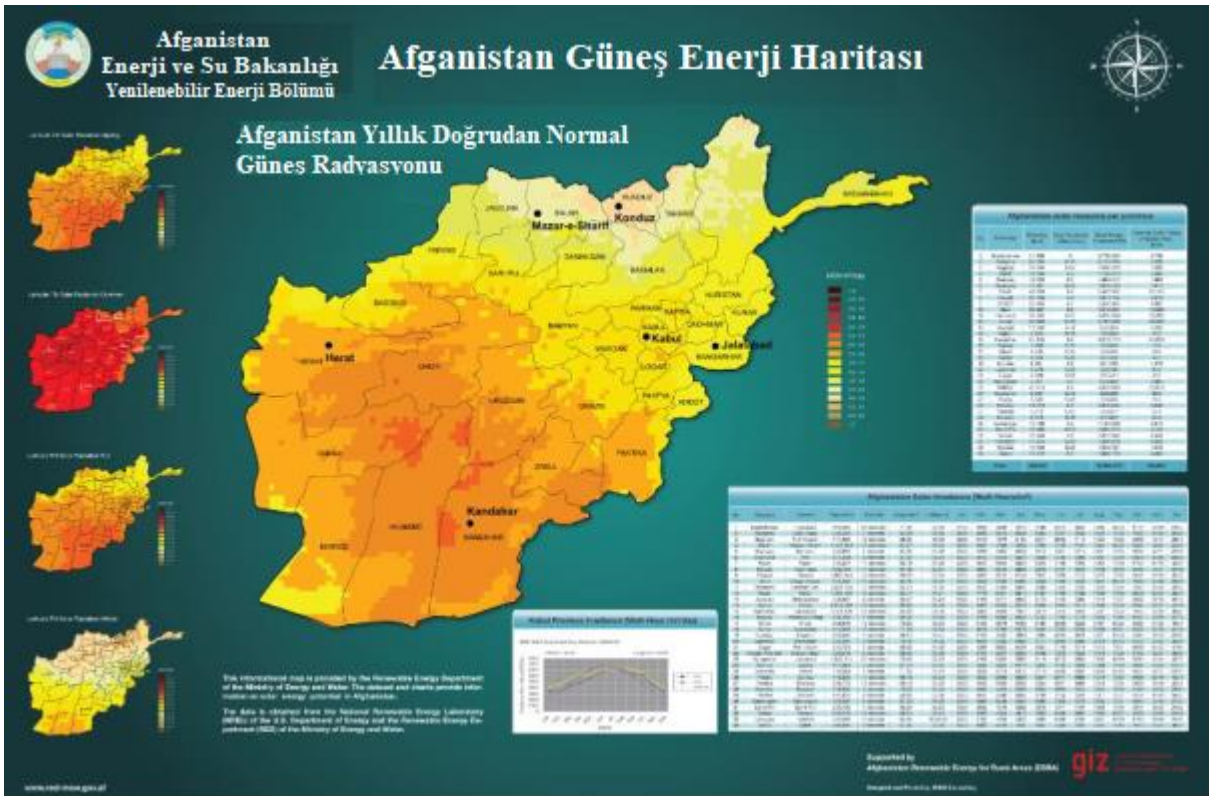
Çizelge 4.1. 2032 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik kapasitesi (Anonim, 2017b'den uyarlanmıştır)

Enerji Türü	No:	Teknoloji	Kapasite (MW)	%
Güneş	1	Güneş Enerjisi Parkları	590	11,79
	2	Güneş Enerjisinden Bağımsız Güç Üreticileri	210	4,20
	3	Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi	110	2,20
	4	Yüzer Fotovoltaik	10,50	0,21
	5	Konsantre Fotovoltaik	6	0,12
	6	Çatı Üstü ile Şebeke - toplanti / montaj	420	8,40
	7	PV Ev Sistemleri, İletişim Kuleleri ve Diğerleri	75	1,50
	8	Güneş Enerjili Pompa Sistemleri	51	1,02
	9	Vakum tüp ve Düz Plaka	60,6	1,21
Rüzgar	10	Rüzgardan Bağımsız Güç Üreticileri	600	11,99
Büyük Hidrolik	11	Büyük Hidrolik	2.000	39,98
Biyokütle	12	Tarımsal Atıklardan Elektrik Üretimi	30	0,60
Biyogaz	13	Organik ve Tarımsal Atık	2	0,04
	14	Termal Enerji	4,1	0,08
Atık	15	Belediye Katı Atık	56	1,12
Jeotermal	16	Isı Pompası Uygulamaları ve Jeotermal Enerji	55	1,10
Hibrid	17	Dizel + Rüzgar / Güneş / Mini Hidro	300	6,00
MHS & KHS	18	Mikro Hidro Santral + Küçük Hidro Santral	420	8,40
Aşçı sobaları	19	Termal Enerji	2,6	0,05
Toplam			5.002,8	100,00

#### 4.1. Afganistan'daki Güneş Enerji Potansiyeli

Afganistan fotovoltaik güneş pillerinin (PV) geliştirilmesi için önemli coğrafi koşullara sahiptir. Afganistan'ın güneş enerjisi potansiyeli; ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından 2014 yılında analiz edilmiştir (Anonim, 2019b). Yapılan bu analiz çalışmalarında; Afganistan yıllık 300 güneşlenme gününe ve ortalama günlük 5,5 kWh/m<sup>2</sup>'nin üzerinde güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir. Öte yandan, Afganistan'ın Enerji ve Su Bakanlığı'na göre, bu ülke günde ortalama 6,5 kWh/m<sup>2</sup> ve 12 saat/gün küresel yatay ışınım potansiyeline sahip olduğu ve toplam yaklaşık 220.000 MW'lık güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda; genellikle, Afganistan'ın güney kısmında Kandahar ve Helmand gibi illerde ve batı kısmında Farah, Herat ve Nimruz gibi illerde önemli güneş enerjisi sahaları olduğu ifade edilmektedir. Halbuki, kuzey illeri içinde günlük ortalama 4,5 kWh/m<sup>2</sup> güneş ışınımına sahip olduğuna dair çalışmalar bulunmaktadır (Elliott, 2016; Ludin ve ark., 2017a; Anonim, 2017c). Şekil 4.3'te Afganistan'ın güneş enerjisi atlası gösterilmektedir.

Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi, 100 kW'lık kapasiteye sahip olan ilk fotovoltaik sistemi şebekeden bağımsız olarak 2010 yılında Gardez ilinin Syed Karam ilçesinde kurulmuştur (Anonim 2017a). Bu sistem 250 kW yedekleme ünitesine sahip olan bir dizel jeneratörü ile birleştirilmiştir. Güneş enerjisinden yararlanan bu sistem neredeyse 600 evin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır.



Şekil 4.3. Afganistan'ın güneş radyasyon potansiyelini gösteren güneş enerji atlası (Anonim, 2016'den uyarlanmıştır)

2013 yılında güneş enerjisinden elektrik üretmek için fotovoltaik panelleri ikinci sistem olarak inşa edilmiştir. Üçüncüsü ise 2014 yılında 1 MW'lık kapasite ile kullanılmaya başlanmış ve 2.500 ev, iş yerleri ve devlet daireleri için elektrik sağlamıştır (Anonim, 2017b). Afganistan

Enerji ve Su Bakanlığı'nın verilerine göre, 2016 yılına kadar toplam 13 MW'lık kapasite fotovoltaik panellerini kurarak güneş enerjisinden elektrik üretilmeye başlanmıştır. Ayrıca, Afganistan'ın Enerji ve Su Bakanlığı tarafından 1,8 MW'lık kapasite ile PV panellerinden yakın zamanda elektrik üretileceği de belirtilmiştir (Anonim, 2017b). Bu çalışmalarda; Enerji ve Su Bakanlığı'nın Yenilenebilir Enerji Şubesi'nin koordinatörlüğünde, 2017 yılında bir kaç büyük güneş enerjisi projesinden de elektrik üretmek için çalışmaların devam ettiği belirtilmektedir. Bu projeler toplam 112 MW'lık kapasiteye sahip olup, şebeke bağlı sistem olarak inşa edilmektedir. Bu çalışmalarda, 2 MW güneş ve 10 MW rüzgar olmak üzere toplam 12 MW kapasiteye sahip olan diğer iki proje şebeke bağlı olarak hibrit şeklinde (güneş + rüzgar) inşa aşamasında olduğu belirtilmektedir. Ayrıca şebekede bağlı olarak hibrit şeklinde (güneş + hidro) toplam 100 MW'lık kapasite de öngörülmektedir. Üstelik toplam 400 kW'lık kapasite fotovoltaik güneş panellerinden şebekeden bağımsız olarak projelendiği de ifade edilmiştir (Anonim, 2016). Çizelge 4.3'te güneş enerji teknolojilerine göre proje başına elektrik üretim kapasitesi ve Şekil 4.4'te 2032 yılına kadar kullanılacak güneş enerji teknolojileri yüzdesi gösterilmektedir (Anonim, 2016; Anonim 2017a). Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi, 2032 yılına kadar farklı tür güneş enerji teknolojilerin kullanarak 1.500 MW'lık kapasite üzerinde güneşten enerji üretilmesi öngörülmektedir. Bu projeler 900 MW şebekede bağlı sistem ve 600 MW'ta şebekeden bağımsız sistemden oluşmaktadır (Anonim, 2017b).

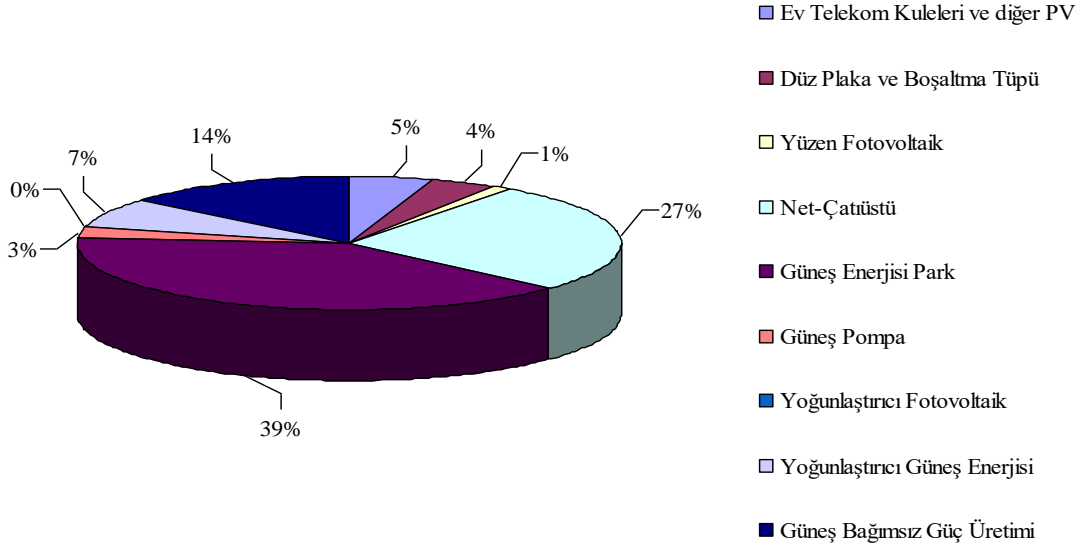
Çizelge 4.2. Afganistan'da 2010 yılından 2014 yılına kadar fotovoltaik güneş panellerinden üretilen elektrik (Anonim, 2017b'den uyarlanmıştır)

No	Yıl	İl	Tür	Sistem	Binalar	Kapasite (kW)	%
1	2010	Gardez	Güneş	Şebekeden Bağımsız	600	100	7,44
2	2013	Takhar	Güneş	Şebekeden Bağımsız	923	244	18,15
3	2014	Bamyan	Güneş	Şebekeden Bağımsız	2.500	1.000	74,40
TOPLAM						1.344	100,00

Çizelge 4.3. 2032 yılına kadar güneş sistemlerinden üretilmekte olan toplam elektrik kapasitesi (Anonim, 2017b'den uyarlanmıştır)

No	Güneş enerji teknoloji türü	Projelendirilen kapasite (kW)	%
1	Güneş enerjisi park sistemleri	590,0	38,5
2	Solar bağımsız güç üretim sistemleri	210,0	13,7
3	Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemi	110,0	7,2
4	Yüzen fotovoltaik sistemi	10,5	0,7
5	Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemi	6,0	0,4
6	Net - çatı üstü sistem ile toplanti	420,0	27,4
7	Ev, telekom kuleleri ve diğerleri fotovoltaik sistemleri	75,0	4,9
8	Güneş pompalama sistemi	51,0	3,3
9	Düz plaka ve boşaltma tüpü sistemi	60,6	4,0
Toplam Kapasite		1.533,1	100,0

2032 Yılına Kadar Teknoloji Kullanım Yüzdesi



Şekil 4.4. 2032 yılına kadar teknolojilerin kullanım yüzdesi (Anonim, 2017b'den uyarlanmıştır).

#### 4.1. Afganistan'daki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Afganistan çok önemli rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu ülkedeki rüzgar enerji potansiyeli, ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (UYEL) tarafından 2014 yılında analiz edilmiştir (Anonim, 2019b). Bu çalışmalarda Afganistan, toplam 652.864 km<sup>2</sup> sahip olduğu alandan 31.600 km<sup>2</sup> (%4,84) alanı ile büyük ölçekli ve oldukça verimli rüzgar santrallerinden yararlanılabileceği ifade edilmektedir. Bu alanın potansiyelinin toplam 158.000 MW'lık rüzgar enerjisi (5 MW/km<sup>2</sup>) için yeterli olduğu tahmin edilmiştir (Anonim 2019a; Anonim, 2019b). Ancak Afganistan'ın Enerji ve Su Bakanlığı'na göre, bu ülke zayıf altyapı nedeniyle sadece 66.726 MW'lık (%42,23) rüzgar enerjisi uygulanabilir kurulum kapasitesine sahiptir (Elliott, 2016; Ludin ve ark., 2017a). Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı sonuçlarına göre, ülkedeki uygulanabilir rüzgar potansiyeli çoğunlukla aşağıdaki bölgelerde bulunmaktadır (Elliott, 2016; Fahmi ve Upham, 2017; Ludin ve ark, 2017a):

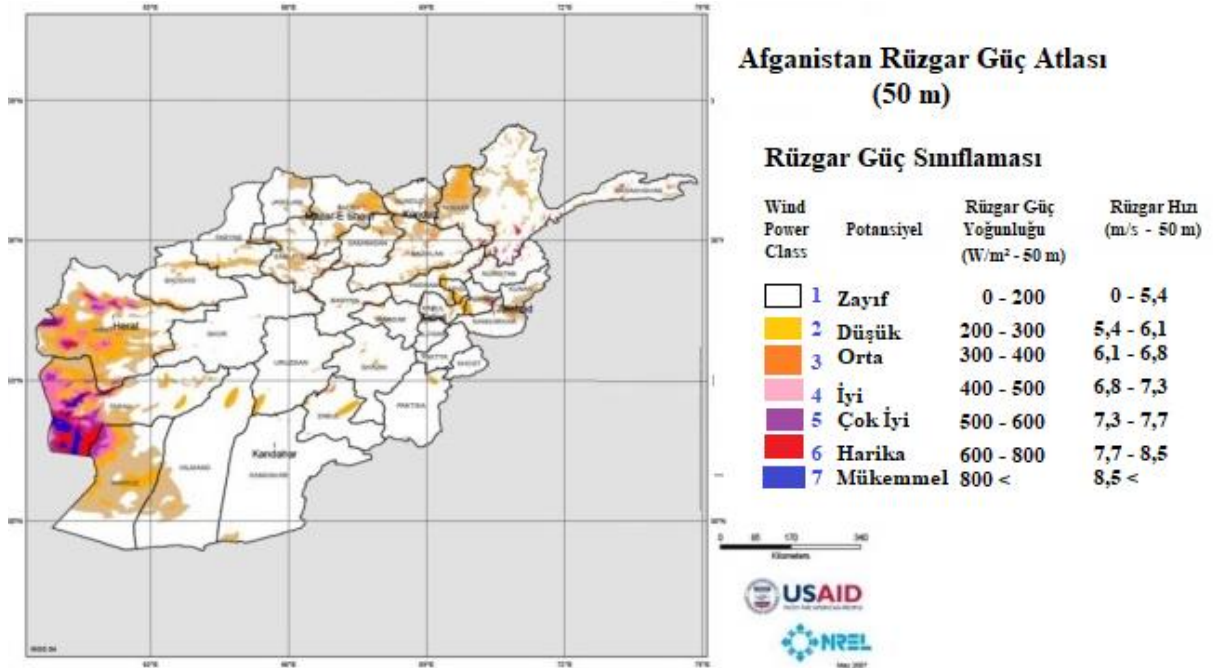
- Batı bölgelerinde; Herat, Farah ve Nimroz
- Kuzey doğu bölgelerinde; Takhar ve Balkh
- Doğu bölgelerinde koridor rüzgar alanları; Tircari, Sarobi ve Jabalsar
- Ülkenin orta/güney kısımlarında; Gadamsar, Golestan, Gorzanak Qalat and Walakhor
- Ülkenin kuzey ve doğusunda; genellikle sırt tepelerinde ve yüksek dağ zirvelerinde bulunmaktadır.

Çizelge 4.4 iyi ile mükemmel (sınıf 4+) arasındaki güç yoğunluklarını 400-600 W/m<sup>2</sup> ve hızını 6,8-7,7 m/s olduğunu göstermektedir ve bu değerlerin uygulamalar için uygun olduğu vurgulanmakla birlikte Afganistan'daki arazilerin yaklaşık % 12'sinin sınıf 3 veya daha iyi bir rüzgar kaynağına sahip olduğu da belirtilmektedir (Elliott 2016). Afganistan'da modern anlamda herhangi bir şebeke ölçekli rüzgar sistemine sahip olunmamasına rağmen, 2015 yılına kadar toplam 230 kW'lık kapasitede rüzgar türbin santralleri kurulabilmiştir. Elliott

(2016) tarafından yapılan çalışmada 2008 yılına kadar 10 adet rüzgar türbini ile toplam 100 kW'lık bir kapasiteye sahip olan rüzgar çiftliği Pençşir illinde devreye alınacağı da belirtilmektedir. Yenilenebilir Enerji Şubesine göre (Anonim, 2017b); 1,7 MW'lık kapasite güneşten ve 300 kW'lık rüzgardan olmak üzere toplam 2 MW hibrit santrallerin Afganistan'ın Herat ilinde 2017 yılında yapım aşamasında olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmalarda da vurgulandığı gibi, birkaç yıl içinde yenilenebilir enerji kaynaklarından 100 MW kapasitede enerji üretilmesi öngörülmektedir. Ancak, bu kapasitenin 14 MW'ı Herat ilinde rüzgar enerjisinden üretileceği ve 36 milyon ABD doları maliyeti olacağı tahmin edilmektedir (Anonim, 2016). Afganistan'ın Yenilenebilir Enerji Yol Haritasına göre, 2032 yılına kadar rüzgar enerjisinden 600 MW'lık bir elektrik kapasitesi üretileceği öngörülmektedir (Anonim, 2017b). Şekil 4.5'te Afganistan'ın rüzgar enerjisi atlası görülmektedir (Nasrati, 2015).

Çizelge 4.4. Afganistan'ın 50 m yükseklikteki rüzgar enerji potansiyeli (Nasrati, 2015; Elliott, 2016'den uyarlanmıştır)

Rüzgar Sınıfı	Rüzgar Gücü (W/m <sup>2</sup> - 50 m)	Rüzgar Hızı (m/s 50 m)	Toplam Alan (km <sup>2</sup> )	Rüzgarlı Bölge (%)	Toplam Potansiyel (W)	%
1 Zayıf	0-200	0-5,4				
2 Düşük	200-300	5,4-6,1				
3 Orta	300-400	6,1-6,8				
<b>4 İyi</b>	<b>400-500</b>	<b>6,8-7,3</b>	<b>15.193</b>	<b>2.40</b>	<b>75.970</b>	<b>48,07</b>
<b>5 Çok iyi</b>	<b>500-600</b>	<b>7,3-7,7</b>	<b>6.633</b>	<b>1.00</b>	<b>33.160</b>	<b>20,98</b>
6 Harika	600-800	7,7-8,5	6.615	1.00	33.100	20,95
7 Mükemmel	800<	8,5<	3.169	0.50	15.800	10,00
Toplam			31.611	4.90	158.030	100,00



Şekil 4.5. Afganistan'ın 50 m'deki rüzgar potansiyelini veren rüzgar enerji atlası (Nasrati, 2015; Elliott, 2016'den uyarlanmıştır)

#### 4.2. Afganistan'daki Hidrolik Enerji Potansiyeli

Afganistan genel olarak, dağlık arazilere ve geniş nehir sistemlerine sahiptir. Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı raporlarına göre, ülkede 23.000 MW'tan daha fazla hidroelektrik enerji potansiyeli mevcuttur (Anonim 2018b). Sherzai (2017) tarafından yapılan çalışmada; mevcut potansiyelin yaklaşık 20.000 MW'lık (%87) kısmının ülkenin kuzey ve doğusunda bulunan Amu, Panj ve Kokcha gibi çok büyük nehirlerde ve 1.900 MW üzerindeki kısmının (%8,3) ise Kabil bölgesinin doğu kısmında yer aldığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada ülkenin Kuzeyinde Balkh ve Jowzijan gibi illerde yaklaşık 800 MW'lık hidroelektrik enerji potansiyeli (%3,5) bulunduğu vurgulanmıştır. Potansiyelin %2,2'lik kısmına karşılık gelen yaklaşık 500 MW'lık kısmı ise ülkenin batı orta kısmında yer almaktadır (Anonymous, 2018b; Sherzai, 2017). Afganistan'ın toplam dokuz ilinde, 600 MW üzerinde elektrik potansiyeli yaklaşık 125 Mikro/Mini Hidroelektrik Santral (MHS) olarak öne çıkmaktadır (Musleh, 2016). Çizelge 4.5'ten de görüleceği gibi, 2016 yılında Salma barajından devreye alınan 42 MW'lık kapasite de dahil olmak üzere, yaklaşık 296 MW ilave Büyük Hidroelektrik Santral'den ülke çapında elektrik üretilmektedir (Anonim, 2018b). Çizelge 4.6'da Afganistan'daki toplam hidroelektrik potansiyelinin bölgelere göre dağılımı göstermektedir (Ludin ve ark., 2017a). Bu dağılıma göre, Afganistan'daki mevcut kurulan hidroelektrik santralleri genel olarak 300 kW ile 100 MW'lık arası bir kapasiteye sahiptir. Halbuki, ülkedeki mevcut kurulan mikro santrallerin kapasitenin 100 kW'tan daha az olduğu belirtilmektedir (Ershad, 2017). Enerji ve Su Bakanlığı'nın verilerine göre, ülkedeki hidrolik kaynaklarından toplam 296 MW'lık civarında elektrik kapasitesi bulunmaktadır. Bu değerlerin çoğu Kabil bölgesinde; Naghlu 100 MW'lık, Mahiper 66 MW'lık, Surobi 22 MW'lık kapasiteye ve Herat ilinde Selma 42 MW'lık güce sahip olmak üzere, Çizelge 4.5'te gösterildiği gibi ülkenin farklı bölgelerinde enerji üretimine katkı sağlamaktadır.

Birleşmiş Milletler Kalkınma Program'ına (BMKP) göre, ülke çapında son 10 yıl içinde yaklaşık 240 adet mikro hidroelektrik santralleri inşa edilmiştir (Anonim, 2017b). Afganistan'ın Kırsal Rehabilitasyon ve Kalkınma Bakanlığı (KRKB) ve Enerji ve Su Bakanlığı tarafından gelen raporlara (Anonim, 2017b) göre, yaklaşık 30 MW'lık kurulan ve 6 MW'tan daha fazlası yapım aşamasında olmak üzere ülke çapında mikro/mini hidroelektrik santrallerinden elektrik üretilmektedir (Anonim, 2017c).



Çizelge 4.5. Afganistan'daki mevcut kurulan hidroelektrik santrallerin bölgelere dağılımı (Anonim, 2018b; Ershad, 2017'den uyarlanmıştır)

No	Adı	Bölge	Kapasite (MW)	%	İşletmeye alma / rehabilitasyon tarihi
1	Naghlu	Kabul	100	33,82	1967/2013
2	Mahiper	Kabul	66	22,32	1957/
3	Surobi	Kabul	22	7,44	1967/
4	Darunta	Kabul	11,5	3,89	1964/2012
5	Kajaki (I & III)	Helmand	33	11,16	1975/
6	Herat	Selma dam	42	14,20	/2016
7	Polikhumri	Polikhumri II dam	8,79	2,97	(1962)/(2013-2015)
8	Polikhumri	Polikhumri dam	4,12	1,39	(1950)/(2013-2015)
9	Jabul Ser.	Salang	2,5	0,85	1920/
10	Grishk	Helmand	2,4	0,81	1957/
11	Charikar	Ghorband	2,4	0,81	1973/
12	Assassab.	Kunar	0,7	0,24	1983/
13	Ghorband	Ghorband	0,3	0,10	1975/
Toplam			295,71	100,00	

Çizelge 4.6. Afganistan'daki hidrolik potansiyelin bölgelere göre dağılım potansiyeli (Ludin ve ark, 2017a'den uyarlanmıştır)

No	Bölge	Büyük Nehirler	Kapasite (MW)	Kapasite (%)
1	Kabil	Kabul	408	1,75
2		Panjshir	400	1,72
3		Laghman	44	0,19
4		Kunar	1089	4,67
5	Panj-Amu	Panj	9050	38,82
6		Amu	9110	39,08
7		Kokcha	1927	8,27
8		Kunduz	50	0,21
9	Kuzey	Jawzjan	460	1,97
10		Balkh	300	1,29
11	Harirod-Murghab	Harirod	102	0,44
12		Murghab	100	0,43
13	Helmand	Helmand	190	0,82
14		farah Rod	80	0,34
Toplam			23.310	100,00

Bu çalışmalarda; önümüzdeki birkaç yıl içinde, toplam 100 MW'lık yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretilmesi çalışmalarının devam etmekte olduğu belirtilmiştir. Ayrıca; 7,5 MW civarında mikro/mini hidroelektrik santrallerden de oldukça ekonomik elektrik üretilbileceği ifade edilmekte olup bu tür projelerin 36 milyon dolar maliyeti olacağı tahmin edilmektedir (Anonim, 2016). Afganistan'daki su kaynaklarından, 2032 yılına kadar büyük hidroelektrik santrallerden 2.000 MW'lık, hibrit şeklinde mikro hidroelektrik + küçük hidroelektrik santrallerinden 420 MW ve dizel + rüzgar/güneş/mikro hidrolik santrallerinden 300 MW'lık ek projelerde bulunmaktadır (Anonim, 2017b).

### 4.3. Afganistan'daki Biyokütle Potansiyeli

Afganistan'da biyokütle kaynağı olarak kullanılan hayvan gübreleri, mahsul kalıntıları ve belediye katı atıkları gibi kaynaklar çok yüksek seviyede bulunmaktadır. Afganistan'daki mahsul kalıntıları, hayvansal atıklar çoğunlukla kırsal alanlarda toplanmaktadır. Bu kaynaklar doğrudan evlerde ısıtma ve pişirme için kullanılmaktadır. Öte yandan, belediye atıkları çoğunlukla kentsel alanlarda toplanmaktadır (Anonim, 2013). Enerji ve Su Bakanlığı'nın raporuna göre, ülke 4.000 MW biyokütle enerji potansiyeline sahiptir. Bu çalışmaya göre, yıllık 39.187.000 ton hayvan gübresi, 6.490.000 ton mahsul kalıntıları ve 3.720.000 ton belediye katı atıkları oluşmaktadır. Bu değerlerin sırasıyla 7.367.000 MWh, 27.083.000 MWh ve 819.000 MWh elektrik üretmeye eşdeğer olduğu belirtilmektedir (Musleh, 2016). Ershad (2017) tarafından yapılan çalışmada, Afganistan'da biyokütlenin sadece kırsal alanlarda yaşayan nüfus için değil aynı zamanda kentsel alanlar için de yakıt kaynağı olarak çok önemli rol oynadığı ifade edilmektedir. Afgan halkı genel olarak enerji ihtiyacının %85'ten fazlasını geleneksel biyokütle ile karşılamaktadır ve bunlar çoğunlukla odun ve gübreden oluşmaktadır. Ülkedeki diğer biyokütle kaynakları; insanların/hayvanların ve belediyelerin atıklarından oluşmaktadır (Musleh, 2016). Afganistan nüfusunun yaklaşık % 80'i katı biyokütle kaynaklarını yemek pişirme amacıyla kullanırken % 97,4'ü ise ısınma amacıyla kullanmaktadır (Ershad, 2017). Çizelge 4.7'de katı yakıtların pişirme ve ısıtma amacıyla farklı yaşam alanları tarafından kullanım yüzdesini göstermektedir. Örneğin, biyogaz birincil olarak kentsel bölgelerin nüfusu tarafından yemek pişirmek için kullanılırken, odun birincil olarak ve kömür ikincil olarak kentsel bölgeler tarafından ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ancak, odun, hayvan gübresi ve çalılar çoğunlukla kırsal bölgelerde yemek pişirmek ve ısınmak için yakıt olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan, hayvan atıkları Kuchi bölgelerinde sadece yemek pişirmek için değil aynı zamanda evleri ısıtmak için en önemli yakıt olarak kullanılmaktadır (Snallen, 2004; Musleh 2016; Ershad 2017).

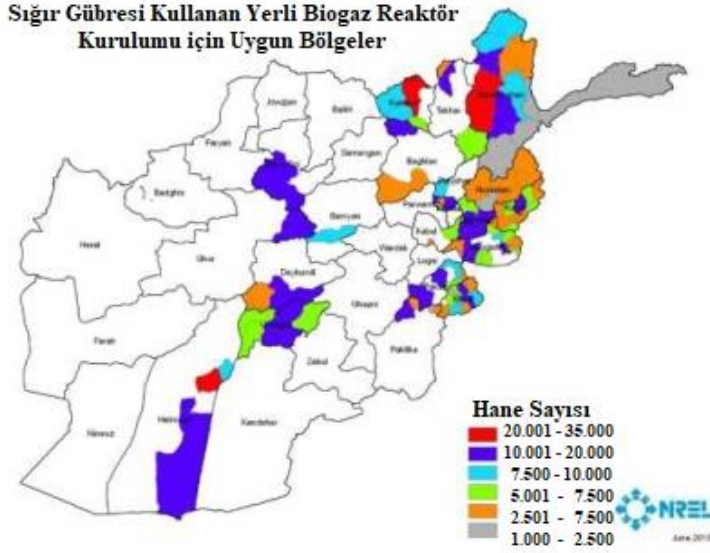
Çizelge 4.7. Afganistan'daki farklı yaşam bölgelerin nüfusunun tarafından kullanılan katı atık yüzdesi (Alamyar, 2014; Ershad, 2017'den uyarlanmıştır)

Farklı yaşam bölgeleri	Piştirme için (%)	Isıtma için (%)
Kentsal bölge	32,5	99,1
Kırsal bölge	93,4	92,3
Göçebe bölge	99,8	100
Ulusal olarak	79,9	97,4

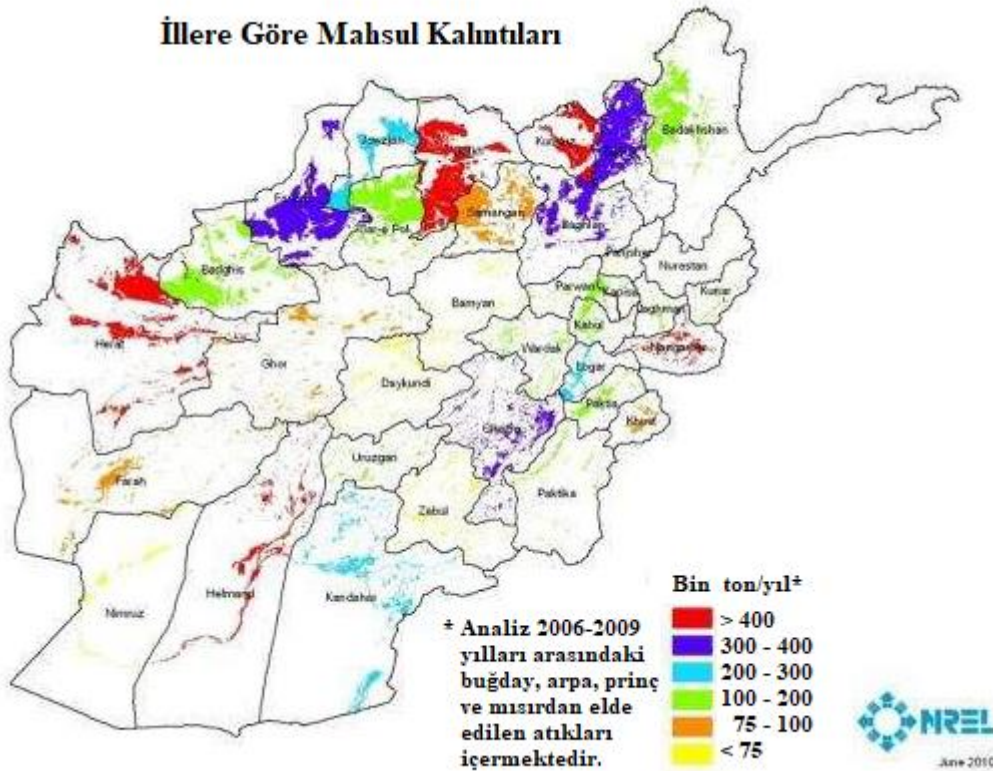
Son on yıl içinde, Afganistan'da Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından 44 biyogaz tesisleri kurulduğu ve bu tesislerin çok başarılı şekilde çalıştığı ifade edilmektedir (Anonim, 2017c). Ülke genelinde 350 küçük biyogaz sistemi inşa edildiği tahmin edilmektedir (Musleh, 2016). Şekil 4.6'da Afganistan'daki sığır gübresi kullanarak yerli biyogaz tesisi kurulumu için uygun bölgeler, Şekil 4.7'de mahsul kalıntıları veya bitki atıkları



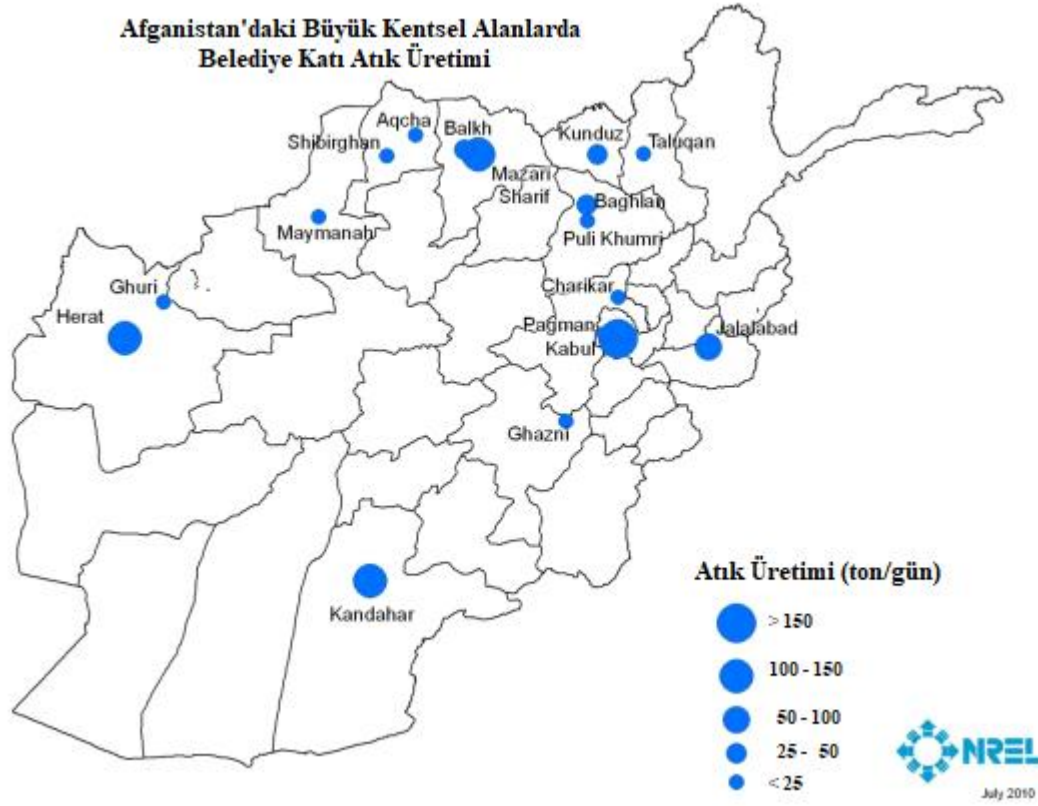
ve Şekil 4.8’de belediye katı atıklarının olduğu bölgeleri göstermektedir (Milbrandt ve Overend, 2011). Ayrıca, Afganistan’da 2032 yılına kadar toplam 88 MW’lık biyokütle kaynaklarından elektrik üretileceği öngörülmektedir. Bunların 30 MW’ı tarımsal atıklardan, 56 MW’ı belediye katı atıklarından ve diğeri de organik ve tarımsal atıklardan üretilmesi olarak bildirilmektedir (Anonim, 2017b).



Şekil 4.6. Afganistan’daki hayvansal atıkların üretim bölgeleri (Milbrandt ve Overend, 2011’den uyarlanmıştır)



Şekil 4.7. Afganistan'daki mahsul kalıntılarının üretim bölgeleri (Milbrandt ve Overend, 2011'den uyarlanmıştır)

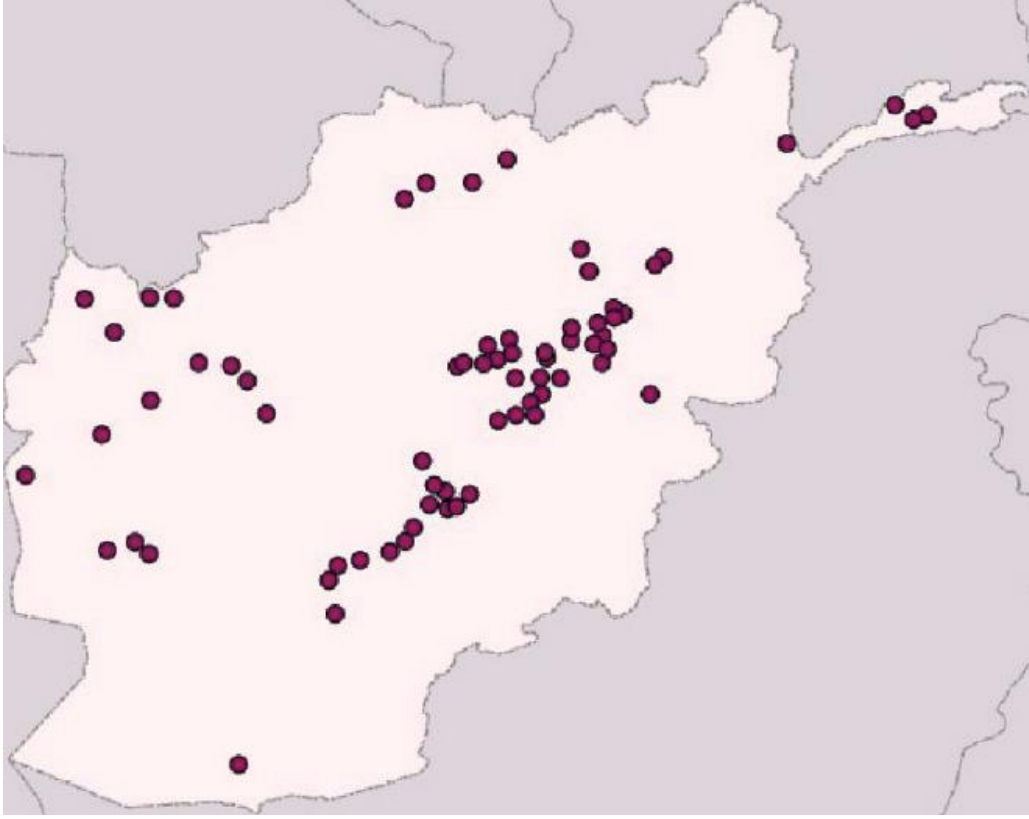


Şekil 4.8. Afganistan'ın illerine göre katı atık üretimi (Milbrandt ve Overend., 2011'den uyarlanmıştır)

#### 4.4. Afganistan'daki Jeotermal Enerji Potansiyeli

Afganistan'da enerji üretilebilecek çok yüksek potansiyelde jeotermal kaynağın var olduğu belirtilmektedir (Anonim, 2019a; Anonim, 2019g; Anonim, 2019h). Diğer bir ifadeyle, ülkede elektrik üretmek için jeotermal kaynaklardan yeterli miktarda su veya buhar sağlanabilmektedir (Ludin ve ark., 2017a). Afganistan'da çok eskiden bu yana jeotermal kaynakları çoğunlukla tedavi edici banyo amacı ile kullanılmıştır ve hala önemli oranda kullanılmaktadır. Ludin ve ark. (2017a) tarafından, Hindu Kush bölgesi aktif jeotermal kaynak sistemlerinin ana eksen bölgesine sahip olduğu ve bu sistemlerin Herat ilinde aktif olarak çalıştığı belirtilmektedir. Ayrıca bu çalışmalarda sistemin, ülkenin batı kısmından (Herat) kuzeydoğudaki (Pamir-Afganistan) Wakhan koridoruna kadar uzandığı ve Herat – Panjshir'in (doğu'dan batı'ya) çarpıcı coğrafi süturu'nun manto içine 700 km'ye kadar derinlikte oturmuş bir indirme-kayma fayı olduğu da ifade edilmektedir. Bazı çalışmalarda benzer bir yapının, Chaman - Moqor (kuzeydoğu – güneybatı) kavis fay sistemi ve diğer ikincil faylar ile ülke genelinde bölgelerin çoğunluğunu kapsadığı da vurgulanmaktadır. (Ludin ve ark., 2017a; Anonim, 2018b; Anonim, 2018c). Saba ve ark. (2004)'na göre, bir jeotermal tesisin kurulması için en az 400 m<sup>2</sup> alan gerekmektedir ve böyle bir tesisten 30 yıldan daha fazla elektrik üretilebilmektedir (Ludin ve ark., 2017a). Ülke çapında şu ana kadar jeotermal enerji ile ilgili herhangi bir modern proje yapılmamıştır. Ancak; Ludin ve ark. (2017a) tarafından 70 sahada jeotermal potansiyel kaynak olduğu ve bu sahaların yaklaşık 5-20 MW arasında kapasiteye sahip olduğu belirtilmiştir. Afganistan'daki mevcut jeotermal

potansiyeli Şekil 4.9'da gösterilmiştir (Ludin ve ark, 2017a; Anonim, 2018b). 2032 yılına kadar 55 MW elektriğin jeotermal kaynaklardan üretilmesi öngörülmektedir (Anonim, 2017b).



Şekil 4.9. Afganistan'daki jeotermal potansiyel bölgeleri (Ludin ve ark, 2017a; Anonim, 2018b)

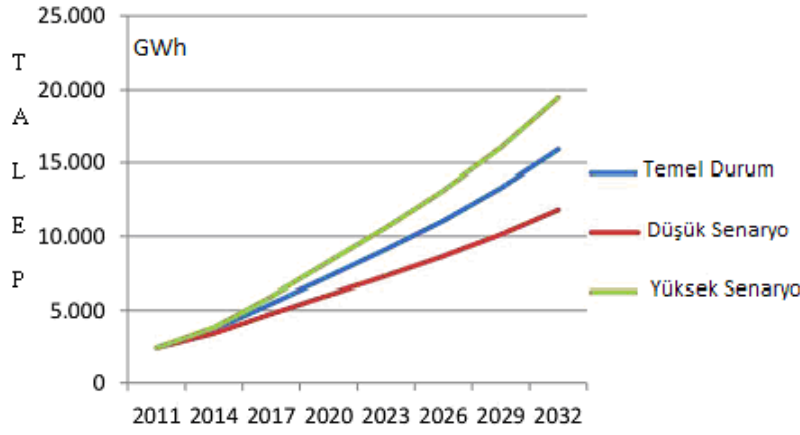
## 5. Bulgular ve Tartışma

Günümüzde Afganistan'da, çeşitli nedenlerden dolayı ulusal şebekeden elektrik sağlamak çok zordur. Bu nedenle, ülkenin enerji talepleri çoğunlukla Asya merkezli ülkelerinden ithal edilmektedir ve bu ülkelerden ithal edilen elektriğin erişimine ulaşmak kolay olmamaktadır. Ayrıca; ülkenin nüfusu çoğunlukla kırsal bölgelerde yaşamaktadır. Mevcut şebekede yaşanan teknik sıkıntılar ve alt yapı sorunları da göz önüne alındığında Afganistan nüfusuna elektrik sağlanması yüksek maliyetli olmaktadır. Bu nedenle Afganistan hükümeti bu sorunların üstesinden gelebilmek için ülkede potansiyeli yüksek güneş, rüzgar, jeotermal, biyo-kütle ve su kaynaklı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi hızlandırmaktadır. Ershad (2017) tarafından Afganistan'da, 2013 yılında kişi başına brüt elektrik tüketimi 178 kWh olarak belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda (Anonim, 2017b; Ershad 2017) bu değer 2020 yılına kadar 500 kWh'a yükselmesi ve 2032 yılına kadar da 650 kWh'a çıkacağı ön görülmektedir. 2011 yılı için ülkedeki yıllık elektrik talebi Ershad (2017) tarafından 3,531 GWh olarak belirtilmiştir. Bu değer 2032 yılına kadar 18.409 GWh civarında artması ve en yüksek yıllık elektrik talebin 742 MW'tan 3.502 MW'ta ulaşması beklenmektedir (Ershad, 2017). Ershad (2017)'ye göre, 2012 yılı Afganistan nüfusunun % 25'ten daha azının ulusal şebekeye bağlantısı var iken bu rakamın 2020 yılında %50'ye ve 2032 yılında ise %83'e yükselmesi hedeflenmektedir. Ülkenin toplam kapasitesinin 2032 yılına kadar 3.500 MW'ın üzerine çıkacağı ve bu kapasitenin çoğunlukla hidroelektrik ve güneş gibi yerli enerji kaynaklarından üretilmesinin öngörüldüğü kaynaklarda belirtilmektedir (Ludin ve ark, 2016; Ershad, 2017).

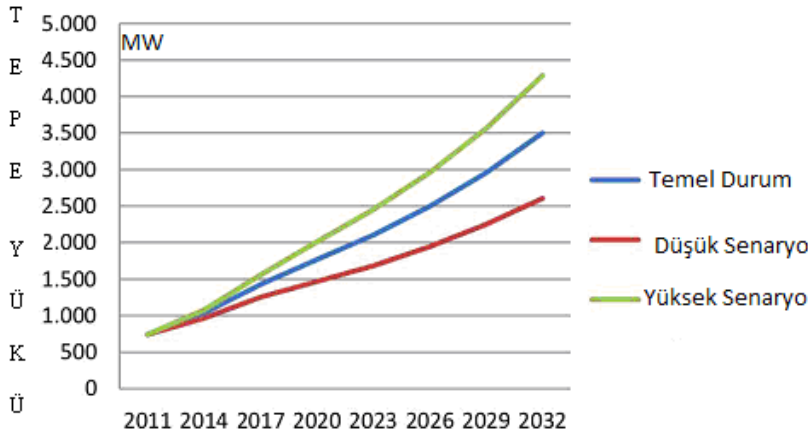
Diğer taraftan, Afganistan'da 2032 yılına kadar yenilenebilir enerji kapasitesinin yaklaşık 5.000 MW'a ulaşacağı ve üretilen elektriğin ülkenin %95'inin elektrik talebini karşılayabileceği öngörülmektedir (Ershad, 2017). Ayrıca; Afganistan halkının yaşam koşullarında ve refah seviyesinde olası iyileşmelerde dikkate alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya yönelik daha fazla projeler ve yatırımlar yapılması gerekecektir. Bu gereksinimler sonucunda şimdiden Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Yol Haritasına (YEYH 2032) göre, önümüzdeki on yıl içinde 3.000 MW'lık güneş enerjisi yatırım programının ilk etabı olan 1.500 MW güneş enerjisi projesine başlanacağı ve bu amaçla finansman desteklerin kısmen sağlandığı ifade edilmektedir (Anonim, 2017b).

Elektrik ihtiyacının büyük bir kısmını Türkmenistan, Özbekistan, Tacikistan ve İran gibi komşu ülkelerden ithal etmek zorunda olan Afganistan, ihtiyacının yarısından daha azını yerli kaynaklarından üretmektedir ve bu üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı oldukça düşüktür. Bu yerli kaynaklardan üretilen elektrik çoğunlukla hidroelektrik santrallerden sağlanmaktadır. Afganistan'da şu ana kadar yaklaşık 330 MW'lık su kaynağından elektrik üretilmektedir (Sherzai, 2017; Anonim, 2017c; Anonim, 2018b; Anonim, 2018c). 2032 yılına kadar toplam 2.720 MW civarında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapılmasına dair özel yatırımların teşvik edilmesi ve desteklenmesi projeleri üzerinde de çalışıldığı belirtilmektedir (Anonim, 2017b). Afganistan'ın Enerji ve Su Bakanlığı'ndan gelen raporlara göre, 2016 yılına kadar 13 MW kapasite fotovoltaik panellerinin kurularak güneş enerjisinden elektrik üretildiği ve 1,8 MW'lık kapasite tesisin inşa halinde olduğu ifade edilmiştir (Anonim, 2018b). Ayrıca, 12 MW güneş ile rüzgarı ve 100 MW'lık güneş ile hidrolik hibrit şeklinde inşa aşamasında olduğu ve 2032 yılına kadar 3.000 MW üzerinde güneş enerjisi tesisi kurulacağı vurgulanmaktadır (Anonim, 2017b). Bu çalışmalarda; 2015 yılına kadar yalnız 230 kW rüzgar enerjisi ve 2017 yılında 1,7 MW güneş ve rüzgar hibrit şekilde üretim yapıldığı belirtilmiştir. Bu kapasitenin 14 MW'ının Herat ilinde rüzgar enerjisinden sağlandığı ve 36 milyon ABD doları maliyeti olduğu vurgulanmıştır (Anonim, 2016). Afganistan'da elektrik enerjisine ulaşımın gerek teknik ve gerekse ekonomik zorlukları göz önüne alındığında ülkede önemli bir potansiyele sahip olan ve biyokütle kaynakları olarak değerlendirilebilecek hayvan gübreleri, mahsul kalıntıları ve evsel katı atıklar gibi atıkların daha modern ve verimli tesisler kurularak ekonomiye kazandırılması önem taşımaktadır. Alamyar (2014) tarafından belirtildiğine göre; bu kaynaklar mevcut durumda ülke çapında yaklaşık %80 oranında pişirmek amacıyla ve %95 üzerinde ise ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla ülke çapında 350 küçük biyogaz üretim sistemi olduğu Musleh (2016)'nin yaptığı çalışmalardan bilinmektedir. Enerji gereksinimini daha iyi sağlayabilmek ve maliyeti düşürebilmek amacıyla; 2032 yılına kadar 88 MW'lık yeni ve daha modern bir biyokütle tesisin ülke genelinde kurulması projesi Afganistan için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmalar daha modern ve temiz yaşam alanlarının oluşturulmasına önemli katkılarda sağlayacaktır. Öte yandan bazı çalışmalarda (Ludin ve ark., 2017a; Anonim, 2018b; Anonim, 2018c); üretim yapılabilir yaklaşık 70 jeotermal kaynağın olduğu tespit edilen ülkede, 5-20 MW arası kapasiteye sahip jeotermal tesislerden yüksek verimde elektrik üretimi olacağı vurgulanmaktadır. Bu sahalardan 2032 yılına kadar en az 55 MW'lık üretim yapılabileceği öngörülmektedir (Anonim, 2017b).

Afganistan'ın 2011'den 2032'ye kadar elektrik talebine yönelik yapılan projeksiyon Şekil 5.1'de ve Şekil 5.2'de gösterilmektedir (Ludin ve ark., 2017a). Bu projeksiyonlar; Afganistan'da enerji yatırımlarına ve özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla önem verilmesini çarpıcı bir şekilde göstermektedir.



Şekil 5.1. 2032 yılına kadar Afganistan'daki toplam elektrik talebi (Ludin ve ark, 2017a'den uyarlanmıştır)



Şekil 5.2. 2032 yılına kadar Afganistan'daki en yüksek elektrik yükü (Ludin ve ark, 2017a'den uyarlanmıştır)

## 6. Sonuç

Afganistan, bulunduğu coğrafi ve jeopolitik konum itibarı ile özellikle güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle ve jeotermal gibi çok önemli yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir. Ayrıca bu ülkede yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi için yeterli ve uygun araziler de bulunmaktadır. Afganistan'daki nüfusun büyük çoğunluğu elektrik şebekesinden özellikle ulusal şebekelerden elektrik erişim konusunda mahrum kalmaktadır. Halbuki, yapılan çeşitli çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda, Afgan nüfusu çoğunlukla kırsal bölgelerde yaşayıp ve bu nüfusun %13'ten daha azı ulusal elektrik şebekelerinden faydalanmaktadır. Bu alanlarda nüfusun % 80'inden fazlası enerji ihtiyaçlarını odun ve gübre gibi biyokütle atıklarından karşılamaktadır. Ülke çapında nüfusun yaklaşık % 36'sı yoksulluk sınırı altında olup, bunların çoğu kırsal bölgelerde yaşamaktadır. Afganistan gibi bir ülkede yenilenebilir enerjinin kullanılması sadece elektrik sağlanması konusunda katkıda bulunmaz, aynı zamanda ekonominin ve yaşam koşullarının da iyileştirilmesi ve geliştirilmesi konusunda da özellikle kırsal toplum için büyük bir fırsat olacaktır. Ayrıca; bu kaynaklardan elektrik üretimi, iş alanlarının yaratılması ve iş istihdamı konularında büyük katkılar sağlayacaktır. Böylece, binlerce kişi çeşitli işlerde istihdam edilip, işsizlik ülkede kısmen de olsa azalabilecek ve refah seviyesini yükseltebilecektir. İşsizliğin azalması ekonomik rahatlığa ulaşmasını ve

dolayısı ile refah seviyesinin yükselmesine, böylece savaştan uzak barış dolu müreffeh bir hayata geçilmesini de sağlayabilecektir. Öte yandan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ülkedeki çevre sorunlarının azaltılmasına da yardımcı olabilecektir. Son olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretilmesi ülkenin dış enerji bağımlılığını önemli oranda azaltacaktır. Buradan elde edilecek avantajlar ve gelirler ülkenin kalkınmasına daha fazla katkılar sağlayabilecektir. Afganistan coğrafi olarak çok stratejik konumundadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilecek bu yatırım ve başarılar ülkede sanayiye ve ekonomiyi daha da canlandıracak ve ülke ihracat yapabilir hale gelebilecektir. Pakistan ve Hindistan gibi komşu ülkelere çok büyük bir elektrik kapasitesi ihraç etme potansiyeline sahip iken ve bu ülkelerle iyi bir ticaret yapabilecektir. Tüm bu gelişmeler sonucunda; ülkede yoksulluk azaltılıp, halkın yaşam tarzı ve koşulları iyileşebilecek, böylece ülkenin gelecekteki güvenliğine ve istikrarına katkılar sağlanabilecektir.

### **Teşekkür**

Yazarlar, Afganistan'daki yenilenebilir enerji kaynakların potansiyeli, önemi ve değeri üzerinde çalışmalar yapan araştırmacılara ve Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı'na teşekkür eder.



**Kaynaklar**

Ahmadzai S., McKinna A., 2018. Afganistan electrical energy and trans-boundary water systems analysis: Challenges and opportunities, *Energy Repots*, 4: 435-469.

Alamyar K.M., 2014. Renewable Energy for Sustainable Development Economic, Policy Directorate Ministry of Economy. 15 Mart 2019, [https://ecomod.net/system/files/ECO\\_paper.pdf](https://ecomod.net/system/files/ECO_paper.pdf)  
<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-92288-1>

Anonim, 2013. Afghanistan Rural Renewable Energy Policy, Ministry of Energy and Water, Ministry of Rural Rehabilitation and Development, Afghanistan.  
15 Mart 2019, <http://www.red-mew.gov.af/>

Anonim, 2014a. Renewable Energy Development, Capacity Development Technical Assistance (CDTA), Afghanistan.  
15 Mart 2019, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-60621-7.pdf>

Anonim, 2014b. 15 Mart 2019,  
<https://wadsam.com/afghan-business-news/promoting-renewable-energy-in-afghanistan/>

Anonim, 2015. Work for Human Development, UNDP Human Development Report 2015.  
15 Mart 2019,  
[http://hdr.undp.org/sites/default/files/2015\\_human\\_development\\_report.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/2015_human_development_report.pdf)

Anonim, 2016. Afghanistan Energy Sector. 15 Mart 2019,  
[https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/7th\\_IFESD\\_Baku\\_Oct.2016/ESCAP\\_Elec\\_CIS/1\\_W.Aria\\_AVG.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/7th_IFESD_Baku_Oct.2016/ESCAP_Elec_CIS/1_W.Aria_AVG.pdf) (and see, CSO, Economy Statistics: Mining and Energy. Retrieved from Central Statistics Organization (CSO): Afghanistan Provincial Profile, April 2015, <http://cso.gov.af/en>

Anonim, 2017a. Afganistan Coğrafyası. 27 Mart 2019.

[https://ipfs.io/ipfs/QmT5NvUtoM5nWFfrQdVrFtvGfKFmG7AHE8P34isapyhCxX/wiki/Afganistan\\_co%C4%9Frafyas%C4%B1.html](https://ipfs.io/ipfs/QmT5NvUtoM5nWFfrQdVrFtvGfKFmG7AHE8P34isapyhCxX/wiki/Afganistan_co%C4%9Frafyas%C4%B1.html)

Anonim, 2017b. Afganistan Ülke Raporu. T.C. Kabil Büyükelçiliği Ticaret Müşavirliği 2017. 27 Mart 2019.

<https://www.kutso.org.tr/wp-content/uploads/2017/06/Afganistan.pdf>

Anonim, 2017c. Institutional Development for Energy in Afghanistan (IDEA) programme Enabling Photovoltaic (PV) Afghanistan, On behalf of the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ). 15 Mart 2019,

[https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user\\_upload/report\\_enabling\\_pv\\_afg.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/report_enabling_pv_afg.pdf)

Anonim, 2017d. 15 Mart 2019,

<http://www.af.undp.org/content/afghanistan/en/home/presscenter/IntheNews/renewable-energy-in-afghanistan-atn.html>

Anonim, 2017e. Ülke Profilleri: Afganistan. 27 Mart 2019.

<https://www.aa.com.tr/tr/ulke-profilleri/afganistan/901494>

Anonim, 2018a. Afghanistan-Striving for 100% Renewable Energy: 15 Mart 2019

[http://www.go100percent.org/cms/index.php?id=92&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=435&cHash=e8141c9b83d0b2f847fc5168898d5e97](http://www.go100percent.org/cms/index.php?id=92&tx_ttnews%5Btt_news%5D=435&cHash=e8141c9b83d0b2f847fc5168898d5e97)

Anonim, 2018b. Report: Afghanistan Renewable Energy Development Issues and Options: 15 Mart 2019, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30270>

Anonim, 2018c. Human Development Index and its components, United Nations

Development Programme (UNDP), Human Development Reports. Table 1. 15 Mart 2019, <http://hdr.undp.org/en/composite/HDI>

Anonim, 2019a. Coğrafya Dünyası. 27 Mart 2019.

<http://www.cografya.gen.tr/siyasi/devletler/afganistan.htm>



Anonim, 2019b. The World Bank in Afganistan. 28 Mart 2019.

<http://www.worldbank.org/en/country/afghanistan>

Anonim, 2019c. Ministry of Mines and Petroleum. 28 Mart 2019. <http://mom.gov.af/en>

Anonim, 2019d. The World Bank, Data, Afhganistan. 28 Mart 2019.

<https://data.worldbank.org/country/afghanistan>

Anonim, 2019e. The World Bank: Projects & Operations. 28 Mart 2019.

[http://projects.worldbank.org/search?lang=en&searchTerm=&countrycode\\_exact=AF](http://projects.worldbank.org/search?lang=en&searchTerm=&countrycode_exact=AF)

Anonim, 2019f. Dünya Nüfusu: Afganistan Nüfusu. 29 Mart 2019.

<https://www.nufusu.com/ulke/afghanistan-nufusu>

Anonim, 2019g. AEIC, Afghan Energy Information Center, Geothermal Potential in the Structural Domain of the HinduKush in Afghanistan. 15 Mart 2019,

[http://aeic.af/en/energy\\_source/3](http://aeic.af/en/energy_source/3)

Anonim, 2019h. Afghanistan Resource Maps. NREL, the US National Renewable Energy Laboratory. 15 Mart 2019, [https://www.nrel.gov/international/ra\\_afghanistan.html](https://www.nrel.gov/international/ra_afghanistan.html)

Ashraf A.R., 2009. Energy Sector Afghanistan: Importance of Renewable Energy for Afghanistan, Renewabl Energy for Sustainable Development; International Conference in Dushanba (Tajikistan): 15 mart 2019,

[https://carnegieendowment.org/files/Presentation\\_-%20Ashraf.pdf](https://carnegieendowment.org/files/Presentation_-%20Ashraf.pdf)

Elliott D., 2016. South Asia Regional Initiative for Energy Cooperation and Development (SARI-Energy), Wind Resource Assessment and Mapping for Afghanistan and Pakistan. 15 Mart 2019. [https://www.nrel.gov/international/pdfs/afg\\_pak\\_wind\\_june07.pdf](https://www.nrel.gov/international/pdfs/afg_pak_wind_june07.pdf) and [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNADO338.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADO338.pdf)

Ershad A.M., 2017. Institutional and Policy Assessment of Renewable Energy Sector in Afghanistan 15 Mart 2019.

<http://downloads.hindawi.com/journals/jre/2017/5723152.pdf>

Fahmi A., Upham, P., 2017. The renewable energy sector in Afganistan: Policy and potential, Wiley Interdisciplinary Rewievs: Energy and Environment, WIREs, Vol. 7, Issue 2, pp. 1-9

Ludin G.A., Amin M.A., Aminzay A., Senjyu T., 2017a. Theoretical Potential and Utilization of Renewable Energy in Afghanistan, AIMS Energy, Vol. 5, pp1-19. 15 Mart 2019, <http://www.aimspress.com/article/10.3934/energy.2017.1.1>. And ADB (2013) Power sector master plan, Technical Assistance Consultants Report. Islamic Republic of Afghanistan: Project Number 43497. 04 Nisan 2019.

<https://www.adb.org/sites/default/files/project-document/76570/43497-012-afg-tacr.pdf>

Ludin G.A., Matayoshi H., Danish M.S.S., Yona A., Senjyu T., 2017b. Hybrid PV/Wind/Diesel Based Distributed Generation for an Off-Grid Rural Village in Afghanistan. Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 11, pp. 85-94.

Milbrandt A., Overend R., 2011. Assessment of Biomass Resources in Afghanistan, National Reneable Energy Laboratory (NREL). 15 Mart 2019.

<https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49358.pdf>

Musleh A.J., 2016. Renewable Energy Department, SAARC Work shop on Application of on-grid Biogas Technology, Ministry of Energy and Water, Kabul Afghanistan.

15 Mart 2019. <http://www.saarcenergy.org/wp-content/uploads/2016/07/>

[Afghanistan%20presentation.pdf](http://www.saarcenergy.org/wp-content/uploads/2016/07/Afghanistan%20presentation.pdf)

Nasrati A.A., 2015. Sustainable Energy for All Afghanistan, SE4ALL Consultation Workshop. 15 Mart 2019.

[https://d2oc0ihd6a5bt.cloudfront.net/wp-content/uploads/sites/837/2015/06/Ahmad-Abdullah-Nasrati\\_Afghanistan.pdf](https://d2oc0ihd6a5bt.cloudfront.net/wp-content/uploads/sites/837/2015/06/Ahmad-Abdullah-Nasrati_Afghanistan.pdf)

Saba D.S., Najaf M.E., Musazai A.M., ve ark., 2004. Geothermal Energy in Afghanistan, Prospects and Potential. New York, USA. & Afghanistan Center for Policy and Development Studies, New York University Kabul, Afghanistan

Samadi A.R., 2011. Energy Consumption and Available Energy Resources in Afghanistan, Da Afghanistan Breshna Sherkat.

19 Nisan 2019. [https://www.usea.org/sites/default/files/event-file/522/Afghan\\_Power\\_Sector\\_Briefing\\_June\\_2011.pdf](https://www.usea.org/sites/default/files/event-file/522/Afghan_Power_Sector_Briefing_June_2011.pdf)

Sherzai A., 2017. Energy Experts of the Future: Afganistan. UNDP. 15 Mart 2019,

<http://www.af.undp.org/content/afghanistan/en/home/ourwork/environmentandenergy/successstories/energy-experts-of-the-future.html>

Snallen W.B., Schravel A., 2004. Working with farmers, 15 Mart 2019,

<http://www.newwatereducation.nl/file.php/1/HowToTeach/AlterraRapport1096-1.pdf>