



# YALVAÇ AKADEMİ DERGİSİ

(Journal of Yalvaç Academy)

Yıl: 2024

Cilt: 9

Sayı: 1

## Sahibi

Prof. Dr. Yılmaz ÇATAL  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

## Sorumlu Müdür

Birgül HUBAN  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

## Baş Editör

Remzi GÜRFİDAN  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

## Editörler

Ömer ERDOĞAN  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

İsmail İlke KÖSE  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

## Editör Kurulu Sekreterleri

Arda ATMACA  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

## Yazışma Adresi

Yalvaç Akademi Dergisi  
Sekretarya Ofisi  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu  
Yalvaç / Isparta / Türkiye

## İletişim

Tel: +9 0246 441 43 34- 0246 441 70 16

E-mail: yalvacakademi@gmail.com

# YALVAÇ AKADEMİ DERGİSİ

(Journal of Yalvaç Academy)

Year: 2024

Volume: 9

Issue: 1

## Editör Kurulu (Editorial Board)

Prof. Dr. Kamaruzzaman SEMAN Sains Islam Malaysia University, MALAYSIAN

Prof. Dr. Tahir TİLKİ Süleyman Demirel University, TURKEY

Assoc. Prof Dr. Azni Haslizan AB HALİM, Sains Islam Malaysia University, MALAYSIAN

Assoc. Prof Dr. Halil ŞENOL, Giresun University, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Chinmay Chakraborty, Birla Institute of Technology, INDIA

Asst. Prof. Dr. Ayhan ARISOY, Mehmet Akif Ersoy University, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Kemal ERTEN, Isparta University of Applied Sciences, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Ömer ERDOĞAN, Isparta University of Applied Sciences, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Seda TÖZÜM AKGÜL, Isparta University of Applied Sciences, TURKEY

Asst. Prof. Dr. Merve ARISOY, Mehmet Akif Ersoy University, TURKEY

# JOURNAL OF YALVAÇ ACADEMY

## (YALVAÇ AKADEMİ DERGİSİ)

Year: 2024

Volume: 9

Issue: 1

### CONTENTS

PAGE

#### Araştırma Makaleleri

<b>DAİMÎ NEZARETÇİLİĞİN MADEN MEVZUATINDAKİ YERİ VE MADEN MÜHENDİSLERİNİN DAİMÎ NEZARETÇİ OLARAK GÖREV, YETKİ VE SORUMLULUKLARI</b>	
Akın AKBULUT, Ali Koray ÖZDOĞAN, Behzat Gökçen DEMİR.....	1-16
<b>EVSEL ATIK SULARIN STERİLİZASYON CİHAZI TASARIMI VE DOĞRULAMASI</b>	
Raziye LÖKÇÜ, Ahmet Can ALATAŞ, Merdan ÖZKAHRAMAN, Bekir AKSOY.....	17-25
<b>IOT SECURITY AND SOFTWARE TESTING</b>	
Osman Can ÇETLENBİK, Ahmet Ali SÜZEN, Burhan DUMAN.....	26-32
<b>SU ALTI GÖRÜNTÜ İYİLEŞTİRMEDE KULLANILAN ALGORİTMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI</b>	
Birkan BÜYÜKARIKAN.....	33-45
<b>VERİ İLETİŞİMİ KODLAMA TEKNİKLERİNİN FPGA ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ</b>	
Cem Deniz KUMRAL, Mevlüt ERSOY .....	46-55



## DAİMİ NEZARETÇİLİĞİN MADEN MEVZUATINDAKİ YERİ VE MADEN MÜHENDİSLERİNİN DAİMİ NEZARETÇİ OLARAK GÖREV, YETKİ VE SORUMLULUKLARI

Akın AKBULUT<sup>1\*</sup>, Ali Koray ÖZDOĞAN<sup>1</sup>, Behzat Gökçen DEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

\*Sorumlu Yazar: akbulutakin@gmail.com

**Özet:** Madenlerin işletilerek üretilmesi ve sonrasında ekonomiye kazandırılması, ülkelerin kalkınması için oldukça önemlidir. Maden üretimine yönelik hazırlık çalışmaları ve maden üretimi için yapılan faaliyetler maden mevzuatı açısından işletme faaliyeti olarak tanımlanır. Maden işletme faaliyetlerinin yapılabilmesi için daimî nezaretçinin atanması gereklidir. Maden mevzuatında, daimî nezaretçi ise maden işletmesinde daimî olarak istihdam edilen maden mühendisi olarak tanımlanır. Bir maden mühendisinin daimî nezaretçi olarak atanabilmesinin öncelikli şartı daimî nezaretçi sertifikasına sahip olmasıdır. İlk kez bu sertifikayı alacak (kazanılmış hakkı bulunmayan) maden mühendislerinin eğitimlere katılması ve yapılacak sınavda başarılı olmaları gereklidir. Daimî nezaretçi eğitimleri Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından düzenlenmektedir. Daimî nezaretçi atamalarında, sertifika dışında gerekli olan şartlar Maden Yönetmeliğinde detaylı şekilde düzenlenmiştir. Daimî nezaretçi ataması, işletme faaliyetlerinin yapılabilmesi için zorunlu olmasının yanında MAPEG'e yapılan taleplerin değerlendirilebilmesi için ön koşullardan birisidir. Bu çalışmada, daimî nezaretçinin maden mevzuatından kaynaklı görev, yetki ve sorumlulukları ile eğitim süreci incelenerek, madencilik sektörü açısından önemine değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Daimî Nezaretçi, Eğitim, Maden Mevzuatı, Maden Mühendisliği.

## THE PLACE OF PERMANENT SUPERVISION IN MINING LEGISLATION AND DUTIES, AUTHORITIES AND RESPONSIBILITIES OF MINING ENGINEER AS PERMANENT SUPERVISOR

**Abstract:** The exploitation and production of minerals and their subsequent utilization in the economy are very important for the development of countries. Preparatory works for mine production and activities carried out for mine production are defined as operation activities in terms of mining legislation. A permanent supervisor must be appointed to carry out mining operations. In mining legislation, a permanent supervisor is defined as a mining engineer who is permanently employed in the mining operation. The primary condition for a mining engineer to be appointed as a permanent supervisor is to have a permanent supervisor certificate. Mining engineers who will receive this certificate for the first time (who have no vested rights) must attend the training and be successful in the exam to be held. Permanent supervisor trainings are organized by the General Directorate of Mining and Petroleum Affairs (MAPEG). The conditions required for permanent supervisor appointments, other than the certificate, are regulated in detail in the Mining Regulation. The appointment of a permanent supervisor is one of the prerequisites for the evaluation of the requests made to MAPEG as well as being mandatory for the operation activities. In this study, the duties, authorities and responsibilities of the permanent supervisor arising from the mining legislation and the training process are analyzed and its importance for the mining sector is mentioned.

**Keywords:** Permanent Supervisor, Education, Mining Legislation, Mining Engineering.

## 1. GİRİŞ

Türkiye Cumhuriyeti Anayasasının 168'nci maddesinde; doğal servet ve kaynakların Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunduğu, bunların aranması ve işletilmesi için gerekli olan hakkın Devlete ait olduğu ve bu hakkın Devlet tarafından belirli süreler için gerçek veya tüzel kişilere devredileceği hüküm altına alınmıştır. Ayrıca, aynı madde kapsamında hangi doğal servet ve kaynağın aranması ve işletilmesinin gerçek veya tüzel kişiler tarafından doğrudan veya Devlet ile ortak yapılacağına kanunun açık iznine bağlı olduğu, bu durumlarda arama ve işletme yapacak gerçek veya tüzel kişilerin uyması gerekli olan şartların ve Devlet tarafından yapılacak gözetim, denetim usul ve esasları ile yaptırımların kanunda gösterilmesi gerektiği belirtilmiştir [1].

Maden mühendisleri, maden arama ve işletme faaliyetlerinde, madencilik faaliyetlerinin tamamlandığı alanların/sahaların çevre ile uyumlu hale getirilmesi çalışmalarında ve madenlerin kapatılmasında, madencilik faaliyetlerine bağlı cevher hazırlama, zenginleştirme, doğal taş işleme gibi faaliyetlerin yapıldığı madencilik tesisleri ve fabrikalarında saha mühendisi olarak görev alırlar. Ayrıca, saha/arazi çalışmalarından elde edilen veri, bilgi ve sonuçların bir arada ele alınarak rapor veya proje gibi teknik bir belge haline getirilmesi aşamalarında da oldukça önemli katkı sağlarlar [2].

Maden mühendisleri, maden ruhsat sahalarında veya hammadde üretim izinli sahalarda yapılan üretim ve üretime hazırlık çalışmalarındaki maden işletme faaliyetlerinde genel olarak; kalite kontrol mühendisi, üretim mühendisi, vardiya mühendisi, şantiye mühendisi, teknik eleman, daimî nezaretçi gibi tanımlar ile görev yapmaktadır. Maden Kanunu'nda ise, üretim ve üretime hazırlık çalışmalarında görev alan maden mühendisleri için "daimî nezaretçi" olarak resmi bir tanımlama yapılmıştır. Bu tanıma göre daimî nezaretçi, maden işletmesinde daimî olarak istihdam edilmesi gereken maden mühendisidir.

Maden mühendislerinin madencilik sektörünün her alanında aldıkları görev, yetki ve sorumluluklar son derece önemli ve gereklidir. Bununla birlikte, daimî nezaretçilerin madencilik sektöründe yüklendiği görev, yetki ve sorumlulukların aynı sektör içerisinde farklı görevlerde bulunan veya diğer sektörlerde çalışan maden mühendislerine göre daha fazla olduğu düşünülmektedir. Literatürde, daimî nezaretçi veya nezaretçilik konulu araştırmalar oldukça azdır. Bu çalışmada, daimî nezaretçi kavramı üzerine bilgi verilerek, maden mevzuatı açısından nezaretçiliğin tarihsel süreci anlatılmıştır. Bununla birlikte, yakın tarihte (11.12.2022) yürürlüğe giren Maden Yönetmeliği hükümleri yönüyle de konu değerlendirilerek güncel mevzuata da değinilmiştir. Bu kapsamda, güncel değişiklikler/hükümler ile daimî nezaretçinin atanması, eğitim süreçleri, görev, yetki ve sorumlulukları incelenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada daimî nezaretçilik kavramı bir bütün olarak ele alınarak, maden mevzuatı açısından her yönüyle değerlendirilmeye çalışılmış ve daimî nezaretçinin madencilik sektörü açısından öneminin vurgulanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Maden Kanunu ile 11.12.2022 tarihli ve 32040 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan (halen yürürlükte olan) Maden Yönetmeliğinin hükümleri sade bir şekilde anlatılmıştır.

## 2. DAİMİ NEZARETÇİ KAVRAMI

Osmanlı Devleti'nde, 28.05.1861 tarihinde ilk Maden Nizamnamesinin yürürlüğe girmesi ile birlikte her maden ocağı için, ocağın idari ve teknik hususlarının yönetilmesi amacıyla bir "ocak âmiri" görevlendirilmiştir. Ocak amirliğine ataması yapılacak olan maden mühendisinin herhangi bir maden ocağının teknik işlerinde en az beş yıllık görev yapması şart olarak

koşulmuştur. Ocak amirliği tanımlaması, günümüzdeki daimî nezaretçilik kavramının tam olarak karşılığı olmasa da benzerlik taşıdığı yönünde değerlendirilebilir [3].

Cumhuriyetin ilanından sonraki dönemlerde, yürürlükte olan mevzuat hükümlerinde yer alan daimî nezaretçi görev tanımına yakın anlamda maden mevzuatında ilk defa, “fenni nezaret” tanımı 11.03.1954 tarihli ve 8655 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren, 6309 sayılı Maden Kanunu’nda yerini almıştır [4]. 6309 sayılı Kanun, 15.06.1985 tarihli ve 18785 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanan 3213 sayılı Maden Kanunu ile yürürlükten kaldırılmıştır. 3213 sayılı Kanununun 31’inci maddesi ile işletme ruhsat sahibinin işletme süresi boyunca en az bir maden mühendisini fenni nezaretçi olarak görevlendirmesi zorunlu hale getirilmiştir [5]. Bu düzenlemenin yer aldığı 31’nci madde çeşitli değişikliklerle teknik veya daimî nezaret genel başlığı altında günümüze kadar gelmiştir. 3213 sayılı Kanuna dayanılarak 22.08.1985 tarihli ve 18850 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren Maden Kanunu’nun Uygulanmasına Dair Yönetmeliğin 21’inci maddesi ile birlikte her maden mühendisinin Türkiye genelinde en fazla beş ruhsat sahasında fenni nezaret görevi yapabileceği hüküm altına alınmıştır [6].

1985 yılından sonra Maden Kanunu’nda yıllar içerisinde birçok ana ve kısmi değişiklikler yapılmıştır. Özellikle, 5177, 5995 ve 6592 sayılı Kanunlar ile yapılan ana değişiklikler ile “fenni nezaretçi” tanımlaması yıllar içerisinde önce “teknik nezaretçi” ve daha sonra “daimî nezaretçi” olarak değiştirilmiştir. Kanun değişikliklerine bağlı olarak çağın gereklerine ve madencilik sektörünün ihtiyaçlarına cevap verebilmek adına daimî nezaretçinin görev tanımı, yetki ve sorumlulukları birçok kez tekrar düzenlenmiştir [7, 8, 9].

Maden Kanunu’nda köklü değişikliklerin yapıldığı 5177 sayılı Kanun değişikliğine dayanılarak 03.02.2005 tarihli ve 25716 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Maden Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde, teknik ve daimî nezaretçi kavramları birlikte yer almıştır. Nezaretçi defterinin tutulma zorunluluğu ise teknik nezaretçilere verilmiştir. Yönetmeliğin 109’uncu maddesi ile teknik nezaretçi görevi açısından, bir maden mühendisinin I. grup (a) bendinden beş, diğer gruplardan beş olmak üzere en fazla on ruhsat sahasında teknik nezaretçi olarak görev alabileceği hüküm altına alınmıştır. Ancak, teknik nezaretçiler, I. grup (a) bendinden görevi olmasa dahi en fazla beş sahada görev yapılabilmektedir. I. grup (a) bendi ruhsatlar ise farklı tutularak, diğer gruplardan atama yoksa bu ruhsatlarda on sahaya kadar atama yapılabileceği belirtilmiştir. Yönetmeliğin 110’uncu maddesi ile açık işletmelerde en az otuz, yeraltı işletmelerinde ise en az on beş işçi çalışıyorsa daimî nezaretçinin görevlendirilmesi zorunlu tutulmuştur. Bununla birlikte, Yönetmeliğin geçici 6’ncı maddesi ile Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihte fenni nezaretçi görevinde bulunan maden mühendisleri teknik nezaretçi olarak kabul edilmiştir [10]. 06.11.2010 tarihli ve 27751 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanan Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği ile mülga Maden Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde belirtilen teknik nezaretçi atama şartları genel olarak korunurken, 141’inci madde ile maden işletme faaliyetlerinde en az on beş işçi çalıştırılan açık işletme yöntemiyle çalışılan işletmeler ve işçi sayısına bakılmaksızın yeraltı üretim yöntemiyle çalışılan işletmeler için daimî nezaretçinin atanması zorunlu kılınmıştır. Açık işletme yöntemiyle çalışılan işletmelerde on beş işçi sayısı hesaplanırken ruhsat sahasında bulunan tesislerde çalışanlar maden işletme faaliyetinde çalışan işçi sayısına dahil edilmemiştir [11].

2015 yılında 6592 sayılı Kanun ile Maden Kanunu’nda yapılan değişikliklerden sonra 21.09.2017 tarihli ve 30187 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren (mülga) Maden Yönetmeliğinde, teknik nezaretçi görevlendirilmesi yer almamış ve sadece daimî nezaretçi tanımlaması yapılmıştır. Bu Yönetmeliğin 127’nci maddesinde, yeraltı üretim

yöntemi ile faaliyette bulunulan ruhsatlar dışında, ayrı tutulan bazı durumlarda tek bir daimî nezaretçi atamasının yapılabileceği belirtilmiştir. Ancak, sonraki dönemlerde Danıştay tarafından bu hükümlerin yürütmesinin durdurulması yönünde karar verilmiştir. Bu hükümler özetle şunlardır [12]:

a) Aynı ruhsat sahibine ait olması şartıyla, işletme izin alanları arasında kuş uçuşu en fazla yirmi kilometre uzaklık bulunan ve yıllık toplam üretim miktarı II. grup (b) bendi maden ruhsatlarında 15.000 m<sup>3</sup>'ü, II. grup (b) bendi dışında kalan diğer ruhsatlarda ise 300.000 tonu geçmeyen en fazla üç ruhsata,

b) Açık işletme yöntemiyle üretim faaliyetinde bulunulan ocağın aynı ruhsat sahibine ait mücavir/komşu ruhsatların içerisinde devamlılığının olması durumunda (MAPEG'in tespiti gereklidir),

c) Maden Kanununun 29'uncu maddesinin altıncı fıkrası kapsamında ortak proje verilerek, projesi MAPEG tarafından uygun bulunan mücavir/komşu sahalarla,

d) Hammadde üretim izin sahalarında ise, hammadde üretim izin talebine dayanak oluşturan aynı proje için yirmi kilometre dahilinde (en fazla beş saha için) tek bir daimî nezaretçi atanabilmiştir.

Yukarıda belirtilen yasal düzenlemelerde, fenni, teknik veya daimî nezaretçi tanımlamalarını içeren birçok hüküm yer almıştır. Bu çalışmada, bu kavramlar için yapılmış temel değişikliklerin açıklanması amaçlanmıştır. Son olarak, 11.12.2022 tarihli ve 32040 sayılı Resmî Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe giren Maden Yönetmeliğinin tanımlar ve kısaltmalar bölümünde (madde 4) daimî nezaretçi; maden işletme faaliyetlerine nezaret eden, daimî olarak işletmede istihdam edilmek üzere ataması talep edilen ve ataması MAPEG tarafından onaylanan maden mühendisi olarak tanımlanmıştır. Maden işletme faaliyetleri ise aynı bölüm içerisinde; maden üretimine yönelik hazırlık çalışmaları ve maden üretimi için yapılan faaliyetler olarak yer almıştır [13]. Özet olarak; yürürlükte bulunan maden mevzuatı hükümleri yönüyle, işletmelerin tekniğine ve emniyet nizamnamelerine uygun bir şekilde yürütülmesini kontrol etme görevi nezaret, bu kapsamda işletmelerin teknik ve emniyet yönünden nezaret görevini yapan yetkili ve sorumlu maden mühendisi nezaretçi, işletmede daimî olarak istihdam edilen maden mühendisi ise daimî nezaretçi olarak tanımlanmıştır [13, 14].

### **3. DAİMÎ NEZARETÇİNİN İSTİHDAM ESASLARI**

#### **3.1. Daimî Nezaretçi Eğitimi ve Daimî Nezaretçi Sertifikası**

Daimî nezaretçilik görevini yürütecek olan maden mühendislerinin taşınması gereken şartların başında, daimî nezaretçi sertifikasına sahip olmak gelmektedir. 3213 sayılı Maden Kanunu'nda değişiklik yapılan 6592 sayılı Kanunun yürürlüğe girdiği tarihten (2015 yılı) önce eski adıyla teknik nezaretçi sertifikasına sahip olanların doğrudan daimî nezaretçi olarak atanabileceği 21.09.2017 tarihli ve 30187 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren (mülga) Maden Yönetmeliğinin geçici 6'ncı maddesi ile hüküm altına alınmıştır. Yönetmeliğin aynı maddesi kapsamında, maden işletmelerinde gerçekleştirilen üretim veya denetim faaliyetlerinde fiili olarak en az beş yıl çalışan maden mühendislerine Yönetmeliğin yayımından itibaren bir yıl içerisinde başvurmaları halinde daimî nezaretçi sertifikası düzenlenebileceği hususları belirtilmiştir. Bu nedenle belirtilen beş yıl tecrübe şartını sağlayanlardan bir yıl içerisinde MAPEG'e başvuranlar ile geçmiş yıllarda teknik nezaretçi sertifikasına sahip olanlara (başvurmaları halinde), eğitim ve sınav şartı aranmadan daimî nezaretçi sertifikası düzenlenmiştir. Daimî nezaretçi sertifikası açısından başka bir kazanılmış hak (126'ncı madde); madencilik alanında faaliyet gösteren kamu kurum ve kuruluşlarının gerçekleştirdiği üretim veya denetim faaliyetlerinde fiili olarak en az beş yıl çalışan maden



mühendislerine yönelik olarak düzenlenmiş ve belirtilen şartı sağlayanlara da talepleri halinde (başvuru süre sınırı aranmaksızın) eğitim ve sınav şartı aranmadan daimî nezaretçi sertifikası düzenlenmiştir [12]. Kamu kurum ve kuruluşlarında belirtilen tecrübeye sahip olanlara daimî nezaretçi sertifikası düzenleneceği yönünde hüküm yürürlükte bulunan Maden Yönetmeliğinin 127'nci maddesinde de yer alarak aynı şekilde korunmuştur. Bununla birlikte, yine aynı Yönetmeliğin geçici 4'üncü maddesinde, 6592 sayılı Kanunun yürürlüğe girdiği tarihten (18.02.2015) önce teknik nezaretçi belgesine sahip olan maden mühendisleri için Yönetmelikle getirilen tecrübe süreleri aranmaksızın MAPEG'den alacağı daimî nezaretçi sertifikası ile daimî nezaretçi olarak atanabileceği de hüküm altına alınmıştır [13].

Daimî nezaretçi sertifikası için kazanılmış bir hakkı bulunmayan veya daha önce nezaretçi sertifikası sahibi olmayan ve daimî nezaretçi sertifikasını ilk kez alacak maden mühendislerinin daimî nezaretçi eğitim programına katılarak, eğitim sonrasında yapılacak sınavı başarı ile tamamlamaları gerekmektedir. Mevcut durumda, daimî nezaretçi eğitim programı, MAPEG tarafından hazırlanarak uzaktan eğitim şeklinde yürütülmektedir. Bu eğitim sonucunda MAPEG tarafından yapılan sınavda başarılı olanlar adına beş yıl süre ile daimî nezaretçi sertifikası düzenlenmektedir. Sertifika süresi dolan daimî nezaretçiler, yenileme eğitimine katılarak sertifikalarını yenileyebilmektedir [13]. Yenileme eğitimlerine katılan daimî nezaretçiler için sınav zorunluluğu bulunmamaktadır. Derslere katılım sağlamaları durumunda sertifikaları yenilenebilmektedir [15].

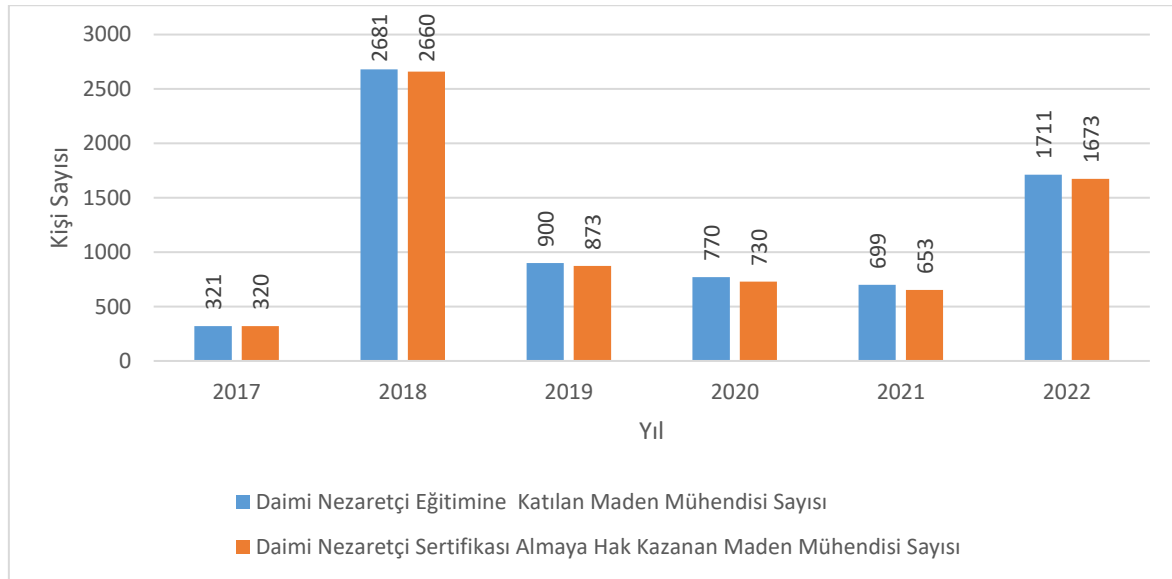
Daimî nezaretçi eğitimleri, MAPEG tarafından ilk yıllarda yüz yüze eğitim şeklinde teorik ve uygulamalı (saha eğitimi) olarak gerçekleştirilmiştir. 08.04.2020 tarihli ve 31093 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan 2020/58 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi doğrultusunda ise MAPEG'in uzaktan eğitim portalı (web adresi: <https://mapuzem.mapeg.gov.tr>) üzerinden düzenlenmeye başlanmıştır. Eğitim sürecinin tamamı, başvuru aşamasından (2024 yılı başvuru ücreti: 736 TL), sınav ve sonucunda sertifika düzenlenmesine kadar uzaktan eğitim şeklinde sürdürülmektedir. Daimî nezaretçi sertifikasını almaya hak kazananlar, e-Devlet'e giriş yaparak, Elektronik Madencilik İşlemleri Yönetim Bilgi Sistemi (e-Maden) üzerinden daimî nezaretçi sertifikalarını görüntüleyebilmektedir [15, 16, 17].

Daimî nezaretçi eğitimlerinde, maden mevzuatı ve ilgili diğer mevzuat, madencilik faaliyetleri, daimî nezaretçilerin görev, yetki ve sorumlulukları gibi konuları içine alacak şekilde çok sayıda konu işlenmektedir. Daimî nezaretçi eğitimlerinde verilen derslerin konu başlıkları genel hatları ile aşağıda belirtilmiştir [18]:

- a) Açık işletmelerde çalışan iş makinelerinin kaza risklerinin azaltılmasında geçmiş vakaların analizi,
- b) Açık işletmelerde makine ekipman seçimi,
- c) Açık maden işletmelerinde iş güvenliği ve risk değerlendirmesi,
- ç) ÇED mevzuatı ve Maden Atıkları Yönetmeliği,
- d) Daimî nezaretçi defteri tutma uygulamaları,
- e) Daimî nezaretçinin atanması, istihdamı, görev, yetki ve sorumlulukları,
- f) Delme-patlatma tasarımları ve patlayıcı madde kullanımında iş sağlığı güvenliği,
- g) Dünyada madencilik örnekleri,
- ğ) e-Maden uygulamaları,
- h) İmalat haritaları ve MAPEG harita standartları,
- ı) İş kanunu, iş sağlığı ve güvenliği kanununun madencilik sektöründeki uygulamaları,
- i) İş kazaları,
- j) İş kazaları ve meslek hastalıklarının cezai ve hukuki sonuçları,
- k) Katmanlı risk yönetimi,

- l) Lider yöneticilik eğitimi,
- m) Maden iş kolunda meslek hastalıkları,
- n) Maden İş Yerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği,
- o) Maden Kanunu ve ilgili Yönetmelikler,
- ö) Maden Kanunu'nda mali yükümlülükler,
- p) Madencilik faaliyetlerinde orman izinleri,
- r) Madenlerde iş makinelerinden kaynaklanan kazalar,
- s) Madenlerde iş sağlığı ve güvenliği teftişi,
- ş) Mermer işletmeciliği ve üretim yöntemleri,
- t) Tahlisiye,
- u) Yeraltı maden işletmelerinde iş güvenliği ve risk değerlendirmesi.

MAPEG tarafından ilk olarak 2017 yılında düzenlenen daimî nezaretçi eğitimlerine katılım oranı özellikle 2018 yılında en yüksek seviyede olmuştur (Şekil 1). 2018 yılından sonra 2019, 2020 ve 2021 yıllarında bir önceki yıla göre azalma gösteren eğitime katılım oranı 2022 yılında bir önceki yıla artış göstermiştir [17]. Eğitime katılım ve eğitim sonucunda sertifika almaya hak kazanma oranları incelendiğinde başarı oranının oldukça yüksek olduğu göze çarpmaktadır. 2018 yılında görülen yüksek talebin nedenleri olarak; 18.02.2015 yılında yapılan Kanun değişikliğinden sonra Yönetmeliğin yayımlandığı 21.09.2017 yılına kadar geçen (eğitim düzenlenemeyen) süre ve daimî nezaretçi eğitimi ile ilgili yapılan yeni mevzuat düzenlemesi ile birlikte eğitim tarihlerinin planlanması aşamaları olarak değerlendirilebilir. 21.09.2017 tarihinde Maden Yönetmeliğinin yayımından sonra, 2017 yılında kalan kısa bir zaman diliminde 321 kişi eğitime katılmıştır. 2022 yılında görülen artışın nedeni ise önceki yıllarda sertifika alanların yenileme eğitimlerine katılması olarak değerlendirilebilir.



Şekil 1. Daimî Nezaretçi Eğitimi Sonucunda Sertifika Almaya Hak Kazanan Maden Mühendisi Sayısı [17]

### 3.2. Daimî Nezaretçi Atama Talebi ve Atanması

Bir maden mühendisinin maden işletmelerinde daimî nezaretçi olarak görev yapabilmesi için gerekli olan atama talebinde, öncelikle ilgili saha için eğer daha önce yapılmamış ise e-Maden üzerinden ocak tanımlamasının yapılması gereklidir. Daimî nezaretçi sahada yer alan ocak dikkate alınarak atanacağından eğer sahada daha önce madencilik faaliyeti yapılmamış (ocak yok) ise öncelikle termin planına göre çalışılması planlanan alanı temsilen koordinat girişi ile

ocak tanımlaması yapılmalıdır. Atamaya engel bir durum bulunmaması ve atama talebinin MAPEG tarafından uygun bulunması halinde talep tarihi itibarıyla daimî nezaretçi ataması gerçekleştirilmiş olur. Maden Yönetmeliğinin 125'inci maddesinde, daimî nezaretçi atama talebi ve atanması başlığı altında gerekli şartlar yer almaktadır. Daimî nezaretçi ataması e-Maden üzerinden gerçekleştirildiğinden atama için Yönetmelik hükümlerinde yer alan gerekli bilgi ve belgeler, e-Maden üzerindeki atama uygulamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir (imza beyanı ve oda sicil belgesi, kamu kurum ve kuruluşlarında çalışan maden mühendisleri için istenilmemektedir):

a) Diploma veya çıkış belgesinin aslı ya da onaylı sureti: Mezuniyet belgesi verilmemekte, atama talebi yapıldıktan sonra e-Devlet üzerinden doğrulama alınmaktadır. Doğrulama sonucunda eğer mezuniyet bilgisi gözüküyorsa atama gerçekleşmeyeceğinden, bu gibi durumlarda ilgili kişinin Yükseköğretim Sistemi olan YÖKSİS üzerinden gerekli düzeltmelerin yapılması için ilgili Kurumlar ile iletişime geçmesi gereklidir.

b) Daimî nezaretçi sertifikası: Daimî nezaretçi sertifikaları sisteme tanımlı olduğundan belge verilmemektedir. Başka bir ifade ile sistemde belgesi olmayanların ataması gerçekleşmemektedir (kazanılmış hakkı olan maden mühendislerinin öncelikle daimî nezaretçi sertifikasının düzenlenmesi için başvuru yapması uygun olacaktır).

c) Maden Mühendisleri Odası sicil belgesi veya oda üye kimlik belgesi: Ataması yapılacak kişi için verilen Maden Mühendisleri Odası belgelerinde yer alan doğrulama kodları ilgili Odanın internet sitesi üzerinden kontrol edilmektedir.

d) Maden Yönetmeliği ekinde bulunan daimî nezaretçi talep/atama belgesinin (Ek-20) eksiksiz doldurulması: e-Maden sistemi üzerinden doldurulmaktadır.

e) Daimî nezaretçiye ait Türkiye Cumhuriyeti kimlik belgesi: Başvuru esnasında, ataması yapılacak maden mühendisinin T.C. kimlik numarası girildikten sonra MERNİS sistemi üzerinden gerekli nüfus bilgileri alınmaktadır.

f) Daimî nezaretçi atama belgesinde adı geçen kişilere ait imza beyanları, adı geçenlerin şirket olması durumunda ilgili şirketin sicil tasdiknamesi: Atama işlemleri e-Maden üzerinden yapıldığından imza sirkülerine gerek olmamaktadır. Bu işlemler, e-Maden sisteminde yetkilendirmesi yapılanlar tarafından gerçekleştirilebilmektedir.

Yeraltı işletme yöntemiyle çalışılan ve asfaltit, linyit veya taşkömürü üretimi yapılan maden ruhsatları için, daimî nezaretçi ataması yapılacak olan ocağa ilişkin olarak gerçek veya tüzel kişinin işyeri numarasının verilmesi zorunludur. Yukarıda sayılan bilgi ve belgeler dışında belirtilen Yönetmelik maddesi hükümleri kapsamında bazı madenler ve üretim miktarları açısından tecrübe şartı aranmaktadır. Özellikle yeraltı işletmelerinde yapılacak daimî nezaretçi atamaları için kömür madenleri ayrı tutulmuştur. Kömür işletmelerinde tecrübe sahibi olan bir maden mühendisi yıl şartını sağlaması durumunda bütün yeraltı işletmelerine daimî nezaretçi olarak atanabilirken, kömür harici (krom, bakır, kurşun+çinko, kaya tuzu gibi) yeraltı işletmelerinde uzun yıllar tecrübe sahibi olmuş ancak yer altı kömür işletmelerinde tecrübesi bulunmayan bir maden mühendisi yeraltı kömür işletmelerine daimî nezaretçi olarak atanamamaktadır. Tecrübe şartı için belirtilen belgelerin Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK)'ndan alınarak sisteme yüklenilmesi gerekmektedir. Daimî nezaretçi atamalarında tecrübe şartı aranan ve bu şartlar için gerekli olan belgeler kapsamına giren başlıklar ise şu şekilde özetlenebilir:

a) Açık işletme yöntemi ile çalışılan ve yıllık tüvenan maden üretimi işletme projesinde en az beş milyon ton olarak belirlenmiş maden işletmeleri: Herhangi bir maden işletmesinde en az üç yıl maden mühendisi olarak çalışıldığına dair belge,

b) Yeraltı işletme yöntemiyle çalışılan kömür işletmeleri: Yeraltı kömür işletmelerinde en az beş yıl maden mühendisi olarak çalışıldığına dair belge,

c) Yeraltı işletme yöntemiyle çalışılan kömür harici yeraltı işletmeleri: Yeraltı işletmelerinde en az üç yıl maden mühendisi olarak çalışıldığına dair belge [13].

### 3.3. Daimî Nezaretçinin İstihdamı

Maden ruhsat sahalarındaki veya hammadde üretim izin sahalarındaki maden işletme faaliyetlerinin, maden mühendisi nezaretinde yapılabileceği zorunluluğu önceki bölümlerde belirtilmişti. Maden Kanunu'nun 31'inci maddesi ile sadece kaynak tuzları bu yasal zorunluluğun dışında tutulmuştur. Başka bir ifade ile kaynak tuzları hariç, daimî nezaretçi atanması yapılmayan maden işletme ruhsatlarında veya hammadde üretim izin sahalarında, maden üretimi ve bu üretim için gerekli olan hazırlık faaliyetleri yapılamamaktadır. Yine Kanunun 31'nci maddesi gereğince daimî nezaretçi istihdam edilmeden işletme faaliyetinde bulunulması durumunda idari para cezası uygulanarak (2024 yılı yeniden değerlendirme oranı kapsamında 315.259 TL) işletme faaliyetleri durdurulmaktadır [14]. Daimî nezaretçi istihdamı ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken hususların yer aldığı Maden Yönetmeliğinin 124'üncü maddesi hükümleri örnekler verilerek aşağıda açıklanmıştır:

a) Maden ruhsat sahalarında; eğer birbiri ile bağlantısı olmayan birden fazla yeraltı ocağı bulunuyor veya açık işletme yöntemi ile çalışılan ocaklarda farklı maden işletmecileri faaliyette bulunuyor ise her bir ocak için ayrı ayrı daimî nezaretçi atanması zorunludur. Bu tür atamalarda daimî nezaretçi defterleri ayrı ayrı tutulur: Örneğin; maden sahasında aynı işletmeci tarafından farklı koordinatlarda (bağımsız) yer altı işletme yöntemiyle çalışılıyorsa veya farklı işletmeciler tarafından açık işletme yöntemi ile çalışılıyorsa birden fazla daimî nezaretçi atanması söz konusudur.

b) Maden ruhsat sahalarında aynı maden işletmecisi tarafından faaliyette bulunulan birbiri ile bağlantısı olmayan birden fazla yeraltı ocağı için ayrı ayrı, açık işletme yöntemi ile çalışılan ocak/ocaklar için tek bir daimî nezaretçi atanması zorunludur. Maden ruhsat sahasında aynı maden işletmecisi tarafından faaliyette bulunulan ve açık işletme yöntemi ile çalışılan ocaklar için bir zorunluluk olmamakla birlikte talep edilmesi halinde her bir ocağa ayrı daimî nezaretçi atanabilir. Bu durumda, daimî nezaretçi atanması yapılan her açık ocak için ayrı ayrı daimî nezaretçi defterinin tutulması zorunludur: Örneğin; aynı işletme tarafından iki farklı temsili koordinatta yer alan ve birbiri ile bağlantısı olmayan yeraltı ocakları ile iki farklı temsili koordinatta açık ocaklarda faaliyette bulunuluyor ise yeraltı ocakları için her bir ocağa ayrı bir daimî nezaretçinin atanması zorunlu tutulurken, açık ocaklar için tek daimî nezaretçi atanması yapılabilmektedir. Ancak, talepte bulunulması halinde açık ocaklar için de birden fazla (her bir ocak için ayrı) daimî nezaretçi de atanabilmektedir. Sonuç olarak, atanması yapılan her bir daimî nezaretçinin ayrı bir nezaretçi defteri tutulması zorunludur.

c) Vardiya usulü ile faaliyet gösterilen maden ruhsat sahasındaki ocaklar için sadece bir daimî nezaretçi atanması yapılır. Bu nedenle tek bir daimî nezaretçi defteri tutulur (Maden Yönetmeliği hükümleri gereğince, vardiyalarda çalışan kişi sayısına göre değişen sayıda teknik eleman görevlendirilmektedir).

ç) Maden ruhsat sahibi, hammadde üretim izin sahibi kamu kurum veya kuruluşunun yetkilisi, rödövanşçı veya faaliyeti gerçekleştiren (hammadde üretim izinli alanlarda işletme faaliyetinde bulunulan yükleniciler) tarafından talep edilen daimî nezaretçi atanması bu talebin MAPEG tarafından onaylanması ile tamamlanır. Atanması yapılan daimî nezaretçi, belirtilen (atanmasını talep eden) maden işletmecileri tarafından istihdam edilebilir.

d) Maden işletme faaliyetinde bulunulan her maden ruhsatı ve hammadde üretim izinli saha için en az bir maden mühendisinin daimî nezaretçi olarak atanması zorunludur. Ancak, pasa, maden atıkları/artıkları ve cürufur ile stok alanından maden sevkiyatının gerçekleştirilmesi durumunda, bu tür faaliyetler işletme faaliyeti olarak tanımlanmadığından daimî nezaretçi atama şartı aranmamaktadır. Sevkiyatı yapılan pasa, atık/artık ve cürufur veya madenin MAPEG tarafından belirlenmesi veya faaliyet raporu ya da imalat haritalarında beyan edilmiş olması gerekir.

e) Bir maden mühendisi aynı takvim yılı (01 Ocak- 31 Aralık) içerisinde en fazla üç kez daimî nezaretçi olarak atanabilir.

Maden Kanununun 29’uncu maddesi kapsamında ortak proje verilerek üretim yapılan sahalarda yapılacak daimî nezaretçi atamaları için düzenlenen Maden Yönetmeliğinin 32’nci maddesinin on yedinci fıkrasının (b) bendinin ilk cümlesi olan “ortak proje kapsamında üretim yapan sahalarla ayrı ayrı daimî nezaretçi atanabileceği gibi bir daimî nezaretçi de atanabilir” hükmü ile kamu kurum ve kuruluşlarının altı aydan az süreli ve miktar olarak bin tondan az olan hammadde talepleri için düzenlenen aynı Yönetmeliğin 54’üncü maddesinin ikinci fıkrasının ikinci cümlesi olan “Bu kapsam dahilinde yürütülen faaliyetler için daimî nezaretçi atanması zorunluluğu yoktur” hükmü hakkında Danıştay Sekizinci Dairesinin 04.05.2023 tarihli 2023/923 Esas sayılı kararı ile yürütmenin durdurulması kararı verilmiştir [19].

TMMOB Maden Mühendisleri Odası tarafından yayınlanan 05.10.2023 tarihli duyuruda [20]; “Maden Yönetmeliğinin 130’uncu maddesinin ikinci fıkrasında yer alan ‘Vardiyalı çalışılan işletmelerde daimî nezaretçi, herhangi bir vardiyada görev alabilir ve teknik eleman olarak istihdamı zorunlu maden mühendislerinden biri olarak kabul edilebilir.’ hükmü ile geçici 4’üncü maddesinin ikinci fıkrasında yer alan ‘Aynı ocak için atanmış olan daimî nezaretçi sayısının birden fazla olması durumunda; ruhsat sahibi/rödövensçi tarafından bu Yönetmeliğin yayımı tarihinden itibaren iki ay içerisinde her ocak için daimî nezaretçi sayısının tek daimî nezaretçiye düşürülmesi zorunludur. Aksi takdirde atanmış olan daimî nezaretçilerden ilk atanmış dışındakilerin görevleri sona erer.’ hükmü hakkında Danıştay tarafından yürütmenin durdurulması kararı verildiği” belirtilmiştir (karar henüz mevzuat bilgi sistemine işlenmemiştir).

### **3.4. Daimî Nezaretçinin Görev, Yetki ve Sorumlulukları**

Daimî nezaretçilere, maden işletme faaliyetlerinin sürdürüldüğü sahalarda Devlet adına önemli görev ve sorumluluklar yüklenmiş, bununla birlikte önemli yetkiler de verilmiştir. Daimî nezaretçilerin görev, yetki ve sorumlulukları detaylı olarak Maden Yönetmeliğinin 126’ncı maddesinde düzenlenmiştir. Bu noktada, maden işletme faaliyetlerinin projesine uygun olarak yürütülmesi şeklinde özetlenebilen temel görev genel olarak şu şekildedir: Daimî nezaretçi, nezaret görevini öncelikle Maden Kanunu ve Maden Yönetmeliği hükümleri kapsamında yürüterek, yapılan/yapılacak maden işletme faaliyetlerini MAPEG tarafından uygun bulunan işletme projesine uygun olarak planlar, koordine eder ve yürütülmesini sağlar. İşletme projesinde yer alan hususlara aykırı bir tehlikeli durumun varlığı söz konusu olduğunda, yapılması gerekli olan önlemlerin alınmasını önererek ve bu önlemlerin alınması çalışmalarına nezaret eder. Daimî nezaretçi işletme güvenliğine yönelik olarak alınan tedbirlerin uygunluğunu da denetlemeye yetkilidir. Daimî nezaretçi, maden işletme faaliyetinin yapıldığı ocak ve/veya ocaklarda işletme güvenliğini tehlikeye atan hususlarla ilgili tespit, öneri ve önlemleri belirleyerek, bunları daimî nezaretçi defterine de rapor ederek maden ruhsat (veya hammadde üretim izin) sahibine bildirir. Maden ruhsat (veya hammadde üretim izin) sahibi ise işletme güvenliği açısından tehlikeli durumların giderilmesi için yapılan/yapılacak faaliyetler dışındaki maden işletme faaliyetlerini derhal durdurur. Bu noktada, daimî nezaretçinin sorumluluğu; işletme güvenliği açısından tehlikeli durumlara yönelik tespit, öneri ve önlemlerin rapor edilerek bildirilmesidir. Daimî nezaretçinin rapor ederek bildirdiği hususların yerine getirilmemesinden maden ruhsat (veya hammadde üretim izin) sahibi sorumludur.

Daimî nezaretçi olarak atanması yapılan maden mühendisi, maden mevzuatında sayılan teknik belgeleri (arama faaliyet raporu, işletme projesi, faaliyet raporu gibi) hazırlayan Yetkilendirilmiş Tüzel Kişiler (YTK)’de görev alamaz. Ancak, yetkilendirilmiş tüzel kişi

yeterlik belgesine sahip olan maden arama veya işletme ruhsat sahibi ya da işletmesi olan (kamu kurum ve kuruluşları da dahil) tüzel kişiliklerde istihdam edilen/edilecek maden mühendisleri, aynı tüzel kişiliğe ait maden ruhsat sahalarında veya o tüzel kişiliğin rödövanşçı ya da faaliyeti gerçekleştiren olarak madencilik faaliyetinde bulunduğu alanlar ile sınırlı kalmak şartıyla daimî nezaretçi olarak görevlendirilebilir.

Vardiyalı çalışılan maden işletmelerinde, maden işletme faaliyetleri daimî nezaretçinin koordinasyonunda gerçekleştirilir.

Maden Yönetmeliğinin 32'nci maddesi gereğince maden ruhsat sahalarında meydana gelen her türlü maden kazalarının, maden ruhsat sahibi, rödövanşçı, faaliyeti gerçekleştiren ve daimî nezaretçi tarafından MAPEG'e derhal bildirilmesi zorunludur [13].

### **Daimî Nezaretçi Defteri:**

Daimî nezaretçi defterinin hangi aralıklar ile ne şekilde tutulacağı yönünde hükümler Maden Yönetmeliğinin 126'ncı maddesinde yer almaktadır. Daimî nezaretçi defterine, değişmediği sürece temsili ocak koordinatlarının, üretilen maden cinsinin, Maden Kanunu'nun 7'nci maddesi kapsamında alınması zorunlu olan mülkiyet izni, ÇED kararı ve işyeri açma çalışma ruhsatı (varsa diğer izinler) gibi izin bilgilerinin, faaliyeti gerçekleştiren bilgisinin, üretim yönteminin, yeraltı ocaklarında havalandırma, su atımı, nakliyat, barajlama ve uygulanan tahkimata ilişkin bilgilerin en az bir kez kaydedilmesi zorunludur. Eğer bu başlıklarda herhangi bir değişiklik olursa bu değişikliğin aynı gün kaydedilmesi zorunludur. Madencilik faaliyetleri sırasında patlayıcı madde kullanılıyor ise patlayıcı madde miktarlarının da kaydedilmesi zorunludur.

Daimî nezaretçi defterine, yapılan tüvenan üretim miktarlarının, açık işletme yöntemi ile çalışılan ocakların geometrisi (basamak yüksekliği, genişliği, sayısı ve şev açısı gibi) ile ilgili bilgilerin, yeraltı işletmelerinde sürdürülen maden üretimi ve üretime hazırlık faaliyetlerine ilişkin bilgilerin en geç yedi günde bir kaydedilmesi zorunludur. Daimî nezaretçi defterine, maden işletme faaliyetlerinde işletme güvenliği açısından tehlikeli olan veya olabilecek durumlara yönelik tespit ve önerilerin ise aynı gün kaydedilmesi zorunludur. Daimî nezaretçi defterinin, daimî nezaretçi ile birlikte maden ruhsat sahalarında ruhsat sahibi (veya vekili/yetkilisi) tarafından hammadde üretim izin sahalarında ise hammadde üretim izin sahibi yetkilileri veya faaliyeti gerçekleştiren tarafından imzalanması zorunludur. MAPEG tarafından onaylanan daimî nezaretçi atama talebi rödövanşçı tarafından yapılmış ise bu durumda, daimî nezaretçi defterinin daimî nezaretçi ile birlikte maden ruhsat sahibi (veya vekili/yetkilisi) ve rödövanşçı (veya vekili/yetkilisi) tarafından imzalanması zorunludur.

Maden işletme faaliyetinde bulunulmayan/bulunulamayan dönemlerde (mevsimsel şartlar, mücbir sebep halleri ve üretim faaliyetlerine ara verilmesi gibi), faaliyetlere ara verilme gerekçeleri/bilgileri daimî nezaretçi tarafından en geç yedi gün içerisinde daimî nezaretçi defterine yazılmalıdır. Maden işletme faaliyetlerine tekrar başlanıncaya kadar daimî nezaretçi defterinin doldurulmasına gerek bulunmamaktadır.

Geçmiş yıllarda noter onaylı şekilde fiziki olarak tutulan daimî nezaretçi defteri, yürürlükte bulunan mevzuat hükümleri gereği elektronik ortamda (e-Maden üzerinde) tutulmaktadır. Maden Yönetmeliğinin Ek-4'ünde belirlenen daimî nezaretçi defterinde rapor edilmesi (bulunması) gereken hususların daimî nezaretçi defterine yazılması zorunludur (daimî nezaretçi

defterinden kaynaklı yaptırımlara, cezai yaptırımlar bölümünde detaylı olarak değinilmiştir) [13].

### 3.5. Daimî Nezaretçinin Görevinin Sona Ermesi

Daimî nezaretçilik görevi; atama talebinde bulunan gerçek veya tüzel kişiler ile daimî nezaretçinin arasında gerçekleşecek sebeplerle olduğu gibi ruhsat hukukunu ilgilendiren süreçlerle de sonlanabilir (Maden Yönetmeliği, madde 128). Bu durumlar kısaca şu şekilde özetlenebilir:

a) İşverenin daimî nezaretçi ile yaptığı sözleşmeyi fesih etmesi veya daimî nezaretçiyi azletmesi,

b) Daimî nezaretçinin istifası veya vefatı,

c) Maden ruhsatının iptal, terk veya devir edilmesi, intikali (maden ruhsat sahibinin vefat etmesi durumunda, ruhsatın kanuni varislerine geçmesi) durumları. Kamu kurum ve kuruluşları adına düzenlenen hammadde üretim iznli sahaların hukukunun sona ermesi durumunda da daimî nezaretçinin görevi sona ermektedir.

Daimî nezaretçinin görevinin sona ermesi durumunda; on beş günlük süre içerisinde, yeni bir daimî nezaretçinin atanması gereklidir. On beş güne kadar olan zaman diliminde daimî nezaretçi istihdamını gerçekleştiren gerçek veya tüzel kişi tarafından bir maden mühendisi geçici daimî nezaretçi olarak görevlendirmelidir. Maden ruhsatlarının tek bir ruhsat altında birleştirilmesi halinde atanmış olan daimî nezaretçinin görevi devam eder. Eğer birleştirilen ruhsatlar için birden fazla daimî nezaretçi ataması yapılmış ancak bir daimî nezaretçi ataması yeterli ise bu durumda iki ay içinde maden ruhsat sahibi tarafından her ocak için daimî nezaretçi sayısı bire düşürülebilir. Aksi takdirde daha önce ataması yapılmış olan maden mühendislerinden ilk atanan dışındakilerin daimî nezaretçilik görevleri sona erer. Birleştirilen maden ruhsatlarında, eğer daimî nezaretçi atamasının ayrı ayrı yapılmasını gerekli kılan bir durum varsa, ayrı ayrı ataması yapılmış olan maden mühendislerinin daimî nezaretçilik görevleri devam eder.

Maden işletmelerinde, maden işletme faaliyetlerine nezaret etmesi için daimî olarak istihdam edilmiş daimî nezaretçilerin yasal olarak izinli, raporlu veya görevli olduğu sürelerin, bir seferde on beş günü aşması durumunda yeni bir daimî nezaretçinin atanması yasal bir zorunluluktur. On beş güne kadar olan süre içerisinde, daimî nezaretçiyi istihdam etmiş olan tarafından bir maden mühendisinin daimî nezaretçi olarak görevlendirilmesi gerekir. Bu şekilde yapılan görevlendirmeler daimî nezaretçi defterine yazılmalıdır.

MAPEG tarafından yapılacak tebligatlar için kullanılmak üzere, daimî nezaretçinin UETS veya aktif edilmiş kayıtlı elektronik posta (KEP) adresinin MAPEG'e bildirilmesi zorunludur [13].

### 3.6. Daimî Nezaretçi Atamasının Gerekliliği

Maden ruhsat sahipleri için daimî nezaretçi, sadece maden işletme faaliyetlerinde (üretim ve üretime hazırlık çalışmalarında) istihdam edilmesi zorunlu bir maden mühendisi değildir. İşletme izni bulunan işletme ruhsatlarındaki, işletme faaliyetlerine bağımlı ve/veya bağımsız olarak gelişebilecek taleplerin MAPEG tarafından değerlendirmeye alınabilmesinin ilk şartlarından birisi daimî nezaretçi atamasının bulunmasıdır. Aşağıda belirtilen işlemlerde, maden ruhsatında daimî nezaretçi ataması bulunmuyorsa yapılan talepler Maden Kanunu'nun 13'üncü maddesi gereğince doğrudan reddedilmektedir [14]:

a) Maden ruhsatının yürürlükte olduğuna dair, ruhsat sahibi tarafından MAPEG'den talep edilen ruhsat yürürlük yazısı talebi (ilgili kamu kurum ve kuruluşlarına verilmek üzere talep edilen yazılar),

b) Maden ruhsatının gerçek ve/veya tüzel kişilere devir edilmesi talebi,

c) Rödövens sözleşmesinin sicil kayıtlarına işlenmesi talebi,

ç) Mevcut işletme izin alanında değişiklik yapılması talebi,

d) Maden ruhsatlarının birleştirilmesi talebi,

e) Maden ruhsatı için yapılan süre uzatım (temdit) talebi,

f) Maden ruhsat alanının küçültülmesi talebi,

g) Maden ruhsat sahibi tarafından maden ruhsat hukukunun sonlandırılması isteği ile yapılan terk talebi,

h) Mera alanlarında madencilik faaliyetinde bulunabilmek amacı ile mera tahsis amacının değiştirilmesine yönelik talepler,

ı) Mücbir sebepler (sel, yangın, deprem, grizu patlaması, çökme, heyelan gibi) ile tenör, jeoloji, pazarlama, ulaştırma ve alt yapı şartlarında yaşanan olumsuzluklar, mevzuat kapsamında diğer kurumlardan alınması gerekli olan izinlerin alınamaması gibi beklenmeyen haller ile karşılaşılması durumunda, maden ruhsat sahibi tarafından geçici tatil talep edilmesi,

i) Maden işletme ruhsatına dayalı olarak işletme izni talep edilmesi,

j) Madenin üretilmesi sırasında ortaya çıkarılan pasanın değerlendirilmesine ilişkin izin talebi,

k) Pasa döküm alanı talebi,

l) Maden Kanunu'nun 16'ncı maddesinin on birinci fıkrası kapsamında maden işletme faaliyetinin zaruri sonucu olarak ortaya çıkarılan ve diğer gruplarda yer alan madenlerin değerlendirilmesi talebi,

m) Tarım arazilerinde madencilik faaliyetleri yapılabilmesi için 5403 sayılı Kanunun 13'üncü maddesi gereğince, maden ruhsat sahibi tarafından yapılan, kamu yararı kararı alınması talepleri,

n) Maden işletme ruhsat süresince ruhsat alanı içinde bulunan/kalan özel mülkiyete konu arazilerde yapılacak madencilik faaliyetleri için gerekli kamu yararı kararı ve 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu kapsamında yapılacak kamulaştırma talepleri,

o) Maden sahalarında kullanılacak patlayıcı maddeye ilişkin olarak patlayıcı madde yazı talepleri.

### **3.7. Maden Mevzuatında Daimî Nezaretçileri İlgilendiren Cezai Yaptırımlar**

Maden Kanunu'nda sayılan gerçek dışı ve yanıltıcı beyanlar, madencilik alanında önemli görevler üstlenen daimî nezaretçileri de doğrudan veya dolaylı olarak ilgilendirmektedir. Maden Kanunu'nun 10'uncu maddesinde sayılan gerçek dışı ve yanıltıcı beyanlar, madencilik faaliyetleri ile ilgili olduğu gibi maden mevzuatında belirtilen teknik belgelerdeki yer alan ve/veya almayan bilgilerden kaynaklı da olabilir. Haksız yere hak iktisabı sayılan ve buna imkân veren hususlarla ilgili yapılan beyanlar da gerçek dışı ve yanıltıcı beyanlar olarak kabul edilmektedir. Maden Kanunu'nun 10'uncu maddesinde sayılan beyanlar aşağıda özetlenmiştir:

a) Maden ruhsatının yer aldığı grubun dışında veya birden fazla bendin bulunduğu gruplarda bendi dışında veya üretim hakkı bulunmayan bir madenin üretilmesi ve/veya sevk edilmesi,

b) Maden arama ruhsat dönemlerinde izinsiz üretim ve/veya satış yapılması (numune alınması veya maden arama faaliyetleri sırasında zorunlu olarak maden çıkarılması hariç),

c) Maden ruhsat sahibi tarafından kamulaştırılan alanının kamulaştırma amacı dışında kullanılması ve/veya maden ruhsat alanının madencilik faaliyetleri dışında kullanılması ve/veya kullandırılması,

d) Galeri atımı yöntemi ile patlatma yapılması,



- e) MAPEG tarafından faaliyeti durdurulan maden ruhsat sahalarında üretim faaliyetinde bulunulması, maden ruhsat alanının güvenli hale getirilmesi kapsamında yapılan faaliyetler sonucunda üretilen madenin ve/veya faaliyetler durdurulmadan önce üretilmiş stokta bulunan madenin MAPEG'den izin alınmadan sevk edilmesi,
- f) Maden ruhsat sahasında yapılan üretimin veya satışların beyan edilmemesi,
- g) Yapılmayan üretimin MAPEG'e yapılmış olarak beyan edilmesi,
- h) Arama faaliyet raporlarında yapıldığı beyan edilen asgari faaliyetlerin eksik yapılması veya yapılmaması,
- i) Patlatma izni olmadan patlayıcı madde kullanılarak üretim yapılması,
- j) Maden işletme ruhsatlarında işletme izni olmadan ve/veya işletme izin alanı dışında maden üretilmesi veya sevk edilmesi,
- k) Maden Kanunu'nun 7'nci maddesi gereğince alınması gerekli olan izinler alınmadan ve/veya gerekli izinlerin alınmadığı alanda maden üretilmesi veya sevk edilmesi.

Gerçek dışı veya yanıltıcı beyanda bulunmak suretiyle Maden Kanunu hükümlerinin uygulanmasını engelleyen ve/veya haksız surette hak iktisabına neden olan daimî nezaretçiye Maden Kanunu'nun 10'uncu maddesi gereğince idari para cezası (2024 yılı yeniden değerlendirme oranı kapsamında 6.437 TL) uygulanmaktadır. Gerçek dışı veya yanıltıcı beyanların üç yıl içinde tekrar edilmesi durumunda, daimî nezaretçiye tekrar idari para cezası (ilk cezanın beş katı şeklinde, 2024 yılı yeniden değerlendirme oranı kapsamında 32.179 TL) uygulanarak, Maden Kanunu gereğince yapacağı beyanlar bir yıl süreyle geçersiz sayılmaktadır. Fiilin tekrarı halinde hak mahrumiyeti devam etmektedir. Uygulanan hak mahrumiyeti ve yapılan uyarılar Maden Mühendisleri Odasına bildirilmektedir.

Daimî nezaretçi, maden işletme faaliyetlerini düzenli bir şekilde denetleyerek, tespit ve önerilerini haftada en az bir kez daimî nezaretçi defterine yazmak zorundadır. Belirtilen bu süre içerisinde eğer işletmede yeni bir durum ve/veya işletme güvenliği yönünden riskli bir durum ortaya çıkarsa bu hususların aynı gün daimî nezaretçi defterine kaydedilmesi yasal bir zorunluluktur. Aksi takdirde, Maden Kanunu'nun 10'uncu maddesi gereği daimî nezaretçiye idari para cezası (2024 yılı yeniden değerlendirme oranı kapsamında 6.437 TL) uygulanır. Daimî nezaretçi tarafından ikinci kez yükümlülüklerin yerine getirilmemesi halinde idari para cezası artırılmış şekilde tekrar (ilk cezanın beş katı olacak şekilde, 2024 yılı yeniden değerlendirme oranı kapsamında 32.179 TL) uygulanarak Maden Kanunu gereğince yapacağı beyanlar bir yıl süreyle geçersiz sayılmaktadır.

Daimî nezaretçi defterinin mevzuatta belirtilen şekilde imzalanmaması veya düzenli olarak tutulması durumunda ruhsat sahibine Maden Kanunu'nun 10'uncu maddesi gereği idari para cezası (2024 yılı yeniden değerlendirme oranı kapsamında 199.834 TL) uygulanmaktadır [14].

Geçmiş yıllarda noter onaylı şekilde fiziki olarak tutulan daimî nezaretçi defterleri ile ilgili cezai yaptırımlar Maden Yönetmeliğinin geçici 4'üncü maddesinde düzenlenmiştir. Bu defterlerin, noter onaylı olmaması, Yönetmelikte belirlenen şekilde ve sürelerde düzenli ve uygun tutulmamış olması, ruhsat sahibi (veya vekili/yetkilisi) ve daimî nezaretçi tarafından imzalanmamış olması, MAPEG tarafından yapılan denetimlerde ibraz edilmemesi durumunda ruhsat sahibine Maden Kanununun 10'uncu maddesinin altıncı fıkrası kapsamında işlem yapılmaktadır. Ayrıca, bu defterlerin kaybedilmesi veya işyerlerinde beklenmeyen olayların (yangın, hırsızlık, sel gibi) yaşanması durumunda resmi kurumlarca tutulan olay yeri tutanakları ve gazete ilanının bir yazıyla MAPEG heyetinin görevlendirme tarihinden önce MAPEG'e verilmesi zorunludur. Aksi takdirde, yine ruhsat sahibine Maden Kanununun 10'uncu maddesinin altıncı fıkrası kapsamında işlem yapılmaktadır [19].

Maden Kanunu kapsamında uygulanan idari para cezalarının, yeniden değerlendirme oranı uyarınca yıllara göre güncellenen miktarları MAPEG tarafından yayınlanmaktadır [21].

#### 4. SONUÇLAR

Anayasamıza göre madenlerin gerçek sahibi olan Devlet, madenleri arama ve işletme hakkını belirli süreler için gerçek veya tüzel kişilere devredebilir. Maden mevzuatında, maden işletme faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için daimî nezaretçi atamasının yapılması yasal bir zorunluluk olarak ortaya konulmuştur. Madencilik faaliyetinde bulunulan alanlarda, farklı mevzuat hükümleri çerçevesinde çeşitli kamu kurum ve kuruluşlarında görevli Devlet görevlileri tarafından yapılan denetimlere ilave olarak, daimî nezaretçinin de görevli bulunduğu maden işletmesinde kısmen/dolaylı olarak Devlet adına denetim ve kontrol yapan bir mühendis olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, maden işletmelerindeki denetim mekanizmasının ilk halkasını daimî nezaretçi oluşturmaktadır.

Maden Kanunu'nun yürürlüğe konulma amacı, milli menfaatlere uygun şekilde madenlerin aranması, işletilmesi ve madenler üzerinde hak sahibi olunması ve terk edilmesidir [14]. Bu amaç dikkate alındığında, daimî nezaretçilerin mühendislik hizmeti haricinde, madenlerin milli menfaatlere uygun olarak işletilmesinde, Devletimiz ve milletimiz adına önemli bir görev üstlenmektedir.

Maden ruhsatlarında yapılan maden işletme faaliyetlerinin devamlılığı, mikro ölçekten makro ölçüğe kadar madencilik sektörü ile ilgili tüm iş kolları açısından önem arz etmektedir. Maden ruhsat sahipleri, madenlerde çalışan işçiler ile teknik personellerin kendileri ve aileleri, madenlerin çıkarıldığı yörelerin halkı başta olmak üzere, nakliyeden sorumlu firmalar, madenlere dayalı çalışılarak ara ve uç ürün üretilen tesisler-fabrikalar, madenlere dayalı sanayi, enerji, endüstri, ihracat faaliyetleri gibi birçok sektör ve alt sektör ile ilişkili ve etkileşim içerisinde olan ve ilk başlangıç noktasında bulunan daimî nezaretçilerin madencilik sektöründe önemli görev, yetki ve sorumlulukları vardır.

Daimî nezaretçi atamalarında özellikle yeraltı ocakları için ayrı mevzuat düzenlemeleri yapılmıştır. Yeraltı işletme yöntemiyle çalışılan kömür işletmelerinde daimî nezaretçi olarak atanacak maden mühendislerinin, yer altı kömür işletmelerinde en az beş yıl maden mühendisi olarak çalışmış olması, yeraltı işletme yöntemiyle çalışılan kömür harici yeraltı işletmelerinde daimî nezaretçi olarak atanacak maden mühendislerinin ise yeraltı işletmelerinde en az üç yıl maden mühendisi olarak çalışmış olması gerekmektedir. Anlaşılacağı üzere, özellikle yeraltı kömür maden işletmeleri ayrı tutulmuş ve yeraltı kömür madenlerinde belirtilen yıl şartını sağlayan maden mühendisleri bütün yeraltı ocaklarına atanabilirken, kömür harici yeraltı işletmelerinde mevzuatın belirlediği yıldan daha fazla çalışmış olan bir maden mühendisi eğer tecrübesi yok ise yer altı kömür işletmelerine daimî nezaretçi olarak atanamamaktadır. Maden Yönetmeliğinde yeraltı ocaklarına benzer şekilde açık ocaklarda da bir istisna getirilmiştir. İşletme projesinde yıllık olarak üretilmesi planlanan tüvenan maden üretim miktarı en az beş milyon ton olan maden işletmelerinde yapılacak daimî nezaretçi atamalarında herhangi bir maden işletmesinde en az üç yıl maden mühendisi olarak çalışmış olma şartı aranmaktadır. Maden ruhsat ve hammadde üretim izin sahalarındaki, işletme faaliyetleri olarak tanımlanan üretim ve üretime hazırlık çalışmalarının devam edebilmesi yönüyle aldığı görev, yetki ve sorumluluğun daimî nezaretçiyi madencilik sektörünün en kritik teknik personeli yaptığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, Maden Kanunu hükümleri ile birçok farklı talebin MAPEG

tarafından değerlendirmeye alınabilmesi açısından da daimî nezaretçinin istihdam edilmesi şart koşulmuştur.

Daimî nezaretçi atamasının yapılabilmesi için, Maden Yönetmeliğine göre çok sayıda şart ve belge gereklidir. Bunların başında, daimî nezaretçi sertifikasına sahip olunması gelmektedir. Daimî nezaretçi sertifikası açısından kazanılmış hakkı bulunmayan ve bu sertifikayı ilk kez alacak maden mühendislerinin öncelikle daimî nezaretçi eğitimlerine katılması gereklidir. Daimî nezaretçi sertifika eğitimleri, 2017 yılından itibaren MAPEG tarafından yapılmaktadır. Eğitim sonucunda yapılan sınavda başarılı olanlara daimî nezaretçi sertifikası düzenlenmektedir. Daimî nezaretçi eğitimlerine en yüksek talep 2018 yılında olmuştur. Beş yıl süre ile düzenlenen daimî nezaretçi sertifikasının yenilenebilmesi için sınav şartı olmaksızın tekrar eğitime katılım sağlanması gereklidir.

## TEŞEKKÜR

Daimî nezaretçi uygulamalarında önemli katkıları olan ve makalenin oluşturulması aşamasında bilgi ve tecrübelerine başvurduğumuz Maden ve Petrol Uzmanı Sn. İbrahim Halil DEMİR'e teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Cumhuriyeti Anayasası. (1982). T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2709&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>
- [2] Akbulut, A., Özdoğan, A. K. & Demir, B. G. (2023). Maden Mühendisliği Lisans Eğitiminde Kadın Öğrenci ve Akademisyen Sayılarının İncelenmesi. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 5(2), 215-226. DOI: 10.47898/ijeased.1338474
- [3] Maral, M. (2019). Daimî Nezaretçinin Görev, Yetki ve Sorumlulukları & Nezaretçiler Açısından Maden İşletmelerinin Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [4] 6309 sayılı Maden Kanunu. (1954). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/8655.pdf>
- [5] 3213 sayılı Maden Kanunu. (1985). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18785.pdf>.
- [6] Maden Kanununun Uygulanmasına Dair Yönetmelik. (1985). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18850.pdf>
- [7] Maden Kanunu'nda ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına İlişkin Kanun (Kanun no:5177). (2004). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/06/20040605.htm>
- [8] Maden Kanunu'nda ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (Kanun no:5995) (2010). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100624-1.htm>
- [9] Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (Kanun no:6592). (2015). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/02/20150218-1.htm>
- [10] Maden Kanunu Uygulama Yönetmeliği. (2005). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050203-2.htm>
- [11] Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği. (2010): Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/11/20101106-6.htm>
- [12] Maden Yönetmeliği. (2017). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/09/20170921-1.htm>

- [13] Maden Yönetmeliği. (2022). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/12/20221211-1.htm>
- [14] 3213 sayılı Maden Kanunu. (1985). T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, Erişim Adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=3213&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>
- [15] Daimî Nezaretçi Uzaktan Eğitimi. (2023). Erişim Adresi: <https://www.mapeg.gov.tr/Home/Announcement/2981%20Daimi-Nezaretci-Uzaktan-Egitimi>
- [16] Daimî Nezaretçi Eğitimi. (2024). Erişim Adresi: <https://www.mapeg.gov.tr/Home/Announcement/3305%20Daimi-Nezaretci-Uzaktan-Egitimi>
- [17] Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) 2022 Yılı Faaliyet Raporu. (2023). Erişim Adresi: [https://www.mapeg.gov.tr/Uploads/Dosyalar/MAPEG%202022%20Y%C4%B1%C4%B1%20C4%B0dare%20Faaliyet%20Raporu%2028.02.2023%2016\\_50.pdf](https://www.mapeg.gov.tr/Uploads/Dosyalar/MAPEG%202022%20Y%C4%B1%C4%B1%20C4%B0dare%20Faaliyet%20Raporu%2028.02.2023%2016_50.pdf)
- [18] Akbulut, A. (2023). Ülkemiz Madencilik Sektörünün Geleceği Açısından Maden, Jeoloji ve Jeofizik Mühendisliklerinin Tercih Edilirliğinin Önemi, Üç Mühendislik Disiplinin Maden Kanunu Kapsamındaki Yeri, Görev, Yetki ve Sorumluluklarının İncelenmesi, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [19] Maden Yönetmeliği. (2022). T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, Erişim Adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=39873&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- [20] TMMOB Maden Mühendisleri Odası. (2023). Haberler, Maden Yönetmeliği'nin Bazı Maddeleri İle İlgili Yürütmenin Durdurulmasına Karar Verilmiştir! Erişim Adresi: <https://www.maden.org.tr/icerik/maden-yoenetmeli-gi-nin-bazi-maddeleri-ile-ilgili-yueruetmenin-durdurulmasina-karar-verilmistir-202310051742>
- [21] Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü. (2024). 2024 Yılına ait Mali Yükümlülükler. Erişim Adresi: <https://www.mapeg.gov.tr/Home/Announcement/3201%202024-Yili-Mali-Yukumlulukler>



## **EVSEL ATIK SULARIN STERİLİZASYON CİHAZI TASARIMI ve DOĞRULAMASI**

<sup>1</sup>Raziye Lökücü\*, <sup>1</sup>Ahmet Can Alataş, <sup>1</sup>Merdan Özkahraman, <sup>1</sup>Bekir Aksoy  
<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Bölümü, Isparta

### **ÖZET**

Modern toplumların en büyük sorunlarından biri olan evsel atıkların çevreye verdiği zararlar göz önünde bulundurulduğunda, bu makale 'evsel atıkların sterilizasyon cihazı tasarımı' konusundaki önemli bir adımı temsil etmektedir. Bu çalışmada, bina atık sularının kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen tıkanmalar ve mikroorganizmalardan kaynaklanan birikimler nedeniyle oluşan çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, Ultraviyole (UV) ışık kullanılarak mikroorganizmaların arındırılması ve öğütücü yardımıyla katı atıkların fiziksel parçalanması gibi yenilikçi yaklaşımlar sunulmaktadır. Bu tasarımın gerçekleştirilmesiyle, şehir kanalizasyon hatlarında taşkın riski azalacak ve mikroorganizma içeren sıvı akışının çevre kirliliğine yol açması önlenecektir. Ayrıca, bina atık sularının kanalizasyona karışması, tıkanma ve taşma problemleri, arıtılmamış su tüketimine bağlı hastalık riski, kirliliği atık suların tarım alanlarına sızması gibi çeşitli sorunlara etkili çözümler sunulmuştur

**Anahtar Kelimeler:** UV Sterilizasyon, Evsel Atık Su, Mikroorganizmalar, Elektroliz.

### **DESIGN AND VALIDATION OF HOUSEHOLD WASTEWATER STERILIZATION APPARATUS**

#### **ABSTRACT**

When considering the environmental impact of household waste, which is one of the major challenges of modern societies, this article represents a significant step in the field of 'design of domestic waste sterilization apparatus'. In this study, the aim is to mitigate the environmental effects caused by blockages in sewage systems due to building waste and accumulations resulting from microorganisms. Toward this objective, innovative approaches such as the use of Ultraviolet (UV) light for microbial disinfection and the physical fragmentation of solid waste through a grinder are presented. The realization of this design would lead to a reduced risk of sewage overflow in urban sewage lines, thereby preventing the discharge of microorganism-laden liquids that contribute to environmental pollution. Furthermore, the proposed design offers effective solutions to various issues, including the prevention of household wastewater mixing with sewage, mitigation of problems related to blockages and overflow, reduction of disease risks associated with untreated water consumption, and prevention of contaminated wastewater infiltration into agricultural areas.

**Keywords:** UV Sterilization, Household Wastewater, Microorganisms, Electrolyse.

## 1. GİRİŞ

Çevresel sürdürülebilirlik, günümüzde küresel çapta en önemli endişelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle modern toplumların artan nüfusu ve tüketim alışkanlıkları, evsel atıkların yönetimi ve bertarafı konusunda ciddi zorluklar doğurmuştur. Evsel atıkların çevreye verdiği zararlar, su kirliliği, mikrobiyal bulaşma ve ekosistem bozulmaları gibi geniş bir yelpazede kendini göstermektedir. Bu bağlamda, evsel atık yönetiminin geliştirilmesi ve çevresel etkilerinin en aza indirilmesi amacıyla yenilikçi çözümler arayışı önem kazanmıştır.

Kanalizasyonda toplanan atık sular, çeşitli bakteri ve mikroorganizmaları içermektedir. Bu durum, kanalizasyon sistemlerindeki arıtma tesislerine ulaşmadan önce oluşabilecek tıkanma veya taşma gibi beklenmeyen durumlar sonucunda, çevresel açıdan önceden tahmin edilemeyen sorunlara yol açabilir. Bu ve benzer sorunların etkilerini minimize etmek amacıyla, evsel atıkların kanalizasyona ulaşmadan önce arıtılması hedeflenmektedir. Bu arıtma işlemi, atıkların öğütülerek Ultraviyole (UV) ışınlarıyla etkileşime girmesi ve ardından filtrelenmesi prensibine dayanmaktadır. Ayrıca, olası katı atık kaynaklı kanalizasyon tıkanmalarının da mekanik parçalama yöntemiyle engellenmesi amaçlanmaktadır.

Benzer olarak 2015 yılında yapılan bir çalışmaya göre atık sudan nitrojen kazanımı hedeflenerek kendi kendine çalışan bir reaktör tasarlanmıştır. Kısaca bu çalışmada mikrobiyal yakıt hücresinin elektrik performansının atık suyun elektrolizini aynı reaktör içinde kendi kendine katolit oluşumuna yönlendirdiği bir süreç önerilmiştir. Bu araştırma sonucunda mikrobiyal yakıt hücrelerinin bir su geri kazanım sistemi olarak istenmeyen biyofilm [1] oluşumunu sınırlayan bir dezenfektan/temizleyici jeneratör ve sanitasyonu iyileştirmek için susuz pisuarlarda bir yıkama maddesi olarak hizmet edebileceği ortaya çıkmıştır. Böylece organik atıklardan doğrudan elektrik ve su geri kazanımı yapılabilir. Bu durum sürdürülebilir atık arıtımı sisteminde önemli gelişmelere kapı aralamıştır.

Biyokütle ve ev atıkları, bulunabilirlikleri, miktarları ve biyoenerji potansiyelleri açısından Birleşik Krallık biyoenerji sektörü için büyük umut vaat eden kaynaklar olarak tanımlanmıştır [2]. Atık su elektrokimyasal hücreleri (WEC), geleneksel kentsel altyapıya sahip olmayan uzak yerlerde sanitasyonun [3] iyileştirilmesi için atık arıtımı için önerilmiştir [4]. Bununla birlikte, elektrokimyasal sistemlerin daha sürdürülebilir bir uygulaması, atık su arıtımı için uygun bir doğrudan elektrik üreticisi olarak mikrobiyal yakıt hücresi (MFC) tarafından sunulmaktadır [5-7]. Teknoloji, suyun [8] ve besinlerin [9] geri kazanılması için geliştirilmiştir ve pratik uygulamalar [10-12] için uygundur. MFC işlemi sırasında, protonlar ve katyonlar zardan katoda geçerken, su aynı anda elektroozmotik sürüklenme ile hareket eder.

Su, hava ve yüzey sterilizasyonu için ultraviyole teknolojisi Ultraviyole C (UV-C) radyasyonunun [17] antiseptik etkisine dayanmaktadır. UV sterilizasyon teknolojisi içme suyu temini, atık su arıtımı, hava ve yüzey sterilizasyon uygulamaları için uygulanabilir. Bu teknolojinin en büyük avantajları:

- Kullanımı uygundur ve kimyasallara gerek yoktur. Dolayısıyla kimyasal kalıntı bırakmaz.
- İlaça dirençli bakteriler de dahil olmak üzere her türlü mikroorganizmayı öldürebilir.

Dezavantajları:

- UV-C insanlar için tehlikelidir. Bu nedenle UV sterilizasyonu genellikle koruyucu kalkanlı UV-C lambalar kullanılarak yapılır. UV-C kullanırken özellikle cilt ve gözlere doğrudan temasından kaçınılmalıdır.
- UV sadece ışık yolunda çalışır ve nesnelere tarafından engellenebilir [18].

HOCl, hafif bir narenciye suyu kuvvetinde, zayıf bir asit olan Hipokloröz Asit'in bilimsel formülüdür [19]. Klor, hipokloröz asit ve oluşturacak şekilde çözünür [20]. Tepkime Denklem 1'de görülmektedir:



Mikroorganizmalar üzerine parçalayıcı etkiden sorumludur. Bu nedenle HOCl, aktif klor olarak adlandırılır. Suda iyonizasyona uğrar. Hipokloröz asit pH 6'nın altında çözünmezken bu değerin üzerinde çözünmeye başlar ve pH 9'un üzerinde ortamda hipoklorid iyonu üstün duruma geçer. Bu nedenle, klorun dezenfekte edici etkisi pH'taki artışla azalır. HOCl, istilacı bakteri, mantar ve virüslere karşı etkili olan güçlü bir oksidandır. 1970'lerde tuzlu su çözeltisinden elektrik geçirilerek ilk HOCl üretilmiştir [21]. HOCl, bakteri ve virüslere karşı kendisinin ürettiği, doğadaki patojen mikroorganizmalara karşı en etkin maddedir. Tuzlu suyun elektro-kimyasal aktivasyonundan (ECA) HOCl üretimi 1970'lerde geliştirilmiştir. ECA sadece tuz ve suyun, elektrokimyasal hücrede elektrolizi ile % 100 doğada çözünebilen, dezenfektan olan Hipokloröz Asit (HOCL) ya da diğer adıyla süper okside su üretmeye yarayan patentli bir teknolojidir [22]. Katot tarafında toplanan maddelere Katolit (Catholyte), anot tarafında toplanan maddelere Anolit (Anolyte) adı verilir. Anolit solüsyonu ağırlıklı su ve Hipokloröz Asitten oluşmaktadır.

Bu makale, evsel atıkların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik bir yaklaşım olan 'evsel atık sterilizasyon cihazı tasarımı' konusunu ele almaktadır. Mikroorganizmaların yayılmasını engellemek ve atık suyun daha güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini sağlamak amacıyla geliştirilen bu tasarım, evsel atıkların yönetimi konusunda önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bina atık sularının kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen tıkanmaların ve mikroorganizmaların neden olduğu kirliliğin azaltılması hedeflenmektedir. Makalenin devamında, evsel atık sterilizasyon cihazının tasarımı ve işleyişi detaylı bir şekilde incelenecek, kullanılan teknolojiler ve yöntemler açıklanacak ve elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir. Bu çalışmanın amacı, evsel atık yönetimi alanında çevresel sürdürülebilirliği artırmaya yönelik katkı sağlamaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Hipokloröz Asit Üretimi

Hipokloröz asit üretimi için her bir litre saf suya 2 gram tuz ilave edilmiştir. Bu oran, asitin berraklığı ve pH seviyesi göz önünde bulundurularak deneysel olarak belirlenmiştir. Asit üretimi için kullanılan demir çubuklar, krom alaşımlı paslanmaz çelik tellerden imal edilmiştir. Bu yaklaşım, paslanma ve kir birikimi olasılığını minimize ederek asit verimliliğini olumsuz etkilerden korumuş olduğu görülmüştür.

## 2.2. Depolama Sistemi

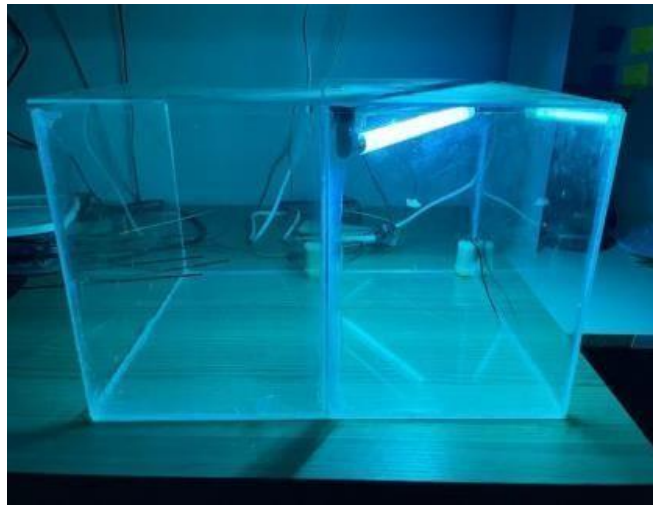
Sterilazsyon sisteminde kullanılacak olan atık su depo sistemi, farklı ev tiplerinin günlük su tüketim ihtiyaçlarına göre tasarlanmıştır. Depo hacmi, günlük ortalama evsel su kullanımı temel alınarak belirlenmiştir. Bir kişi için günlük ortalama atık su miktarı 80 ile 160 litre arasında değişmektedir [22, 23]. 4 kişilik bir aile için 480 litre kapasiteli bir deponun günlük hacmi karşılayabileceği öngörülmektedir. Deneysel çalışmaya uygun bir örnek depo, uygun ölçülerde kesilmiş parçaların birleştirilmesiyle iki aşamalı bir sistem olarak inşa edilmiştir. Sistem, gün içinde gereken sıklıkta çalışması için evsel su tüketim verileri esas alınarak hesaplanmıştır. Depoda yer alan su miktarının seviyesinin kontrol edilebilmesi için su seviye sensörü kullanılmıştır. Sistemde sıvıların yer değişiminin sağlanabilmesi amacıyla katı atığa uyumlu sıvı pompası kullanılmıştır.

## 2.3. Ultraviyole (UV) Sterilizasyon Sistemi

Ultraviyole (UV) veya morötesi ışınlar, ortam sterilizasyonunda etkili bir yöntem olarak kabul edilir. UV ışınlarının dalga boyu 100 nm ile 400 nm arasında olduğundan, insan gözü tarafından algılanamaz [14]. UV sterilizasyon lambası, düşük basınçlı cıvalı lamba ile ultraviyole ışınları yayabilen bir cihazdır. Bu ışınlar, bakteriyel proteinlerin fotolizi ve denatürasyonuna neden olarak mikroorganizmaların hücresel aktivitelerini etkisiz hale getirir [13]. Ultraviyole teknolojisinin önemli avantajları arasında şunlar yer alır:

- Klora dirençli mikroorganizmalar da dahil olmak üzere çeşitli mikroorganizmalara karşı yüksek etkinlik sunar.
- Su ve havanın fiziksel, kimyasal ve organoleptik özelliklerini değiştirmez; yan ürün veya tehlikeli doz aşımı riski yoktur.
- UV sistemleri, kullanımı kolay ve etkilidir; özel operasyonel güvenlik önlemleri gerektirmez.

Bu bölümde tanımlanan yöntemler, çalışmanın temel materyal ve yöntemlerini açıklamakta olup, deneylerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların elde edilmesi için kullanılan önemli adımları özetlemektedir. Şekil 1'de deneysel sistemin görseli görülmektedir.



Şekil 1. Deneysel Sterilizasyon Sistemi



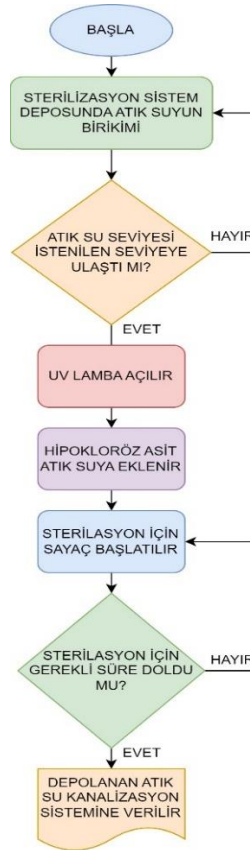
## 2.4. Sistem Kontrolü

Tasarımı yapılan sistemin otomatik kontrollü olarak çalıştırılabilmesi için mikrodenetleyiciden yararlanılmıştır. Mikrodenetleyiciler, gömülü sistemlerde gerçek zamanlı tepki sağlayabilme özellikleri nedeniyle tercih edilen bileşenlerdir [15]. Bu bağlamda, sterilizasyon sisteminin sistematik ve kontrollü bir şekilde ilerlemesi için mikrodenetleyiciler kullanılmıştır. Depo vanalarının açılıp kapanması, öğütücüye aktarımın yönetimi, sterilizasyon deposundan işlemler tamamlandıktan sonra kanalizasyon şebekesine aktarımı gibi işlemler, gerçekleştirilirken mikrodenetleyicilerin sağladığı hassas kontrol ve zamanlama avantajlarından yararlanılmıştır.

## 2.5. Prototip Aşaması

Sistemde güç kaynağı olarak akü kullanılmıştır. Sistemdeki yoğun katı atıkların etkilerini en aza indirmek amacıyla, katı atıkların öğütülmesine karar verilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, katı atıkların borularda olası çatlak ve deformasyonlara neden olma riski önceden engellenmiştir.

Prototip aşamasında, montaj işlemleri tamamlanmış ve su seviyesini algılama yeteneğine sahip yazılım geliştirilmiştir. Ardından deneysel örnek tasarımı için pompanın en uygun konumu tespit edilmiş ve montajı gerçekleştirilmiştir. Sistemin gerçek ölçekli versiyonları, konutlara kurulmak istendiğinde bina veya blok giderlerinin birleştiği noktalara ve kullanıcının taleplerine göre depo sisteminin atık su üretimine bağlı olarak büyütülebileceği öngörülmektedir. Sıvı seviyesine bağlı olarak çalışan pompaya özgü algoritma yazılmış ve pompalamanın etkinliği değerlendirilmiştir. Geriye kalan bileşenlerin montajı tamamlanarak prototip işlevsel hale getirilmiştir. Sistemin genel akış diyagramı aşağıdaki Şekil 2’de görülmektedir.



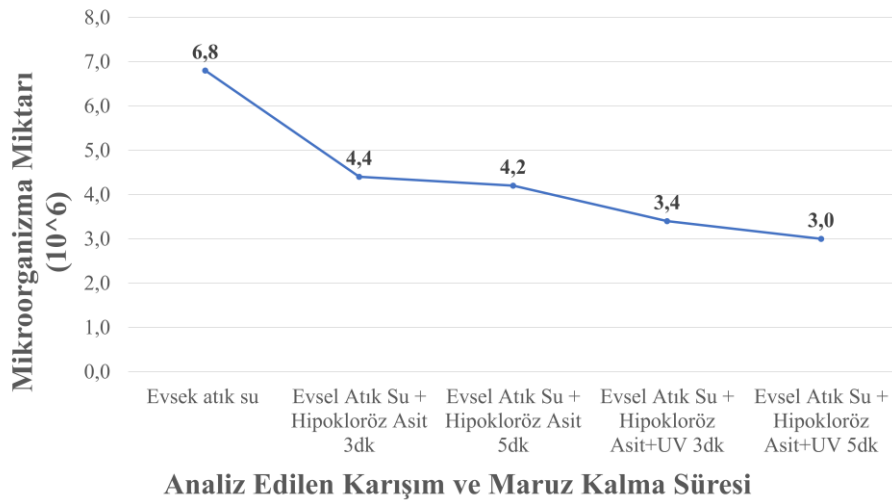
Şekil 2. Sistem akış şeması

### 3. BULGULAR

Sistemin etkinliğinin değerlendirilmesi için belirli zaman aralıklarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler neticesinde, sistemin atık sulardaki bakteri miktarını düşürmede başarılı bir performans sergilediği gözlemlenmiştir. Bu bölümde sunulan sonuçlar, mutfak kullanımına dayalı olarak elde edilmiştir ve atık su numuneleri 2-3 günlük bir süre boyunca toplanarak test amacıyla gönderilmiştir. Hipokloröz asitin ve UV lambanın etkilerinin ayrı ayrı anlaşılabilmesi için deney numuneleri 3 başlıkta kategorize edilmiştir. Bunlar atık su, atık su ve asit karışımı, atık su ve asit karışımına ilave UV lamba etkisi olarak gösterilebilir. Bu başlıklar asite ve UV lamba etkisine maruz kalma süresi olarak da 3 dakika ve 5 dakika olmak üzere iki grupta değerlendirilmiştir. Analizler, farklı sterilizasyon yöntemlerinin etkisini değerlendirmek üzere Çizelge 1'de sunulmuştur. Sterilizasyon sisteminin çalışma durumunda düşen mikroorganizma grafiği Şekil 3'de görülmektedir.

**Çizelge 1.** Atık su analiz sonuçları

Analiz Edilen Karışım	Maruz Kalma Süresi(dk)	Mikroorganizma Miktarı( $10^6$ )
Evsek atık su	-	6.8
Eysel Atık Su + Hipokloröz Asit	3	4.4
Eysel Atık Su + Hipokloröz Asit	5	4.2
Eysel Atık Su + Hipokloröz Asit+UV	3	3.4
Eysel Atık Su + Hipokloröz Asit+UV	5	3.0



**Şekil 3.** Sterilizasyon sisteminde zamana bağlı mikroorganizma sayısının grafiği

Tablo 1 ve Şekil 3 incelendiğinde görüleceği üzere, evsel atık sularındaki bakteri miktarı başlangıçta  $6.8 \times 10^6$  olarak ölçülmüştür. Bu değeri azaltmak amacıyla farklı sterilizasyon işlemleri uygulanmıştır; İlk aşamada, evsel atık su hipokloröz asitte 3 dakika bekletilmiş ve sonuç olarak bakteri miktarı  $4.4 \times 10^6$  olarak tespit edilmiştir. Daha sonra, bekleme süresinin sterilizasyon etkisini değerlendirmek için evsel atık su hipokloröz asit karışımında 5 dakika bekletilmiş ve bakteri miktarı  $4.2 \times 10^6$  olarak bulunmuştur.

UV ışığının etkisini incelemek amacıyla, evsel atık su hipokloröz asit karışımı 3 dakika boyunca UV ışığına maruz bırakılmıştır; sonuç olarak mikroorganizma miktarı  $3.4 \times 10^6$  olarak belirlenmiştir. Aynı karışımın, bekleme süresinin de etkisini değerlendirmek amacıyla 5 dakika boyunca UV ışını ile birlikte test edilmesi sonucunda ise suyun mikroorganizma miktarı  $3.0 \times 10^6$  olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak, evsel atık sularındaki bakteri miktarının farklı sterilizasyon yöntemleri ile önemli ölçüde düşürüldüğü ve bu yöntemlerin suyun mikrobiyal içeriğini azaltmada etkili olduğu tespit edilmiştir. Sürenin 5dk'dan 15dk'ya kadar uzaması durumunda mikroorganizma sayısında kayda değer bir düşüş görülmediği için optimum süre 5dk olarak kabul edilmiştir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, evsel atıkların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik bir "evsel atık sterilizasyon cihazı" tasarımını ve uygulanabilirliğini ele almaktadır. Elde edilen bulgular, farklı sterilizasyon yöntemlerinin evsel atık sularındaki mikroorganizma miktarını önemli ölçüde azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Mikrodenetleyicilerin kullanımı, sistemin hassas kontrol ve zamanlama avantajlarına sahip olmasını sağlamıştır. Analiz sonuçlarına dayalı olarak, evsel atık suların hipokloröz asit ve UV ışığı gibi kombinasyonlarla işlenmesinin suyun mikrobiyal içeriğini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Özellikle, evsel atık suya hipokloröz asit eklenmesi ve UV ışığının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar, mikroorganizma miktarının ciddi şekilde azaldığını göstermektedir. Bu sonuçlar, evsel atıkların kanalizasyon sistemine girmeden önce etkili bir şekilde sterilize edilmesinin, çevresel kirlilik ve sağlık risklerini azaltmak için etkili bir yol olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, tasarımın mikrodenetleyiciler gibi teknolojilerin kullanımıyla sistematigi ve kontrolü artırdığı görülmektedir.

Bu çalışma, evsel atık sterilizasyonunun çevresel sürdürülebilirliğe ve halk sağlığına katkı sağlayabilecek etkili bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır. Evsel atıkların çevresel etkilerini azaltmak ve su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamak için yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Gelecekteki araştırmalar, tasarımın ölçeklendirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve farklı su kaynakları üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gibi alanlara odaklanabilir. Evsel atık sterilizasyonunun çevresel sürdürülebilirliği artırmada ve toplumsal sağlık risklerini azaltmada önemli bir adım olduğunu göstermektedir. Yeni teknolojilerin kullanımı ve araştırmaların devamı, gelecekte daha temiz ve sağlıklı bir çevrenin oluşturulmasına yönelik daha fazla fırsat sunabilir.

## 5. TEŞEKKÜR

2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında 1919B12102252 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

1. Willke Topçu, A. (2018). Biyofilm Nedir? *Biyofilm Enfeksiyonları. 1. Baskı*. Türkiye Klinikleri. 1-3. Ankara.
2. Welfle, A., Gilbert, P., Thornley, P. (2014). Increasing biomass resource availability through supply chain analysis. *Biomass and Bioenergy* 70, 249–266.
3. Brown, J., Acey, C. S., Anthonj, C., Barrington, D. J., Beal, C. D., Capone, D., Winkler, I. T. (2023). The effects of racism, social exclusion, and discrimination on achieving universal safe water and sanitation in high-income countries. *The Lancet Global Health*, 11(4), e606-e614.
4. Allen, R. M., Bennetto, H. P. (1993). Microbial fuel-cells. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 39–40, 27–40
5. Habermann, W., Pommer, E. (1991). Biological fuel cells with sulphide storage capacity. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 35, 128–133
6. Lovley, D. R. (2008). The microbe electric: conversion of organic matter to electricity. *Curr. Opin. Biotechnology* 19, 564–71
7. Zhang, F., Brastad, K. S., He, Z. (2011). Integrating forward osmosis into microbial fuel cells for wastewater treatment, water extraction and bioelectricity generation. *Environ. Sci. Technol.* 45, 6690–6
8. You, J., Greenman, J., Melhuish, C., Ieropoulos, I. (2014). Electricity generation and struvite recovery from human urine using microbial fuel cells. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*
9. Ieropoulos, I., Greenman, J., Melhuish, C. (2010). Improved energy output levels from small-scale Microbial Fuel Cells. *Bioelectrochemistry* 78, 44–50
10. Ieropoulos, I. *et al.* (2013). Waste to real energy: the first MFC powered mobile phone. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 15, 15312–15316
11. Ieropoulos, I., Greenman, J., Melhuish, C., Horsfield, I. (2010). EcoBot-III-A Robot with Guts. *ALIFE* 733–740
12. Ruiz-Díez, C., Navarro-Segarra, M., Barrena, R., Gea, T., Esquivel, J. P. (2023). Optimization of UV-C pulsed radiation strategy for a high-efficiency portable water sterilizer. *Environmental Technology & Innovation*, 31, 103199.
13. Iwaguch, S., Matsumura, K., Tokuoka, Y., Wakui, S., Kawashima, N. (2002). Sterilization system using microwave and UV light. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 25(4), 299-304.
14. Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*, 101(5), 4020-4033.
15. Ibrahim, D. (2006). Microcontroller based applied digital control. John Wiley.
16. Diffey, B. L. (2002). Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods*, 28(1), 4-13.
17. Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F., Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. *Water research*, 40(1), 3-22.

18. Block, M. S., Rowan, B. G. (2020). Hypochlorous acid: a review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 78(9), 1461-1466.
19. Ampiauw, R. E., Yaqub, M., Lee, W. (2021). Electrolyzed water as a disinfectant: A systematic review of factors affecting the production and efficiency of hypochlorous acid. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102228.
20. Eryilmaz, M., Palabiyik, I. M. (2013). Hypochlorous acid-analytical methods and antimicrobial activity. *Tropical journal of pharmaceutical research*, 12(1), 123-126.
21. Mehendale, F. V., Clayton, G., Homyer, K. M., Reynolds, D. M. (2023). HOCl vs OCl<sup>-</sup>: clarification on chlorine-based disinfectants used within clinical settings. *Journal of Global Health Reports*, 7, e2023052.
22. Erdoğan, A. O., Zengin, G. E., Orhon, D. (2010). Türkiye'de evsel atıksu oluşum miktarları ve karakterizasyonu. *İTÜDERGİSİ/e*, 15(1, 3).
23. ÜSTÜN, G., TIRPANCI, A. (2015). Gri suyun arıtımı ve yeniden kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(2), 119-139.



## IOT SECURITY AND SOFTWARE TESTING

Osman Can ÇETLENBİK<sup>1</sup>, Ahmet Ali SÜZEN<sup>2\*</sup>, Burhan DUMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isparta University of Applied Sciences, Graduate Education Institute, Computer Engineering, Isparta

<sup>2</sup> Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Computer Engineering, Isparta

**Corresponding Author:** ahmetsuzen@isparta.edu.tr

### ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) symbolizes the era of increased information exchange and interaction between devices through Internet of Things technology. However, this fascinating technology brings with it a number of security challenges. Some of the security issues stem from the nature of IoT devices. IoT devices are often designed to be cheap and uncomplicated. As a result, security tests may be neglected and security vulnerabilities may arise. There are other factors that compromise the security of IoT devices. For example, most IoT devices have standard passwords that have not been changed. Attackers can easily seize devices by manipulating them. There are data leaks from compromised devices.

**Keywords:** Internet of Things, Cybersecurity, Smart Device

### 1. INTRODUCTION

IoT is an emerging technological field as one of the precursors of digital transformation. The concept of the Internet of Things is basically defined as a network structure that allows many devices to interact with each other or through the internet [1]. IoT offers a wide range of applications ranging from everyday life to industrial applications. IoT is based on equipping objects in the physical world with sensors, software and network connections. In this way, these objects can collect and share data and perform many tasks. From smart home systems to wearable technology devices, from industrial sensor networks to smart urban applications, many IoT models are used in different aspects of daily life and business [2]. With the widespread adoption of Internet

of Things technology, previously impossible improvements in data analytics, automation systems and user experiences are being experienced. In addition to the advantages of these technologies, cyber security threats are emerging. Cyber security threats are becoming increasingly complex and sophisticated. These threats pose a significant risk to businesses, public institutions and individuals.

## 2. IOT ARCHITECTURE AND LAYERS

IoT architecture is a framework that defines the key factors in IoT systems and how they are integrated with each other. Typically, IoT systems consist of three basic layers:

**Sensing and Collection Layer:** Sensors, devices and other information sources used to monitor environmental conditions and collect data are located in this layer [3]. Generally, devices such as temperature sensors, motion sensors, humidity meters are located in this layer. This layer collects data from the physical world and prepares the data for processing.

**Network and Communication Layer:** It provides the network infrastructure for the transmission and transfer of collected data. It is the layer where wireless communication protocols, gateways, access points and other communication tools are located. It provides secure and reliable data transmission.

**Application and Analysis Layer:** Processing and analyzing the collected data and presenting the results to the user or other systems are carried out at this layer. Technologies such as data analytics, artificial intelligence, cloud computing and application development are key components of this layer. This layer creates the ultimate value of the IoT system and makes it possible for the benefits to be realized by users or other systems.

## 3. INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIOT) AND SECURITY

The Industrial Internet of Things (IIoT) encompasses IoT applications used in industrial plants, power plants, logistics distribution channels and other industrial facilities. These applications aim to automate industrial processes, increase productivity, improve production quality and reduce costs. IIoT collects and analyzes large amounts of data and enables optimization of processes based on this analysis.

IIoT systems is critical to increase efficiency and optimize operations in industrial facilities. The systems often collect, transmit and control large amounts of sensitive data, so security measures must be rigorously implemented. Establishing contingency plans, network and device security, and taking measures against malware are important in industrial IoT security [18].

#### **4. IOT SECURITY THREATS**

IoT faces significant security threats due to the increasing number and variety of connected devices. These threats can be of various magnitudes and can affect personal privacy and organizational security [4]. Data security and privacy breaches are at the top of the list of threats. IoT devices collect and process mostly sensitive data [5]. In the event of a data security breach, users' personal data becomes vulnerable to cyber-attacks and access by malicious actors. In addition, deficiencies such as insufficient encryption or lack of authentication used in information sharing on devices put data security at risk. Authentication and authorization issues pose a significant risk to IoT security. Devices often communicate over a complex network, and unless authentication and authorization processes are done correctly, their security is greatly compromised. In order to understand the potential risks posed by IoT and to determine effective security strategies, studies in this field should be handled meticulously.

Secure software development processes are of great importance in detecting security vulnerabilities of IoT devices and applications. Secure software development tests are carried out to detect vulnerabilities in IoT devices and applications, identify possible attack points and eliminate these vulnerabilities. It is of great importance in increasing the resilience of the developed software against attacks, ensuring data security and ensuring the safe operation of the devices.

#### **5. SOFTWARE TESTING SECURITY AND LITERATURE REVIEW**

IoT technology security is becoming an increasingly important priority in today's complex and dynamic threat landscape. In this context, the adoption and effective implementation of secure software development processes play a critical role in detecting and remediating security vulnerabilities in IoT devices and applications. Below are the testing processes used in IoT technologies and the results of the literature review.

##### **5.1. Penetration Testing**

Penetration testing is the process of evaluating IoT devices through the eyes of a malicious intruder. These tests are carried out to identify potential vulnerabilities, identify vulnerabilities and strengthen defense mechanisms for these issues. By evaluating the effectiveness of security controls within the system, strategies are developed to improve against cyber-attacks.

Haddadpajouh et al. Haddadpajouh et al. focused on a survey study addressing the requirements, issues and solutions for IoT security, and this study is an important resource for understanding the general requirements and issues in IoT security. [6].

Yadav et al. Yadav et al. developed a scalable, flexible and automated penetration testing framework called IoT-PEN, which utilizes target graphs to explore all possible ways in which attackers can find vulnerabilities in target systems [7].

Akhilesh et al. developed an automated penetration testing framework for smart home-centric IoT devices and this work emphasizes the importance of automating security testing of IoT devices [8].



Süren et al. presented a four-step IoT vulnerability research methodology called PatIoT, which is based on a logical attack surface decomposition, compilation of the top 100 vulnerabilities, lightweight risk scaling, and step-by-step penetration testing guidelines [9].

## 5.2. Vulnerability Analysis

Weak point analysis is defined as a method that identifies potential vulnerabilities in software. This analysis reveals errors that arise from the design of the software or occur during the implementation phase. Vulnerability analysis provides a preventive approach to correct these errors and prevent future security problems.

The study titled "Vulnerabilities in LPWANs - An Attack Vector Analysis for the IoT Ecosystem" by Torres et al. examines the vulnerabilities of IoT devices over LPWAN technologies [10].

"Multi-Source Knowledge Reasoning for Data-Driven IoT Security" by Zhang et al. presents an analysis and decision making method for IoT security [10].

In the paper "CorrAUC: A Malicious Bot-IoT Traffic Detection Method in IoT Network Using Machine-Learning Techniques" by Shafiq et al. a method for anomaly detection in IoT networks is presented [12].

## 5.3. Test Automation Processes

Test automation is used to make secure software testing more comprehensive and efficient. Automation is used to perform repeatable test cases, process large datasets and continuously inspect for potential security vulnerabilities. In this way, security tests are performed more frequently and in a planned manner. Reliable software testing is crucial to minimize security threats in the IoT ecosystem and to ensure end-user security. Periodically repeating and updating these processes is essential to create an effective security strategy suitable for changing threat environments.

The article "IoT Testing-as-a-Service: A New Dimension of Automation" by Malik et al. discusses automated IoT testing processes as a service model that performs distributed interoperability testing, security testing and verification of IoT devices [13].

"Cybersecurity Model Based on Hardening for Secure Internet of Things Implementation" by Echeverria et al. discusses a certification approach using security risk assessment and testing methodologies for IoT devices [14].

## 6. APPLICATION PRINCIPLES IN IOT SECURITY

Implementation guidelines in IoT security aim to prepare users and organizations for potential threats. These guidelines cover key elements such as awareness, tracking updates, security policies, data encryption and contingency plans. Below are considerations for the implementation of these guidelines:

## 6.1. Awareness Raising and Training

It is an important element in IoT security. The application of this principle emphasizes the importance of preparing users and organizations for potential threats as well as adopting safe behaviors. Awareness programs aim to continuously inform users about IoT security. Trainings and programs aim to make users and organizations aware of potential threats and adopt safe behavioral habits [15]. Informed user behavior aims to improve users' security habits. In this context, behaviors such as avoiding potentially suspicious connections and using strong passwords should be consciously encouraged. Building a security culture involves creating a security culture within the organization and adopting it as a security value supported by management. It is important to encourage conscious behaviors such as learning from, responding to, and avoiding security incidents. This is important in order to respond quickly and effectively to security incidents. In this context, it is necessary to increase end-user awareness and to carry out training activities for end-users meticulously.

## 6.2 Systematic Monitoring of Device and Software Updates

IoT devices and software are being integrated to make life easier for a wide audience and optimize the operations of organizations [16]. However, this rapid adoption process increases the possibility of security vulnerabilities. Systematic tracking of device and software updates is one of the important fundamentals in IoT security [17]. This principle involves the systematic inspection of smart devices and the software used, and the tracking of their updates. The path-method relationship regarding this principle is given in Table 1 below.

**Table 1.** Systematic Inspection Of Smart Devices And The Software Used

Code of Practice	Method
Establishing Update Tracking Process	Deciding on the criteria to be followed (e.g. software version, security patches, etc.). Creating follow-up reports and scheduling regular update meetings.
Creating the Update Schedule	Determining and sharing scheduled update dates. Create a dedicated calendar for emergency updates. Identify a communication mechanism that can quickly communicate changes to the calendar.
Use of Automatic Update Tools	Selecting and installing automatic update tools. Configure settings and design update policies.
Determination of Update Policies	Creating update policies and reducing the risk of business interruption.
Risk Assessment and Emergency Plans	Assessing the potential risks of the update process. Identifying emergency scenarios and creating plans for these situations.

In Table 1, it is important for institutions and organizations to put into effect the application-based method relations. As a result of data losses that may occur as a result of any cyber attack, institutions and organizations may face loss of reputation and high amounts of financial losses.

## 7. CONCLUSION

The rapid proliferation and increasing use of IoT technology has greatly increased the exchange of information and interaction between devices. However, in addition to its benefits, this

technology also brings serious security risks. Software testing and security play a critical role in making the IoT ecosystem sustainable and secure. In this article, the main components of IoT security are discussed, focusing on topics such as determining the update tracking process, creating an update schedule, using automatic update tools, determining update guidelines, risk assessment and creating contingency plans. It is critical to carefully follow these steps to minimize vulnerabilities in IoT devices and applications and to be prepared for potential threats.

## 8. REFERENCES

- [1] Gürfidan, R., & Ersoy, M. (2022). A new approach with blockchain based for safe communication in IoT ecosystem. *Journal of Data, Information and Management*, 4(1), 49-56.
- [2] Kamsin, I. and Zainal, N. (2021). A comprehensive review on smart iot applications.. <https://doi.org/10.2991/ahis.k.210913.069>
- [3] Fedullo, T., Morato, A., Peserico, G., Trevisan, L., Tramarin, F., Vitturi, S., & Rovati, L. (2022). An iot measurement system based on lorawan for additive manufacturing. *Sensors*, 22(15), 5466. <https://doi.org/10.3390/s22155466>
- [4] Wang, F. (2023). Mitigating iot privacy-revealing features by time series data transformation. *Journal of Cybersecurity and Privacy*, 3(2), 209-226. <https://doi.org/10.3390/jcp3020012>
- [5] Abomhara, M. and Køien, G. (2014). Security and privacy in the internet of things: current status and open issues.. <https://doi.org/10.1109/prisms.2014.6970594>
- [6] HaddadPajouh, H., Dehghantanha, A., Parizi, R., & Aledhari, M. (2021). A survey on internet of things security: requirements, challenges, and solutions. *Internet of Things*, 14, 100129. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100129>
- [7] Yadav, G., Paul, K., Allakany, A., & Okamura, K. (2020). Iot-pen: an e2e penetration testing framework for iot. *Journal of Information Processing*, 28(0), 633-642. <https://doi.org/10.2197/ipsjjip.28.633>
- [8] Akhilesh, R., Bills, O., Chilamkurti, N., & Chowdhury, M. (2022). Automated penetration testing framework for smart-home-based iot devices. *Future Internet*, 14(10), 276. <https://doi.org/10.3390/fi14100276>
- [9] Süren, E., Heiding, F., Olegård, J., & Lagerström, R. (2022). Patriot: practical and agile threat research for iot. *International Journal of Information Security*, 22(1), 213-233. <https://doi.org/10.1007/s10207-022-00633-3>
- [10] Torres, N., Pinto, P., & Lopes, S. (2021). Security vulnerabilities in lpwans—an attack vector analysis for the iot ecosystem. *Applied Sciences*, 11(7), 3176. <https://doi.org/10.3390/app11073176>
- [11] Zhang, S., Bai, G., Li, H., Liu, P., Zhang, M., & Li, S. (2021). Multi-source knowledge reasoning for data-driven iot security. *Sensors*, 21(22), 7579. <https://doi.org/10.3390/s21227579>
- [12] Shafiq, M., Tian, Z., Bashir, A., Du, X., & Guizani, M. (2021). Corrauc: a malicious bot-iot traffic detection method in iot network using machine-learning techniques. *Ieee Internet of Things Journal*, 8(5), 3242-3254. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.3002255>
- [13] Malik, B., Khalid, M., Maryam, M., Nauman, M., Yousaf, S., Mehmood, M., & Saleem, H. (2019). Iot testing-as-a-service: a new dimension of automation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(5). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100545>

- [14] Echeverria, A., Cevallos, C., Ortiz-Garcés, I., & Andrade, R. (2021). Cybersecurity model based on hardening for secure internet of things implementation. *Applied Sciences*, 11(7), 3260. <https://doi.org/10.3390/app11073260>
- [15] Lowry, P., Dinev, T., & Willison, R. (2017). Why security and privacy research lies at the centre of the information systems (is) artefact: proposing a bold research agenda. *European Journal of Information Systems*, 26(6), 546-563. <https://doi.org/10.1057/s41303-017-0066-x>
- [16] Celik, Z., Fernandes, E., Pauley, E., Tan, G., & McDaniel, P. (2019). Program analysis of commodity iot applications for security and privacy. *Acm Computing Surveys*, 52(4), 1-30. <https://doi.org/10.1145/3333501>
- [17] Abdulmalek, S., Nasir, A., Jabbar, W., Almuahaya, M., Bairagi, A., Khan, M., & Kee, S. (2022). Iot-based healthcare-monitoring system towards improving quality of life: a review. *Healthcare*, 10(10), 1993. <https://doi.org/10.3390/healthcare10101993>
- [18] Gürfidan, R., Ersoy, M., & Kilim, O. (2022, May). AI-Powered Cyber Attacks Threats and Measures. In *The International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering* (pp. 434-444). Cham: Springer International Publishing.



## SU ALTI GÖRÜNTÜ İYİLEŞTİRMEDE KULLANILAN ALGORİTMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Birkan BÜYÜKARIKAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Uluborlu Selahattin Karasoy Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler

Üniversitesi, Uluborlu, Isparta, Türkiye

E-mail: [birkanbuyukarikan@isparta.edu.tr](mailto:birkanbuyukarikan@isparta.edu.tr)

**OrcidID:** <https://orcid.org/0000-0002-9703-9678>

**ÖZET:** Su altının keşfi, son yıllarda ilginç bir araştırma konusu olmuştur. Ancak su altı ortamındaki bulanıklık, renk dağılımı ve kontrast gibi etkenler, su altı görüntülerinde gürültü ve ayrıntı kaybı gibi bozulmalara neden olur. Bu durum, su altı görüntü analizi uygulamalarında karşılaşılan zorlukları artırır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için görüntü iyileştirme algoritmaları kullanılabilir. Bu çalışmanın amacı, mevcut görüntü iyileştirme algoritmaları yardımıyla su altı görüntülerinin geliştirilmesidir. Çalışmada mevcut iyileştirme algoritmalarından; tek-ölçekli retineks (SSR), çok ölçekli retineks (MSR), renk düzeltmeli çok ölçekli retineks (MSRCR), öncelikli histogram dağıtımı (DHDP) ve çok ölçekli ilişkili dalgacık (MSCW) kullanılmıştır. Çalışma, gerçek dünya verilerini içeren bir veri setinden seçilen görüntülere uygulanmıştır. Kullanılan iyileştirme algoritmalarının performanslarını göstermek için tam referanslı ve referanssız ölçütlerle değerlendirme yapılmıştır. Seçilen görüntülerin değerlendirme ölçütlerinden elde edilen sonuçlara göre MSRCR algoritmasıyla iyileştirilen görüntülerde ortalama olarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. MSRCR algoritmasının tepe sinyal-gürültü oranı, yapısal benzerlik indeksi, kör/referanssız görüntü uzamsal kalite değerlendiricisi, doğallık görüntü kalitesi değerlendiricisi, algı tabanlı görüntü kalitesi değerlendiricisi, su altı görüntü kalitesi ölçütü ve su altı renkli görüntü kalitesi değerlendirme ölçütlerinin ortalama puanları sırasıyla 15,6454, 0,4516, 22,6035, 6,4106, 34,7032, 1,7344 ve 7,776'dır. Deneysel sonuçlar, su altı görüntülerinde bozulmaları azaltmak için görüntü iyileştirme yöntemlerinin kullanılabilirliğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Su Altı Görüntüler, Görüntü İyileştirme, Görüntü Kalitesi

## COMPARISON OF ALGORITHMS USED IN UNDERWATER IMAGE ENHANCEMENT

**ABSTRACT:** The exploration of the underwater world has become an intriguing research subject in recent years. However, factors such as blurriness, color distribution, and contrast in the underwater environment lead to distortions such as noise and loss of detail in underwater images. This situation increases the challenges encountered in underwater image analysis applications. Image enhancement algorithms can be employed to overcome these problems. The aim of this study is to improve underwater images using existing image enhancement algorithms. Single Scale Retinex (SSR), Multi Scale Retinex (MSR), Multi Scale Retinex with Color Restoration (MSRCR), Dehazing Histogram Distribution Prior (DHDP), and Multi-Scale Correlated Wavelet (MSCW) are among the enhancement algorithms used in this study. This study was applied to images selected from a data set containing real-world data. Evaluations with both full-reference and no-reference metrics were conducted to demonstrate the enhancement algorithms' performance. According to the results obtained from the evaluation metrics of the selected images, images enhanced with the MSRCR algorithm generally achieved better results on average. The average scores for the MSRCR algorithm in Peak Signal-to-Noise Ratio, Structural Similarity Index, Blind/referenceless Image Spatial Quality Evaluator, Naturalness Image Quality Evaluator, Perception based Image Quality Evaluator, Underwater Image Quality Measure, and Underwater Color Image Quality Evaluation, underwater image quality criterion, and underwater colored image quality evaluation criteria are 15.6454, 0.4516, 22.6035, 6.4106, 34.7032, 1.7344, and 7.776, respectively. Experimental results demonstrate the effectiveness of image enhancement methods in reducing distortions in underwater images.

**Keywords:** Underwater Images, Image Enhancement, Image Quality

## 1. GİRİŞ

Su altı görüntüleri, insanlar tarafından keşfi zor olan deniz bilgilerinin önemli taşıyıcılarıdır [1]. Ancak yüzen nesnelerin saçılması veya dağılması, karmaşık su altı görüntüleme ortamı ve düşük aydınlatma gibi etkenler, su altı görüntülerinde bozulma, renk sapması ve düşük kontrastın oluşmasına neden olur. Bu etkenler, bozulmuş görüntüleri oluşturur ve bu görüntüler nesne tanıma için eksik bilgileri içerir [2-4]. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için araştırmacılar, birçok görüntü iyileştirme algoritmasını geliştirmişlerdir.

Kenar geliştirmeyi ve renk sabitliğini dengeleyebilen, Land ve McCann [5] tarafından önerilen temel bir görüntü iyileştirme algoritması olan retineks, ortamda ışık yoğunluğu yüksek olduğunda görüntülerde düşük yerel kontrast olgusunu oluşturur. Bu durum, görüntüde pozlanma sorununu ortaya çıkarır [2]. Retineks teorisine dayalı tek ölçekli retineks (Single Scale Retinex, SSR) [6] ve çok ölçekli retineks (Multi Scale Retinex, MSR) [7] algoritmaları günümüzde su altı görüntü iyileştirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [3, 8, 9]. Ancak retineks'in doğası gereği, SSR ve MSR algoritmaları, çok yüksek pozlamaya sahip olduklarından, üretilen görüntüler doğal olmayan renklere sahiptir [10]. Bu sorunu çözmek için MSR algoritmasına renk restorasyon fonksiyonu eklenerek renk düzeltmeli çok ölçekli retineks (Multi Scale Retinex with Color Restoration, MSRCR) [7] algoritması oluşturulmuş ve böylece görüntüdeki renkler iyileştirilmeye çalışılmıştır [7]. Doksanlı yıllardan günümüze kadar gelen bu retineks tabanlı algoritmalar hâlâ görüntü iyileştirme uygulamalarında popülerdir [11]. Ancak bu algoritmalarla üretilen parlak görüntüler, görüntülerden elde edilecek bilgilerin kaybolma sorununu ortaya çıkabilir [12]. Dolayısıyla bu sorunları önleyebilen yeni algoritmaların geliştirilmesi için literatürdeki bu algoritmalarla görüntülerin iyileştirmesinde fayda bulunmaktadır.

Su altı görüntülerinde minimum bilgi kaybı sorununu çözebilmek için düşük görünürlüğü iyileştirmede öncelikli histogram dağıtımı (Dehazing Histogram Distribution Prior, DHDP) algoritması, Li ve ark. [13] tarafından önerilmiştir. Bu algoritma, görüntülerdeki bulanıklığı gidermek için farklı renkteki ışığın farklı azalma oranlarını hesaba katmaktadır [13]. Diğer taraftan, görüntülerdeki bulanıklığı gidermeye çalışan çok ölçekli ilişkili dalgacık (Multi-Scale Correlated Wavelet, MSCW) algoritması, Liu ve ark. [14] tarafından önerilmiştir. Kontrastı artırmada başarılı olan bu algoritma, görüntü ayrıntılarını düzgün bir şekilde oluşturmaktadır [14]. Birkaç on yıl boyunca, literatürde de kanıtlandığı gibi araştırmacılar, bulanıklık, renk, kontrast gibi sorunları çözebilmek için birçok görüntü iyileştirme algoritması geliştirmişlerdir. Bu sorunların bir veya birkaçının üstesinden gelebilmek için araştırmacılar halen daha bir arayış içerisinde. Özellikle uluslararası literatürde su altı görüntülerini iyileştirme algoritmalarının incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Diğer bir ifadeyle yukarıda tanıtılan algoritmaların sayısı daha da artırılabilir.

Çalışmanın amacı, su altı görüntülerinde zorlukların üstesinden gelebilmek için literatürde önerilen birkaç görüntü iyileştirme algoritmasının performanslarının incelenmesidir. Çalışmalarda sıklıkla kullanılan görüntü iyileştirme algoritmalarından; SSR, MSR, MSRCR, DHDP ve MSCW kullanılmıştır. Deneyler, gerçek dünya verilerini içeren Freshwater Fish Dataset (FFD)'te uygulanmıştır. Deneyler için FFD'deki görüntüler rastgele seçilmiştir. Bunu takiben, seçilen görüntüler literatürde en çok tercih edilen tam referanslı ve referanssız değerlendirme ölçütlerine göre algoritmaların iyileştirme performansları incelenmiştir. Ayrıca çalışmada su altı görüntü kalitesini değerlendiren ölçütlere de yer verilmiştir. Bu çalışmanın katkıları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

\* Bu çalışmada, su altı görüntülerinin renk bozulmalarını ele almak amacıyla geleneksel olarak kullanılan retineks tabanlı algoritmalar ile güncel görüntü iyileştirme algoritmalarının performansları gösterilmiştir.

\* Şuanda bilindiği kadarıyla literatürümüzde bu algoritmalar kullanılarak su altı görüntü iyileştirme araştırmalarının olmaması, bu çalışmanın diğer çalışmalara örnek olması açısından önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada üretilen görüntülerin kaliteleri hem tam referanslı hem de referanssız ölçütlerle irdelenmiştir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de, çalışmada kullanılan görüntü iyileştirme algoritmaları ve görüntü kalitesi ölçütleri açıklanmıştır. Bölüm 3’te, deneylerde kullanılan veri seti tanımlanmış, ardından çalışma yönteminden bahsedilmiş ve sonrasında deneysel sonuçlar karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Son bölümde ise çalışmanın önemine vurgu yapılarak araştırmacılara gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Görüntü İyileştirme Algoritmaları

Su altında, en uzun dalga boyuna sahip olan kırmızı ışık önce, yeşil ışık ardından ve en kısa dalga boyuna sahip mavi ışık da sonra emilir. Mavi ve yeşil ışık, su altında daha uzun süre etki etme yeteneğine ve iletim mesafesine sahiptir. Bu özellikler nedeniyle su altı görüntüleri genellikle mavi ve yeşil olarak görünmektedir [3]. Su altı görüntülerinde oluşan bu renk tonunu eski haline getirmek için kullanılan en temel algoritmalarından biri SSR’dir. SSR, görüntüleri normalleştirme ve iyileştirme konusunda önemli bir role sahip olan bir algoritmadır. Bu algoritma, merkez pikselin parlaklığını bir Gauss çekirdeğiyle tahmin etmek için hedefi çevreleyen piksellere farklı ağırlıklar atar [2, 15]. Ayrıca bu algoritma dinamik aralığı sıkıştırmak için logaritmik bir dönüşüm kullanır [15]. Matematiksel olarak bu algoritma Denklem (1)’deki gibi tanımlanır.

$$SSR_i(x, y) = \log I_i(x, y) - \log[F(x, y) * I_i(x, y)] \quad (1)$$

Burada,  $i \in (R, G, B)$  üç renk bandını tanımlar.  $SSR_i(x, y)$  çıkış görüntüsünü,  $I_i(x, y)$  i’nci spektral banttaki görüntü dağılımını ve  $F(x, y)$  normalleştirilmiş çerçeveyi ve \* simgesi ise evrişim işlemini ifade eder. Ayrıca  $F(x, y)$  fonksiyonu Denklem (2)’de gösterilmiştir.

$$F(x, y) = Ke^{-r^2/c^2} \quad (2)$$

$$\iint F(x, y) dx dy = 1 \quad (3)$$

Denklem (2)’de c çevirme sabitini gösterir. Burada, K değeri Denklem (3)’teki gibi seçilir.

MSR, görüntü kalitesini artırmak için kullanılan son derece etkili bir algoritmadır [16]. Bu algoritma, detayları ve iyileştirilmiş renkleri üretebilmek amacıyla SSR algoritmasına çoklu ölçekler entegre eder [17]. Bu algoritmayla görüntüler işlendikten sonra üretilen görüntülerde çok az koyu renk tonu ortaya çıkabilir [16]. MSR algoritmasının matematiksel ifadesi Denklem (4)’te sunulmuştur.

$$R_{MSR} = \sum_{n=1}^N \omega_n R_n \quad (4)$$

Burada,  $R_n$ , n'inci ölçekle ilişkili yansıtma bileşenini, N seçilen örnek sayısını ve  $\omega_n$  n'inci ölçeğin ağırlığını gösterir.

MSRCR, su altı görüntülerinin renk tonunu eski haline getirmek amacıyla kullanılan bir algoritmadır. Bu algoritma, MSR'den daha gerçekçi renkleri ve daha etkili görüntü geliştirme efektini sağlar [3]. Diğer bir ifadeyle MSRCR ile üretilen görüntülerin yerel kontrastı daha iyi geliştirilir. Sonuç olarak, üretilen görüntülerin parlaklığı, gerçek sahneye yakın olduğu için daha gerçekçi sonuçlar elde edilir [18]. Denklem (5), MSRCR algoritmasını açıklamaktadır.

$$R_{MSRCR_c}(x, y) = \theta_c(x, y) \cdot R_{MSR_c}(x, y) \quad (5)$$

Burada,  $\theta_c(x, y)$ , renkli bir görüntüdeki (Kırmızı: R, Yeşil: G ve Mavi: B) renk kanallarını ayarlamak için kullanılan renk kurtarma işlevidir. Bu işlevin formülü Denklem (6)'da gösterilmiştir. Denklem (6)'da s renk kanalının sayısını ifade eder.

$$\theta_c(x, y) = \beta \cdot \ln \left[ \alpha \cdot \frac{I_c(x, y)}{\sum_{c=1}^s I_c(x, y)} \right] \quad (6)$$

DHDP, su altı görüntülerinin bulanıklığını gidermeye, kontrast ve parlaklığı iyileştirmeye yönelik olarak oluşturulan histogram tabanlı bir algoritmadır. Bu algoritma, farklı renkli ışıkların farklı zayıflama oranlarını dikkate alır ve su altı görüntülerinin orta iletim haritası özelliklerini oluşturarak RGB kanallarının ilişkisini bulur. DHDP algoritması, bulanıklığı gidermek için sırasıyla küresel arka plan ışık tahmini, orta iletim harita tahmini ve uyarlanabilir pozlama harita tahmini işlemlerini gerçekleştirir [13]. Bu algoritma genel olarak Denklem (7)'deki gibi ifade edilir.

$$I^c(x) = J^c(x)t^c(x) + A^c(1 - t^c(x)), c \in \{r, g, b\} \quad (7)$$

Burada, x pikseli ifade eder. I(x) gözlenen ve J(x) iyileştirilecek görüntüyü, A genel arka plan ışığını ve  $t(x) \in [0,1]$  orta iletim haritasını gösterir.

Görüntülerde bulanıklık, genellikle düşük frekans spektrumundan oluşur. MSCW, düşük frekans bandındaki görüntü bulanıklığını giderme problemini çözmek için tasarlanmış bir algoritmadır. MSCW algoritması, yüksek frekansta doku ayrıntılarını geliştirmektedir. MSCW algoritması şu adımlarla işlevini gerçekleştirir: Öncelikle görüntüdeki bulanıklık ve gürültü giderilir, ardından doku detayları geliştirilir ve son olarak, dalgacık rekonstrüksiyonu yoluyla iyileştirilmiş görüntü elde edilir [14]. DHDP [19] ve MSCW [20] algoritmalarına ait kaynak kodlar GitHub platformunda mevcuttur.

## 2.2. Değerlendirme Ölçütleri

Su altı görüntü iyileştirme uygulamalarında evrensel olarak kabul edilen belirli bir değerlendirme ölçütü bulunmamaktadır. Algoritmaların performanslarını değerlendirecek birden fazla ölçütün kullanılması, deneysel sonuçların karşılaştırılabilirliği açısından daha etkilidir. Dolayısıyla çalışmada görüntü iyileştirme algoritmalarının subjektif görsel etkilerini karşılaştırmak için çeşitli görüntü kalite ölçütlerinden yararlanılmıştır. Çalışmada, tam referanslı ve referanssız ölçütler dikkate alınmış ve bu alt başlık altında, bu ölçütlere ilişkin bilgiler açıklanmıştır.



Görüntü iyileştirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan tam referanslı ölçütler arasından, tepe sinyal-gürültü oranı (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) ile yapısal benzerlik indeksi (Structural Similarity Index, SSIM) tercih edilmiştir. Referanssız ölçütler arasından, kör/referanssız görüntü uzamsal kalite değerlendiricisi (Blind/referenceless Image Spatial Quality Evaluator, BRISQUE), doğallık görüntü kalitesi değerlendiricisi (Naturalness Image Quality Evaluator, NIQE) ve algı tabanlı görüntü kalitesi değerlendiricisi (Perception based Image Quality Evaluator, PIQE) kullanılmıştır. Ayrıca son yıllarda su altı görüntü iyileştirme uygulamalarında kullanılan su altı görüntü kalitesi ölçütü (Underwater Image Quality Measure, UIQM) ile su altı renkli görüntü kalitesi değerlendirme (Underwater Color Image Quality Evaluation, UCIQE) ölçütü de dikkate alınmıştır. Çalışmada UIQM [21] ve UCIQE [21] ölçütlerinin kaynak kodları GitHub üzerinden indirilmiştir.

PSNR yaygın olarak kullanılan bir görüntü kalitesi ölçütüdür. PSNR puanı, orijinal ve geliştirilen görüntünün işleme girmesiyle elde edilir. PSNR puanı ne kadar yüksekse, görüntü bozulması da o kadar düşük olmaktadır. Ayrıca bu değer yüksek olması, görüntünün insan görme sistemiyle de uyumlu olduğunu göstermektedir. SSIM ise orijinal ve geliştirilen iki görüntü arasındaki parlaklık, kontrast ve yapısal benzerliği belirlemek için kullanılan bir indekstir. Yüksek bir SSIM puanı, orijinal görüntünün geliştirilen görüntüye daha çok benzediğini gösterir. Tam tersi durumda, düşük bir SSIM puanı, orijinal görüntünün geliştirilen görüntüye daha az benzediğini ifade eder [22]. PSNR ve SSIM ölçütlerinin matematiksel ifadeleri sırasıyla Denklem (8) ve (9)'da verilmiştir.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (8)$$

$$SSIM(x, y) = I(x, y) c(x, y) s(x, y) \quad (9)$$

Burada, MAX toplam renk çeşidini, MSE bozulmuş ile yeni üretilen görüntüler arasındaki kümülatif kare hatasını,  $I(x, y)$  parlaklık değerini,  $c(x, y)$  kontrast değerini ve  $s(x, y)$  yapısal benzerliği gösterir.

Referanssız ölçütlerden biri olan BRISQUE, görüntüdeki doğallığın eksikliğini veya bozulmaların varlığını değerlendiren bir ölçüdür. Bu ölçüt, doğal görüntülerin belirli düzenli istatistiksel özelliklerinin uyumunu incelemektedir [23]. NIQE, olasılık modeline dayanan bir ölçüttür. Bu ölçüt, görüntü kalitesini ölçmek için mesafe hesaplamasını kullanır [2]. PIQE ise doğal manzara istatistiksel özelliklerine dayanan, çok değişkenli Gauss dağılımları arasındaki farkı bulan bir ölçüttür [24]. Bu ölçütler değerlendirilirken; daha düşük değerlere sahip BRISQUE, NIQE ve PIQE puanları daha iyi görsel kaliteyi işaret etmekteyken, daha yüksek puanlar düşük görüntü kalitesini belirtir. BRISQUE, NIQE ve PIQE ölçütlerinin matematiksel ifadeleri sırasıyla Denklem (10)-(12) arasında gösterilmiştir.

$$BRISQUE = \frac{I(m,n) - \mu(m,n)}{\sigma(m,n) + C} \quad (10)$$

$$NIQE = \frac{I(m,n) - \mu(m,n)}{\sigma(m,n) + 1} \quad (11)$$

$$PIQE = \frac{\left( \sum_{k=1}^{N_{SA}} D_{SK} \right) + C_1}{N_{SA} + C_1} \quad (12)$$

Denklem (10) ve (11)'de  $I(m, n)$  yoğunluk görüntüsünü,  $\mu(m, n)$  konum ortalamasını ve  $\sigma(m, n)$  konum varyansını gösterir. Denklem (12)'de  $N_{SA}$  belirli bir görüntüdeki uzamsal olarak aktif blokların sayısını ifade eder.  $C$  ve  $C_1$  sıfırdan kurtulmak için kullanılan sabittir ( $C_1 = 1$ ).

UCIQE, Yang ve Sowmya [25] tarafından önerilen görüntüdeki su kalitesi ölçütüdür. Bu ölçütte renk, doygunluk ve parlaklığın doğrusal kombinasyonu bulunmaktadır. UCIQE puanı ne kadar yüksekse, görüntü iyileştirme de o kadar iyidir [25]. Diğer taraftan, UCIQE puanının yüksek olması, renk, doygunluk ve kontrast arasında daha dengeli sonuçların elde edildiğini kanıtlar [26]. UCIQE'nin matematiksel ifadesi Denklem (13)'te sunulmuştur.

$$UCIQE = c1 \times sc + c2 \times conl + c3 \times ms \quad (13)$$

Denklem (13)'te  $sc$  rengin standart sapmasını,  $conl$  parlaklık kontrastını,  $ms$  doygunluğun ortalama değerini,  $c1$ ,  $c2$  ve  $c3$  ağırlıklandırma katsayılarını ifade eder.

Diğer bir su altı görüntü kalitesini belirleyen ölçütte UIQM'dir. UIQM, Panetta ve ark. [27] tarafından önerilmiştir. UIQM puanı, görüntüdeki renklilik (underwater image colorfulness measurement, UICM), keskinlik (underwater image sharpness measurement, UISM) ve kontrast (underwater image contrast measurement, UIConM) parametreleri arasındaki dengeyi gösterir. UIQM puanının yüksek olması, görüntüdeki bu üç parametrenin arasındaki dengenin daha iyi olduğunu ifade eder [27]. Ayrıca UIQM puanının yüksek olması, geliştirilen görüntünün insan görsel algılarıyla daha tutarlı olduğunu göstermektedir [26]. Denklem (14)'te UIQM puanının hesaplanması için kullanılan formül gösterilmiştir.

$$UIQM = c1 \times UICM + c2 \times UISM + c3 \times UIConM \quad (14)$$

Denklem (14)'te  $c1$ ,  $c2$  ve  $c3$  doğrusal kombinasyondaki ölçüm bileşenlerinin ağırlıklandırma faktörünü açıklar.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Veri Seti Hakkında

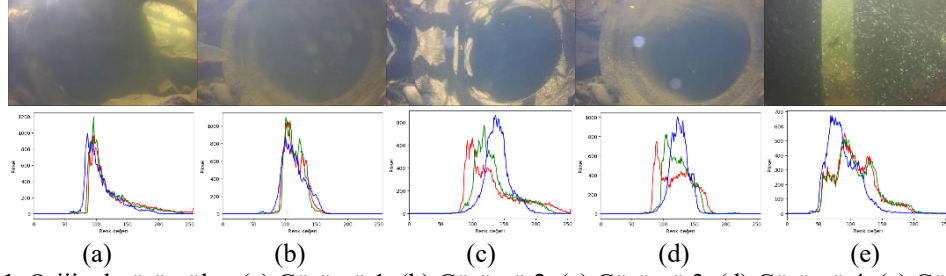
FFD, Nordølum ve ark. [28] tarafından oluşturulmuş, su altı yaşam bilgilerini içeren bir veri setidir. Bu veri seti Norveç'te sabit bir kameralardan alınan 138,034 adet su altı görüntüsünü içermektedir [28].

#### 3.2. Deneysel Kurulum

Çalışma, herkese açık bir veri seti olan FFD üzerinde denenmiştir. Çalışmada FFD'den rastgele seçilen beş adet görüntü kullanılmıştır. Seçilen bu görüntülerin gerçek referansları bulunmamaktadır. Deneyler için kullanılan orijinal görüntüler ve bu görüntülerin histogram grafikleri Şekil 1'de sunulmuştur. Burada, sütunlar sırasıyla Görüntü 1, Görüntü 2, Görüntü 3, Görüntü 4 ve Görüntü 5 olarak adlandırılmıştır. Deneyler, MatLab 2023a ortamında geliştirilmiştir.

Çalışmada bu görüntüleri iyileştirmek için SSR, MSR, MSRCR, DHDP ve MSCW algoritmaları kullanılmıştır. SSR, MSR ve MSRCR algoritmalarında kullanılan sigma değerlerine bağlı olarak üretilen görüntü, karanlık veya aydınlık görüntüler elde edebilmesi için ayarlanabilir. Çalışmada bu etken göz önünde bulundurularak sigma değerleri belirlenmiştir. Görüntüler PSNR, SSIM,

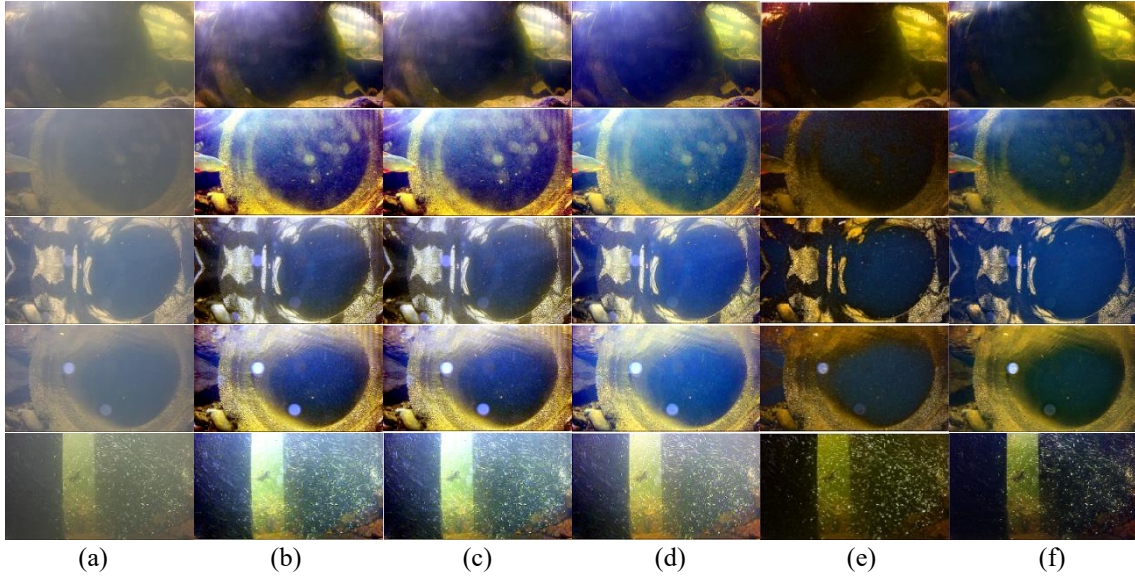
ölçütlerine göre değerlendirilmiş, ayrıca bu beş görüntüden elde edilen ortalama ve standart sapma (Std) sonuçları da verilmiştir.



Şekil 1. Orijinal görüntüler, (a) Görüntü 1, (b) Görüntü 2, (c) Görüntü 3, (d) Görüntü 4, (e) Görüntü 5

### 3.3. Deneysel Sonuçlar

Çalışmada kullanılan orijinal ve iyileştirilen görüntüler Şekil 2’de görünmektedir. Üretilen görüntülerin boyutları, 243 x 137 piksel değerindedir. İyileştirme algoritmalarının farklı avantajları olması nedeniyle üretilen görüntüler birbirlerinden farklılıklar göstermektedir. SSR (Şekil 2b) ve MSR (Şekil 2c) algoritmaları, kırmızı renk kanalının zayıflama sorununu kesin olarak çözemediği için görüntülerde biraz kırmızı tonlar ortaya çıkabilir. MSRCR algoritmasıyla (Şekil 2d) daha aydınlık görüntüler elde edilmiştir. DHDP algoritması (Şekil 2e) ile düşük parlaklıkta görüntüler geliştirilmiştir. MSCW algoritması (Şekil 2f) görüntülerde biraz daha koyu bir ton sergilemektedir.



Şekil 2. Geliştirilen görüntüler, (a) Orijinal, (b) SSR, (c) MSR, (d) MSRCR, (e) DHDP, (f) MSCW

#### 3.3.1. Tam referans değerlendirme

İyileştirilmiş su altı görüntülerinin PSNR ve SSIM ölçütlerine göre sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2’de sırasıyla listelenmiştir. PSNR ve SSIM ölçütlerine göre en iyi sonuç, MSRCR algoritmasıyla elde edilen Görüntü 5’te gözlemlenmiştir. Genel olarak, PSNR ölçütünde, MSRCR algoritması kullanılan diğer algoritmalara göre daha iyi puanlar göstermiştir. Bu durum, MSRCR algoritmasının orijinal görüntü ayrıntılarını görsel olarak daha iyi tanımlanmasına olanak tanıyan sonuçlar elde etmesine işaret etmektedir.

SSIM puanının bu kadar düşük değerlere sahip olması, geliştirilen görüntünün orijinal görüntüden farklı olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle MSR algoritmasıyla geliştirilen Görüntü 5'in SSIM indeksi 0,1991 olarak hesaplanmış ve üretilen görüntü orijinal görüntüye neredeyse benzemediği belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Algoritmaların PSNR'ye göre değerlendirme sonuçları (dB), kalın yazı karakteri en iyi puanları gösterir

Görüntü /Model	SSR	MSR	MSRCR	DHDP	MSCW
Görüntü 1	<b>14,6730</b>	14,6634	14,2821	9,7150	10,8143
Görüntü 2	13,0271	13,5178	<b>15,1720</b>	9,6138	12,9647
Görüntü 3	15,0022	14,7778	<b>16,4940</b>	8,9786	11,4185
Görüntü 4	14,1190	13,6165	<b>15,1054</b>	10,3985	11,6193
Görüntü 5	14,5692	14,2942	<b>17,1733</b>	11,4107	12,1279
Ortalama	14,2781	14,1739	<b>15,6454</b>	10,0233	11,7889
Std	0,7673	0,5831	1,1650	0,9246	0,8083

**Tablo 2.** Algoritmaların SSIM indeksine göre değerlendirme sonuçları

Görüntü/Model	SSR	MSR	MSRCR	DHDP	MSCW
Görüntü 1	0,4109	0,4052	0,2849	<b>0,2541</b>	0,4267
Görüntü 2	0,2721	0,2997	0,3344	<b>0,2142</b>	0,3849
Görüntü 3	0,5396	0,4954	0,5765	<b>0,3275</b>	0,4573
Görüntü 4	0,3786	0,3456	0,5016	<b>0,2816</b>	0,2983
Görüntü 5	0,2122	<b>0,1991</b>	0,5608	0,3174	0,3857
Ortalama	0,3627	0,3490	0,4516	<b>0,2789</b>	0,3906
Std	0,1272	0,1112	0,1337	0,0465	0,0598

Tablodaki kalın yazı karakteri üretilen görüntülerin orijinal görüntülerden farklı olduğunu gösterir

### 3.3.2. Referanssız değerlendirme

Referanssız kalite değerlendirme ölçütlerinin sonuçları Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da ayrıntılı olarak listelenmiştir. BRISQUE puanlarına göre en düşük değer MSR algoritması tarafından gösterilmiştir (Görüntü 1). Tablo 4 ve Tablo 5'te diğer algoritmalara göre daha düşük PIQE ve NIQE puanlarını elde eden algoritma MSRCR'dir (Görüntü 1). Deneysel sonuçlar, BRISQUE, NIQE ve PIQE ölçütlerinde farklı algoritmalarda ortalama olarak en iyi sonuçların elde edildiğini göstermektedir. Özellikle ortalama olarak sonuçlar değerlendirildiğinde; BRISQUE puanı MSCW algoritmasında doğallığın bozulmadığını belirtirken, NIQE puanı MSRCR algoritmasıyla üretilen görüntünün kalitesinin diğer algoritmalara göre daha iyi olduğunu göstermektedir. PIQE puanı ise MSCW algoritmasında doğal manzara istatistiğinin iyi olduğu belirtmektedir.

**Tablo 3.** Algoritmaların BRISQUE puanlarının değerlendirme sonuçları, kalın yazı karakteri en iyi puanları gösterir

Görüntü/Model	SSR	MSR	MSRCR	DHDP	MSCW
Görüntü 1	9,5334	<b>9,2012</b>	26,9109	28,3391	12,4333
Görüntü 2	30,1427	29,7352	<b>12,0947</b>	19,8939	23,5398
Görüntü 3	30,5481	31,4768	26,8379	<b>20,4728</b>	24,0417
Görüntü 4	30,6443	31,6190	<b>9,7133</b>	22,1896	11,6686
Görüntü 5	45,8291	45,2940	37,4606	31,6000	<b>30,2822</b>
Ortalama	29,3395	29,4652	22,6035	24,4991	<b>20,3931</b>
Std	12,9228	12,9416	11,5522	5,1942	8,0698

**Tablo 4.** Algoritmaların NIQE ölçütüne göre değerlendirme sonuçları, kalın yazı karakteri en iyi puanları gösterir

Görüntü/Model	SSR	MSR	MSRCR	DHDP	MSCW
Görüntü 1	8,6045	8,5241	5,1069	<b>4,9576</b>	5,3751
Görüntü 2	9,5659	9,9837	<b>3,8121</b>	5,9706	7,8400
Görüntü 3	9,9539	10,5925	<b>7,2934</b>	8,2814	7,9646

Görüntü 4	11,7567	11,9213	<b>5,0747</b>	7,7356	7,5814
Görüntü 5	11,0849	11,0257	10,7658	<b>8,2086</b>	11,9538
Ortalama	10,1932	10,4095	<b>6,4106</b>	7,0308	8,1430
Std	1,2464	1,2683	2,7379	1,4891	2,3782

**Tablo 5.** Algoritmaların PIQE ölçütüne göre değerlendirme sonuçları, kalın yazı karakteri en iyi puanları gösterir

Görüntü/Model	SSR	MSR	MSRCR	DHDP	MSCW
Görüntü 1	22,4919	<b>17,0659</b>	30,5245	30,4405	23,2809
Görüntü 2	46,6169	46,2889	<b>24,4243</b>	37,4350	30,3293
Görüntü 3	36,4663	35,2086	<b>32,1277</b>	34,9847	35,0614
Görüntü 4	48,1143	48,6780	37,8293	39,5120	<b>37,1613</b>
Görüntü 5	44,4233	45,2396	48,6101	<b>36,1333</b>	40,3896
Ortalama	39,6226	38,4962	34,7032	35,7011	<b>33,2445</b>
Std	10,5771	13,0378	9,1231	3,3876	6,6608

UIQM ve UCIQE gibi referanssız değerlendirme ölçütleri, su altı görüntü değerlendirmesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu ölçütlerin sonuçları Tablo 6 ve Tablo 7’de detaylı olarak sunulmuştur. UIQM ve UCIQE ölçütlerinin en yüksek puanları Görüntü 1’de ve MSCW algoritmasında elde edilmiştir.

**Tablo 6.** Algoritmaların UIQM ölçütüne göre değerlendirme sonuçları, kalın yazı karakteri en iyi puanları gösterir

Görüntü/Model	SSR	MSR	MSRCR	DHDP	MSCW
Görüntü 1	1,5866	1,8396	2,1756	2,1746	<b>3,2970</b>
Görüntü 2	1,3014	1,3728	1,5329	<b>1,8151</b>	1,7652
Görüntü 3	1,9110	1,9041	1,7185	2,5766	<b>2,7106</b>
Görüntü 4	1,6116	1,4359	1,5093	<b>2,2104</b>	2,1119
Görüntü 5	1,3774	1,3010	1,7357	2,2792	<b>2,8046</b>
Ortalama	1,5576	1,5707	1,7344	2,2112	<b>2,5379</b>
Std	0,2381	0,2800	0,2675	0,2722	0,6033

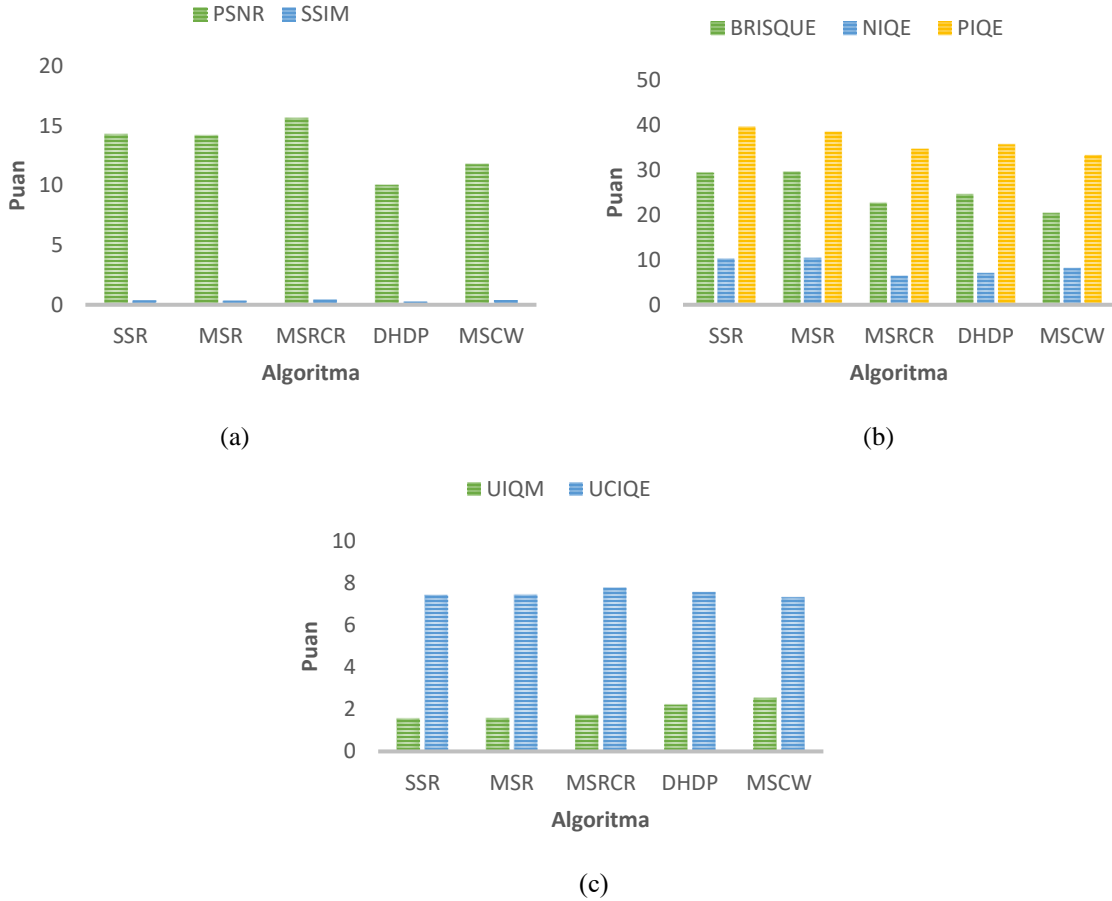
**Tablo 7.** Algoritmaların UCIQE ölçütüne göre değerlendirme sonuçları, kalın yazı karakteri en iyi puanları gösterir

Görüntü/Model	SSR	MSR	MSRCR	DHDP	MSCW
Görüntü 1	5,6368	5,6892	8,1600	9,7790	<b>10,1094</b>
Görüntü 2	<b>9,6390</b>	9,5411	6,3388	6,5456	6,5036
Görüntü 3	5,9558	5,9562	<b>9,0161</b>	7,3326	6,5494
Görüntü 4	9,2668	<b>9,2874</b>	8,8192	7,1603	7,5737
Görüntü 5	6,6317	6,7824	6,5460	<b>7,0084</b>	5,8977
Ortalama	7,4260	7,4513	<b>7,7760</b>	7,5652	7,3268
Std	1,8894	1,8389	1,2602	1,2717	1,6680

Referanslı ve referanssız ölçütler açısından görüntülerin sonuçları incelendiğinde, algoritmaların performanslarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Seçilen görüntülerde; PSNR puanı MSRCR algoritmasında (Görüntü 5), BRISQUE ve PIQE puanları MSR algoritmasında (Görüntü 1), NIQE puanı MSRCR algoritmasında (Görüntü 5) ve UIQM ile UCIQE puanları MSCW algoritmasında (Görüntü 1) daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

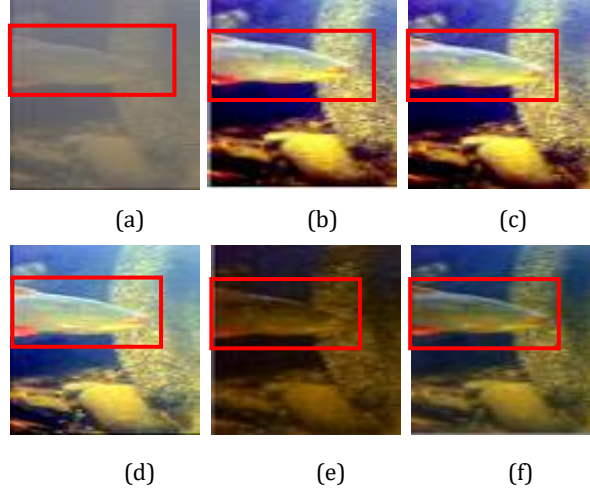
Her bir ölçüt, farklı özelliklere odaklanarak (kalite, benzerlik, renk, kontrast, doygunluk vd.) değerlendirme yapmaktadır. Dolayısıyla tüm sonuçlar ortalama olarak Şekil 3’te incelenmiştir. Algoritmalar ortalama olarak incelendiğinde, PSNR, NIQE ve UIQM puanları MSRCR algoritmasında diğer algoritmalara göre daha iyidir. Ayrıca BRISQUE, PIQE ve UCIQE ortalama puanları, MSCW algoritmasında daha iyidir. Ortalama SSIM puanı ise DHDP algoritmasında diğer

algoritmalarla göre daha düşüktür. Bu durum DHDP algoritmasıyla orijinal görüntüden daha farklı görüntülerin üretildiğini göstermektedir.



**Şekil 3.** Algoritmaların ortalama sonuçları, (a) tam referanslı değerlendirme, (b) referanssız değerlendirme, (c) su altı kalite değerlendirmesi

FFD'nin kullanıldığı geleneksel ve yeni algoritmalarla yapılan herhangi bir görüntü iyileştirme uygulamasının bulunmaması, bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Çalışmada önerilen algoritmaların özellikleri birbirinden farklıdır. Önerilen algoritmalar, su altı görüntülerinin kontrastı ile görünürlüğünü iyileştirdiği gözlenmekte ve ölçütlerin sonuçları, girdi görüntüsüne bağlı olarak değişmektedir. Çünkü bu algoritmalarının kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle, çalışmadaki algoritmalar kendi içerisinde karşılaştırma kapsamına alınmıştır. Ayrıca görüntü iyileştirme çalışmalarında sadece subjektif ölçütlerle sonuçları değerlendirmek doğru olmayabilir. Bu yüzden objektif değerlendirilmeler, özellikle su altında yaşayan canlıların tanınması ve sınıflandırılması açısından önemlidir (Şekil 4). Örneğin, Görüntü 2'deki (Şekil 1b) balık türünün tespiti için görüntünün iyileştirilmesi, görüntü analizi uygulamalarında daha işlevsel ve süreç açısından daha etkili uygulama yapılmasını sağlayacaktır. Burada, balık görüntüleri DHDP ve MSCW algoritmalarında daha koyu görünürken, diğer algoritmalar daha aydınlık sonuçlar üretmiştir. Genel olarak Görüntü 2, MSRCR algoritmasında diğer algoritmalarla göre daha iyi puanlar göstermiştir.



**Şekil 4.** İlgili görüntü bölgesinin incelenmesi, (a) Orijinal, (b) SSR, (c) MSR, (d) MSRCR, (e) DHDP, (f) MSCW

SSR ve MSR algoritmaları, R, G ve B bileşen görüntülerini bağımsız olarak iyileştirdikleri için bu algoritmalar her pikseldeki RGB bileşen oranını değiştirir ve bu durum da renk bozulmalarına yol açar [6, 7, 29]. Bu durumu düzeltmek amacıyla MSR algoritmasına renk restorasyonu eklenerek MSRCR algoritması oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlarda da görüldüğü üzere, MSRCR algoritması ölçütlerde daha iyi sonuçlar elde ederek MSR algoritmasındaki sınırlılığı azaltmıştır. Ayrıca seçilen 5 görüntüde en iyi sonuçlar genellikle MSRCR algoritmasında elde edilmiştir.

#### 4. SONUÇ

Işığın dalga boyu ve saçılması gibi etkenler nedeniyle su altında ışık zayıflar, bu da görüntülerin daha mavi ve yeşil tonlarda algılanmasına sebep olur. Dolayısıyla bu durum su altı görüntülerde renk bozulmalarına yol açar. Bu etkiyi azaltmak için görüntü iyileştirme yöntemleri kullanılır. Bu çalışma, su altı görüntülerini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan görüntü iyileştirme algoritmalarını ve görüntü kalite ölçütlerini açıklamaktadır. Çalışma, FFD'den rastgele seçilmiş görüntülere uygulanmıştır. SSR, MSR, MSRCR, DHDP ve MSCW algoritmalarıyla bu görüntüler iyileştirilmiştir. Çalışmada ölçütler ortalama açısından incelendiğinde, MSRCR ve MSCW algoritmaları genellikle daha iyi puanlar almıştır. Ancak seçilen görüntülerde en iyi sonuçlar genellikle MSRCR algoritmasındadır.

Görüntü iyileştirme algoritmaları geleneksel olarak tek bir görüntü verisi üzerinden sahne rengini tahmin eder ve her görüntü iyileştirme algoritmasının kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunur. Dolayısıyla bu algoritmaları uygulama bazında seçilerek görüntü iyileştirme yapılmasında fayda vardır. Ayrıca değerlendirilen ölçütlerden iyi puanlar alınması algoritmaların parametrelerinin ayarlanmasına bağlıdır. Bu durum geliştirilen görüntünün iyileştirilmesi açısından önemli bir bileşendir ve uzun emek isteyen bir süreci oluşturur. Literatürde, su altı görüntülerini iyileştirmek için birçok geleneksel tabanlı algoritmalar üzerine yapılan deneylerin performans sonuçları mevcuttur. Gelecekte, su altı görüntülerinin iyileştirilmesi ve görüntülerdeki ayrıntılarının korunması amacıyla son teknoloji algoritmaların kullanılması planlanmaktadır.



## KAYNAKÇA

- [1] Guo Y, Li H, Zhuang P, (2019) Underwater image enhancement using a multiscale dense generative adversarial network. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 45 (3): 862-870.
- [2] Hu K, Zhang Y, Lu F, Deng Z, Liu Y, (2020) An underwater image enhancement algorithm based on MSR parameter optimization. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (10): 741.
- [3] Zhou J, Yao J, Zhang W, Zhang D, (2022) Multi-scale retinex-based adaptive gray-scale transformation method for underwater image enhancement. *Multimedia Tools and Applications*: 1-21.
- [4] Quan X, Wei Y, Li B, Liu K, Li C, Zhang B, Yang J, (2022) The Color Improvement of Underwater Images Based on Light Source and Detector. *Sensors*, 22 (2): 692.
- [5] Land EH, McCann JJ, (1971) Lightness and retinex theory. *Josa*, 61 (1): 1-11.
- [6] Jobson DJ, Rahman Z-u, Woodell GA, (1997) Properties and performance of a center/surround retinex. *IEEE transactions on image processing*, 6 (3): 451-462.
- [7] Jobson DJ, Rahman Z-u, Woodell GA, (1997) A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes. *IEEE Transactions on Image processing*, 6 (7): 965-976.
- [8] Muniraj M, Dhandapani V, (2021) Underwater image enhancement by combining color constancy and dehazing based on depth estimation. *Neurocomputing*, 460: 211-230.
- [9] Zhang W, Dong L, Xu W, (2022) Retinex-inspired color correction and detail preserved fusion for underwater image enhancement. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192: 106585.
- [10] Zhao J-l, Chen Z-q, Jiang H-y, Zhang Q, (2023) Deep Retinex image enhancement algorithm under weak Light Conditions. *2023 IEEE 6th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 857-861.
- [11] Katircioğlu F, (2021) Düşük-Işıklı Renkli Görüntülerin İyileştirilmesinde Kullanılan Retineks Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3 (2): 188-206.
- [12] Badrinarayanan V, Kendall A, SegNet RC, (2015) A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation. *arXiv preprint arXiv:151100561*, 5.
- [13] Li C-Y, Guo J-C, Cong R-M, Pang Y-W, Wang B, (2016) Underwater image enhancement by dehazing with minimum information loss and histogram distribution prior. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25 (12): 5664-5677.
- [14] Liu X, Zhang H, Cheung Y-m, You X, Tang YY, (2017) Efficient single image dehazing and denoising: An efficient multi-scale correlated wavelet approach. *Computer Vision and Image Understanding*, 162: 23-33.
- [15] Tajeripour F, Fekri-Ershad S, (2014) Developing a novel approach for stone porosity computing using modified local binary patterns and single scale retinex. *Arabian Journal for Science and engineering*, 39: 875-889.
- [16] Pazhani AAJ, Periyamayagi S, (2022) A novel haze removal computing architecture for remote sensing images using multi-scale Retinex technique. *Earth Science Informatics*, 15 (2): 1147-1154.
- [17] Gao Z, Zhai Y, (2022) Image Dehazing Based on Multi-scale Retinex and Guided Filtering. *2022 International Conference on Image Processing, Computer Vision and Machine Learning (ICICML)*, 123-126.
- [18] Li D, Sun J, Wang H, Shi H, Liu W, Wang L, (2022) Research on haze image enhancement based on dark channel prior algorithm in machine vision. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022.
- [19] Li C, (2016) TIP2016-code, <https://github.com/Li-Chongyi/TIP2016-code>:
- [20] Liu X, (2017) waveletdehaze-sourcecode-v1.0, <https://github.com/starxliu/waveletdehaze-sourcecode-v1.0>:
- [21] Chen X, (2020) PSNR-SSIM-UCIQE-UIQM-Python, <https://github.com/xueleichen/PSNR-SSIM-UCIQE-UIQM-Python/blob/main/evaluate.py>:
- [22] Chen X, Li J, Hua Z, (2023) Retinex low-light image enhancement network based on attention mechanism. *Multimedia Tools and Applications*, 82 (3): 4235-4255.



- [23] Mittal A, Moorthy AK, Bovik AC, (2012) No-reference image quality assessment in the spatial domain. *IEEE Transactions on image processing*, 21 (12): 4695-4708.
- [24] John Chemmanam A, Jose BA, (2023) Fused features for no reference image quality assessment. *The Imaging Science Journal*: 1-13.
- [25] Yang M, Sowmya A, (2015) An underwater color image quality evaluation metric. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24 (12): 6062-6071.
- [26] Srinivas S, Siddharth VR, Dutta S, Khare NS, Krishna L, (2022) Channel prior based Retinex model for underwater image enhancement. *2022 Second International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)*, 1-10.
- [27] Panetta K, Gao C, Agaian S, (2015) Human-visual-system-inspired underwater image quality measures. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 41 (3): 541-551.
- [28] Nordølum BJ, Lavik EO, Haugen KAD, Kvalvaag T-RT, (2021) Artsgjenkjenning av fisk, *NTNU*.
- [29] Kimmel R, Elad M, Shaked D, Keshet R, Sobel I, (2003) A variational framework for retinex. *International Journal of computer vision*, 52: 7-23.



## Veri İletişimi Kodlama Tekniklerinin FPGA Üzerinde Gerçekleştirilmesi

Cem Deniz KUMRAL<sup>1</sup>, Mevlüt ERSOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Bilgisayar Mühendisliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye  
cemkumral34@gmail.com, mevlutersoy@sdu.edu.tr

**Özet**— Teknoloji altyapısı bulunan her geliştirme ve oluşturulan her sistemde veri iletişimi gerçekleşmektedir. Veri iletişiminin doğru ve uygun altyapılar kullanılarak sağlanması önem taşımaktadır. Hat kodlaması; fiziksel kanalın ve alıcı ekipmanın belirli özellikler için optimal olarak ayarlanmış olan genlik ve zaman-ayrık dijital sinyallerini temsil etmek üzere gerçekleştirilen bir işlemdir. İletilecek olan sinyali iletim ortamının özelliklerine uyumlu olacak biçimlere çevirip, sinyal bozucu etkenlerden daha az etkilenebilecek biçimde ve en az bant genişliği kullanımı sağlayacak şekilde değiştiren sinyal işleme uygulamasıdır. Sistemlerde kullanılmak üzere çeşitli hat kodlama tekniği bulunmaktadır. Hangi kodlama tekniğinin kullanılacağı, DC seviyesinin, PSD (Güç Spektral Yoğunluğu) durumunun, bant genişliği gerekliliklerinin, bit hata oranı performansının, saat sinyalinin geri kazanım kolaylığının veya içsel algılama özelliğinin varlığına veya yokluğuna bağlıdır. Bu çalışmada, Manchester, Differential Manchester, NRZ (Non-Return Zero, Sıfıra Dönmeyen), NRZ-Level ve NRZ-Invert hat kodlama tekniklerinin, en yaygın donanım tanımlama dili olan Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language (VHDL) kullanılarak FPGA kartı üzerinde gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. VHDL kodlamaları VIVADO ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamanın doğru sonuçlar verip vermediğini kontrol etmek adına, elde edilen tümleşik devreye 8 bitlik veri girişi üzerinden çalışma sağlayan bir simülasyon kodu yazılmıştır. Her sinyal için 100 nanosaniye (ns) girdi süresi tanımlanmış ve saat sinyali 50 ns aralıklarla tetiklenmiştir. Simülasyonun çalıştırılması sonucunda her bir kodlama tekniği için oluşan çıkış sinyalleri, kodlama tekniklerinin kuralları doğrultusunda incelenerek sistemin doğruluğu sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler**— Veri iletişimi, Sayısal haberleşme, Kodlama Teknikleri, FPGA, VHDL

## Implementation of Data Communication Coding Techniques on FPGA

**Abstract**— Data communication takes place in every development and every system created with a technology infrastructure. It is important to ensure data communication using correct and appropriate infrastructures. Line coding; It is a process performed to represent amplitude and time-discrete digital signals that are optimally tuned for certain characteristics of the physical channel and receiving equipment. It is a signal processing application that converts the signal to be transmitted into forms that are compatible with the characteristics of the transmission medium and changes it in a way that is less affected by signal interfering factors and provides the least bandwidth usage. There are various line coding techniques for use in systems. Which coding technique to use depends on the DC level, PSD (Power Spectral Density) condition, bandwidth requirements, bit error rate performance, ease of recovery of the clock signal, or the presence or absence of intrinsic sensing capability. In this study, it is aimed to implement Manchester, Differential Manchester, NRZ (Non-Return Zero), NRZ-Level and NRZ-Invert line coding techniques on FPGA board using Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language (VHDL), the most common hardware description language. VHDL coding was carried out in the VIVADO development platform. In order to check whether the implemented application gives correct results, a simulation code was written to the integrated circuit that provides operation over 8-bit data input. For each signal, an input time of 100 nanoseconds (ns) was defined and the clock signal was triggered at 50 ns intervals. As a result of running the simulation, the output signals generated for each coding technique were analysed in accordance with the rules of the coding technique and the accuracy of the system was ensured.

**Keywords**— Data communication, Digital communication, Coding Techniques, FPGA, VHDL

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilginin iki nokta arasında iletilmesi için analog veya sayısal sinyale çevrilmesi gerekir. Sayısal-sayısal çevirmede sayısal veri sayısal sinyale dönüştürülür [1, 2]. Analog-sayısal çevirmede ise analog veri sayısal sinyale dönüştürülür. Çevirme işleminden elde edilen sinyal paralel veya seri olarak iki nokta arasında iletilir. Her dijital iletimde, verilerin modülasyondan önce yeniden biçimlendirilmesi gerekir [3]. Modülasyon, sinyalin yüksek frekanslı sinüsoid ile karıştırılarak yeni bir sinyal üretme tekniğidir. İletilen sinyalin özelliklerini bozmamak, iletim ortamı üzerinde etkili bir şekilde iletişim kurmak adına hat kodlaması adı verilen işlemler gerçekleştirilmektedir [4, 5]. Hat kodlaması; fiziksel kanalın ve alıcı ekipmanın belirli özellikleri için optimal olarak ayarlanmış olan genlik ve zaman-ayrık sinyali tarafından taşınacak olan dijital sinyali temsil etmekten ibarettir. İletilecek olan sinyali iletim ortamının özelliklerine uyumlu olacak biçimlere çevirip, sinyal bozucu etkenlerden daha az etkilenebilecek biçimde ve en az bant genişliği kullanımını sağlayacak şekilde değiştiren sinyal işleme uygulamasıdır. Başka bir deyişle, bir iletim bağlantısındaki dijital verilerin yani lojik 1 ve 0'ların koaksiyel kablo, optik fiber kablo vb. fiziksel ortamlardan geçirilebilecek gerilim ve akım darbesi dizisine çevrildiği iletişim sistemi için kullanılan anahtar yapı bloğudur [6]. Bir blok olarak, dijital verileri bir girdi olarak alır ve yine dijital verileri çıktı olarak geri döndürür. Dolayısıyla hat kodlamaları bir dijital mantık sistemi olarak nitelendirilebilir. Hat kodlaması, sistemlerde kendi kendine saatleme, hizmet içi hata izleme, hattaki işaretlerin büyük bir DC bileşeninin olmasını engelleme, aynı kablo üzerindeki ses devrelerinin karışmasını önleme, frekansın değiştiği ve özellikle art arda gelmiş pek çok sıfırın bulunduğu durumlarda saat işaretini elde etme gibi amaçlara ulaşmak için kullanılmaktadır. Uygulamalarda kullanmak adına çeşitli hat kodlama tekniği mevcuttur. Hangi kodlama tekniğinin kullanılacağı, DC seviyesinin, PSD (Güç Spektral Yoğunluğu) durumunun, bant genişliği gerekliliklerinin, bit hata oranı performansının, saat sinyalinin geri kazanım kolaylığının veya içsel algılama özelliğinin varlığına veya yokluğuna bağlıdır [7, 8].

Son yıllarda, Field Programmable Gate Array (FPGA) entegre devreleri üzerinde farklı sistem türlerinin uygulanmasında yüksek oranda bir büyüme gözlenmiştir. FPGA'lar programlanabilir mantık blokları, bu blok dizisini çevreleyen giriş-çıkış blokları ve ara bağlantılar olmak üzere düzenlenebilir üç ana bölümden oluşmuştur. Paralel işlem yürütebilme yapısına sahip olması, hızlı prototipleme ve uygun maliyetli çözümler sunan tasarım modellerini beraberinde getirmesi nedeniyle sistem mimarilerinde tercih edilmektedir. FPGA'lar sayısal işaret işleme, radar haberleşme sistemi, uzay, savunma sistemleri, ASIC, medikal resimleme, robotik, ses tanıma, şifreleme ve kod çözme gibi birçok alanda kullanılmaktadır [9].

Bu çalışmada, Manchester, Differential Manchester, NRZ, NRZ-Level ve NRZ-Invert hat kodlama tekniklerinin en yaygın donanım tanımlama dili olan Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language (VHDL) kullanılarak FPGA kartı üzerinde gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. Uygulamada ele alınan 5 kodlama tekniği için de gerekli sadeleştirme işlemleri gerçekleştirilerek bu kodlama tekniklerinin lojik yapılarına ulaşılmıştır. Elde edilen bu lojik yapılara göre VIVADO geliştirme ortamında VHDL ile donanım tanımlama işlemi gerçekleştirilmiş ve kodlamaların çalışması için gerekli olan devre şemaları oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen uygulamanın doğru sonuçlar verip vermediğini kontrol etmek adına, elde edilen tümleşik devreye 8 bitlik veri girişi üzerinden çalışma sağlayacak bir simülasyon kodu yazılmıştır. Simülasyonun çalıştırılması sonucunda her bir kodlama tekniği için oluşan çıkış sinyalleri incelenerek sistemin doğruluğu sağlanmıştır. Son olarak yazılan VHDL kod FPGA kartı üzerine aktararak sistem kullanımı ve performans analizi yapılmıştır. Sistemin simülasyon sonuçları ve performans analizi sonuçları "TARTIŞMA VE SONUÇLAR" bölümünde verilmiştir.

## 2. BİLİMSEL YAZIN TARAMASI (SCIENTIFIC LITERATURE REVIEW)

Srinivasan vd. (2023) çalışmalarında, İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK)'yı yüksek hızlı bir FPGA platformu üzerinde uygulamışlardır. Uyguladıkları BPSK modülasyon tekniğini, bir IDE (Entegre Geliştirme Ortamı) olan Xilinx Vivado 2021.01 aracındaki Verilog HDL (Donanım Tanımlayıcı Dili) kullanarak geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri BPSK kodunu Vivado ortamında simüle etmişler ve daha sonra osiloskopta donanım uygulama sonuçlarına ulaşabilmek için Basys 3 FPGA kartına aktarım yapmışlardır. Geliştirdikleri tasarım ile FPGA platformu üzerinde daha az alan ve daha az güç kullanımı avantajı elde ettiklerini öne sürmüşlerdir [3].

Rajalakshmi ve Kavitha (2023) çalışmalarında, AC şebekede EMI'nin azaltılmasına yönelik üç fazlı gerilim kaynaklı doğrultucuların (VSR) çalıştırılması için doğrudan sıralı yayılma spektrumu (DSSS) ve frekans atlamalı yayılma spektrumu (FHSS) modülasyon tekniklerini önermişlerdir. DSSS modülasyon tekniğinde ilk kez, üç fazlı VSR'de elektromanyetik parazitini (EMI) azaltılması için ikili faz kaydırmalı anahtarlama ve karesel faz kaydırmalı anahtarlama (QPSK) tekniklerini benimsemişlerdir. Önerilen bu modülasyon tekniklerini gerçekleştirmek için uygun maliyetli bir sahada programlanabilir kapı dizisi (FPGA) kullanmışlardır. Her modülasyon tekniği için ISE Xilinx ortamında bir VHDL kodlaması gerçekleştirmişlerdir. Tasarımları Model-Sim aracıyla doğrulamışlar ve ardından doğrultucu için kapı darbeleri üretmek üzere FPGA kartına aktarmışlardır. Önerilen modülasyon tekniklerini geleneksel sinüzoidal darbe genişliği modülasyonu (SPWM) ile karşılaştırmışlardır. FHSS ve QPSK tekniklerinin güç kalitesini iyileştirdiği ve iletilen EMI seviyelerinin SPWM ile karşılaştırıldığında sırasıyla 22,1 ve 12,4 dB $\mu$ V azaldığını göstermişlerdir [4].

Kwiatkowski ve Szplet (2020) çalışmalarında, sahada programlanabilir kapı dizisi (FPGA) cihazında çoklu zaman kodlama hatları (TCL'ler) tabanlı zamandan dijitale dönüştürücü (TDC) uygulamasını daha verimli hale getiren iki ilke sunmuşlardır. Sözde bölümlere ayrılmış bir gecikme hattı ve programlanabilir mantık blok elemanlarının etkin kullanımıyla birçok mantıksal kaynaktan tasarruf edilmesi üzerine bir tasarım yapmışlardır. Ayrıca kıyılmış bir TCL ile ölçüm çözünürlüğünü ve hassasiyetini artırmak ve küresel saat ağının eğrilmesinden yararlanmak için bir tasarım yapmışlardır. Her iki tasarımı da Xilinx tarafından 28 nm CMOS prosesinde üretilen bir Kintex-7 FPGA çipinde uygulamışlardır. Oluşturdukları tasarımları yaygın kullanılan "düz" mimari TCL çözümleriyle ve ayarlanmış bir gecikme hattıyla karşılaştırmışlardır. Tek ve çoklu konfigürasyonlarda çalışan dört tasarımın tamamını kaynak kullanımı, ölçüm çözünürlüğü ve hassasiyet açısından test etmişlerdir. Tek kanallı zaman damgalarına dayalı enterpolasyonlu zaman sayacı kullanılarak tasarlanan TDC'ler ile on adete kadar TCL kullanarak 1 ps'lik ortalama çözünürlük ve 4 ps'nin altında hassasiyet elde edildiği sonucuna varmışlardır [5].

Gupta ve Singh (2016) çalışmalarında, Verilog-HDL yazılım platformunda NRZ, RZ ve Biphase gibi farklı çizgi kodlama şemalarının uygulanmasını sunmuşlardır. Verilog-HDL kodunu, MentorGraphics'in ModelSim aracını kullanarak simüle etmişlerdir. Sonuçlar, yazılım arayüzünde çeşitli dalga formları şeklinde gözlemlenmiştir. Sonuç olarak eğitimler üzerinde bir değer yaratan farklı türdeki çizgi kodlamalarını incelemek için kullanıcı dostu ve yazılım odaklı bir yaklaşımı öne sürmüşlerdir [6].

Singh ve Mishra (2014) çalışmalarında, güvenlik, alan optimizasyonu ve çeşitli kanal ortamlarında verimli dijital iletişimi desteklemek amacıyla Xilinx Spartans-6 XC6SLX45 FPGA platformunda VHDL kullanılarak çeşitli çizgi kodlama şemalarının uygulanmasını amaçlamışlardır. Unipolar RZ ve NRZ, Polar RZ ve NRZ, AMI ve Manchester kodlaması, Pseudo Ternary kodlama ve Mark Inversion çizgi kodlama türlerini Xilinx tasarım araçları ile Spartan-6 FPGA kullanarak

modellemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda uygulama yapılan kodlama türlerinin simülasyon sonuçlarını ortaya koymuşlardır [7].

Zuo vd. (2013) çalışmalarında, FPGA tabanlı Manchester kodlayıcı ve kod çözücüyü tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarımı VHDL programlama dilini kullanarak oluşturmuşlardır. İstenilen kodlayıcı ve kod çözücü şemalarını, Altera geliştirme yazılımı Quartus II 8.0'da simüle ederek test sonuçlarını göstermişlerdir. Uygulamanın doğrulama işlemi için Cyclone II EP2C35F672C6 FPGA yongasını kullanarak gerçekleme yapmışlardır. Çalışma sonucunda, tasarım planının Manchester CODEC'i gerçekleştirmek için başarılı olduğunu ve iyi bir stabilite ile güvenilirliğe sahip olduğunu göstermişlerdir [10].

Amrinder vd. (2011) çalışmalarında, güvenlik, alan optimizasyonu ve değişen kanal ortamında iletişimi desteklemesine olanak tanınması nedeniyle, tek bir yonga üzerinde VHDL kullanarak çeşitli çizgi kodlama şemalarının uygulanmasını göstermişlerdir. Kullanılan çizgi kodlama şemaları Unipolar RZ, Polar RZ, NRZ-L, NRZ-I, Manchester, Diferansiyel Manchester, AMI, Psödokterner ve CMI kodlamalarıdır. Universal Line Encoder'ın dalga formlarını ISim (M.81d) aracını kullanarak sunmuşlar ve çalıştırılan çizgi kodlama türlerinin çıktılarının doğruluğunu göstermişlerdir [11].

Ali ve Esraa (2010) çalışmalarında, Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA) üzerindeki yapay bir sinir ağının bir donanım tasarımı sunmuşlardır. Dijital sistem mimarisi, ileriye dönük çok katmanlı bir sinir ağını gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Tasarladıkları mimariyi, Çok Yüksek Hızlı Entegre Devreler Donanım Tanımlama Dili (VHDL) kullanılarak tanımlamışlardır. Çalışma sonucunda yapay sinir ağının FPGA üzerinde gerçekleştirilmesi ile oluşan bellek kullanımı ve sistemin çalışma hızı üzerinde yaptıkları analizleri sunmuşlardır [12].

Mishra ve Saxena (2009) çalışmalarında, güvenlik, alan optimizasyonu ve değişen kanal ortamında iletişimi desteklemesine olanak tanınması nedeniyle, tek bir yonga üzerinde VHDL kullanarak çeşitli çizgi kodlama şemalarının uygulanmasını göstermişlerdir. Kullanılan çizgi kodlama şemaları Unipolar RZ ve NRZ, Polar RZ ve NRZ, AMI ve Manchester kodlamalarıdır. Universal Line Encoder'ın dalga formlarını Modelsim 6.4 aracını kullanarak sunmuşlar ve çalıştırılan çizgi kodlama türlerinin çıktılarının doğruluğunu göstermişlerdir [13].

El-Medany (2008) çalışmasında, Manchester ve Diferansiyel Manchester Coder / Decoder sistemlerinin VLSI donanım uygulamasını sunmuştur. Devrenin donanımını tanımlamak için VHDL (VHSIC Donanım Tanımlama Dili), donanım uygulama görevi için Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA) kullanmıştır. Hedef teknoloji (FPGA) sınırsız sayıda yeniden programlanabildiği için veri hızı kolayca yeniden yapılandırılabilir. Sistemi VHDL kullanılarak tasarlamış ve Xilinx Spartan 3 FPGA Başlangıç kiti kullanılarak donanım üzerine uygulamıştır. Hem Manchester hem de Diferansiyel Manchester için kodlayıcı ve kod çözücüyü, simülasyon amacıyla veya mevcut FPGA kiti kullanılarak donanım ortamında farklı veri girişleri için test etmiştir. Çalışma sonucunda Manchester / Differential Manchester CODEC, ER400TRS Kablosuz Alıcı-Verici Sisteminin seri veri iletimi ve alımı için kullanılabileceğini kanıtlamıştır [14].

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)**

#### **3.1. Geliştirilen Sistemin FPGA Yazılımı ve Simülasyon Tasarımı**

Geliştirilen sistemde Manchester, Differential Manchester, NRZ, NRZ-Level ve NRZ-Invert hat kodlama teknikleri, VHDL mantıksal programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Uygulamada ele

alınan 5 kodlama tekniği için gerekli sadeleştirme işlemleri gerçekleştirilerek bu kodlama tekniklerinin lojik yapılarına ulaşılmıştır. Elde edilen bu lojik yapılara göre VIVADO geliştirme ortamında donanım tanımlama işlemleri gerçekleştirilmiş ve kodlamaların çalışması için gerekli olan devre şemaları elde edilmiştir. Her kodlama tekniği için bir çıkış sinyali tanımlanmış ve tüm mantıksal işlemler aynı görev mimarisi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Giriş sinyalleri ile saat sinyalinin sadeleşmiş devre yapısına göre elde edilmiş lojik kapılardan geçirilmesi ile kodlama tekniklerinin mantıksal tasarımları tanımlanmıştır. Bu işlemler sonucunda, tanımlanan çıkış sinyalleri her bir kodlama tekniği için ayrı ayrı elde edilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamanın doğru sonuçlar verip vermediğini kontrol etmek adına, elde edilen tümleşik devreye 8 bitlik veri girişi üzerinden çalışma sağlayan bir simülasyon tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan simülasyon tasarımı da tek bir görev mimarisi içerisinde tanımlanmış ve çalışmada kullanılan tüm kodlama teknikleri için uygulanmıştır. Simülasyon tasarımında her giriş sinyali için 100 nanosaniye (ns) girdi süresi tanımlanmış ve saat sinyali 50 ns aralıklarla lojik “1” ve lojik “0” olacak şekilde tetiklenmiştir. Geliştirilen sistemin FPGA yazılımı Şekil 1’de, simülasyon tasarımı ise Şekil 2’de verilmiştir.

```
architecture Behavioral of lineCoding is
```

```
begin
```

```
-----MANCHESTER-----
```

```
data_out_Man <= data_in xor clk;
```

```
-----DIFFERENTIAL MANCHESTER-----
```

```
A <= data_in xnor Q;
```

```
B <= data_in xor Q;
```

```
C <= (((NOT CLK) AND A) OR (CLK AND B));
```

```
data_out_difMan <= C xnor '0';
```

```
D <= data_out_difMan;
```

```
process(CLK)
```

```
begin
```

```
if rising_edge(CLK) then
```

```
Q <= D;
```

```
end if;
```

```
end process;
```

```
----- NRE -----
```

```
data_out_NRE <= data_in;
```

```
----- NRE_LEVEL -----
```

```
data_out_NRE_L <= (NOT data_in);
```

```
----- NRE_INVERT -----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
-----
```

```
--Inputs
```

```
signal CLOCK, DATA_IN, MANCHESTER, DIF_MANCHESTER, NRZ,  
NRZ_Level, NRZ_Invert: std_logic;
```

```
BEGIN
```

```
lineCode: lineCoding PORT MAP (CLOCK, DATA_IN,  
MANCHESTER, DIF_MANCHESTER, NRZ, NRZ_Level, NRZ_Invert);
```

```
process
```

```
begin
```

```
CLOCK <= '1';
```

```
wait for 50 ns;
```

```
CLOCK <= '0';
```

```
wait for 50 ns;
```

```
end process;
```

```
process
```

```
begin
```

```
DATA_IN <= '1';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '1';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '0';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '0';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '1';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '1';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '1';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '0';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '1';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
DATA_IN <= '1';
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

```
wait for 100 ns;
```

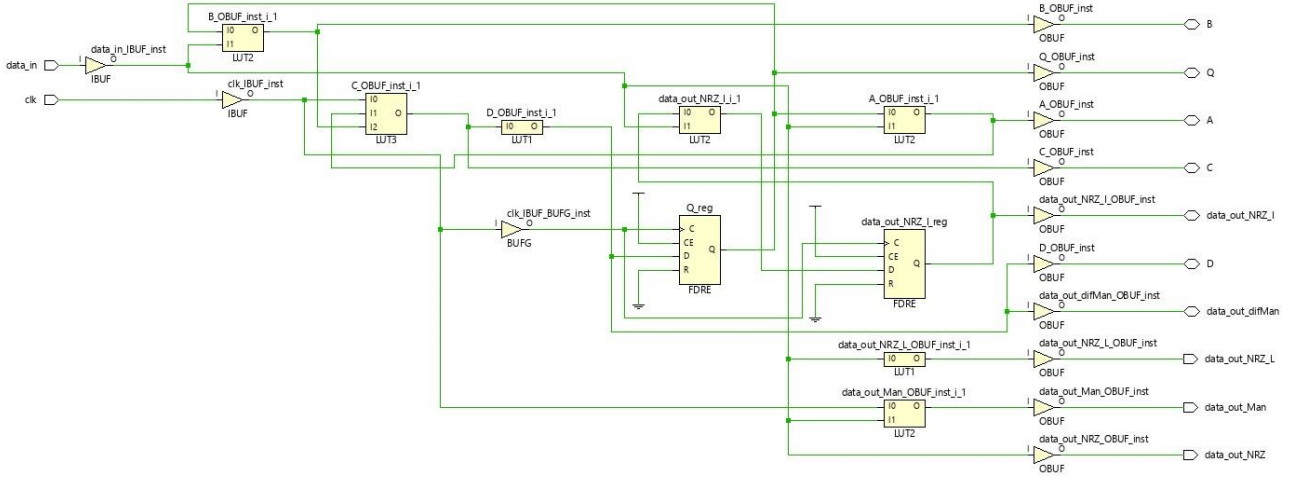
```
wait for 100 ns;
```

Şekil 1. Sistemin FPGA Yazılımı

Şekil 2. Sistemin Simülasyon Tasarımı

### 3.2. Tümlüşik Sistemin FPGA Devre Yapısı

VHDL ile donanım tanımlama işlemi gerçekleştirilen tasarım VIVADO ortamında sentezlendikten sonra sistemin mantıksal devre tasarımı elde edilmiştir. Elde edilen devre tasarımında veri girişi ve saat sinyali mantıksal ünitelerden geçerek çıkış verilerini oluşturmaktadır. Elde edilen bazı çıkış verileri hem giriş hem çıkış olacak şekilde tanımlanmıştır. Bu veriler bazı kodlama tekniklerinin girişi olarak kullanılmıştır. Tüm lojik ünitelerin işlemleri tamamlandıktan sonra Manchester, Differential Manchester, NRZ, NRZ-Level ve NRZ-Invert kodlama tekniklerinin sinyal çıkışları elde edilmektedir. Geliştirilen sistemin sentezleme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen FPGA devre şeması Şekil 3'te verilmiştir.



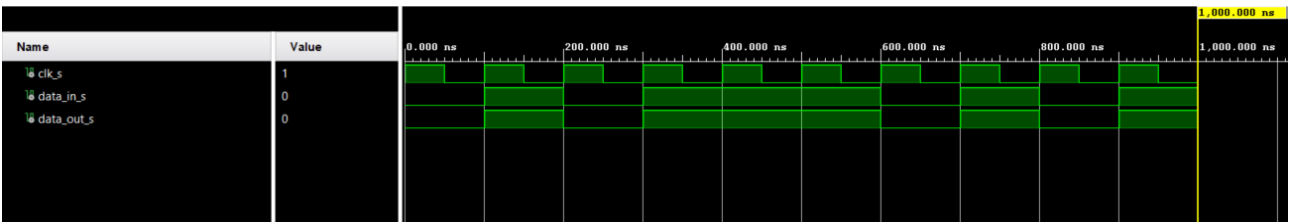
Şekil 3. Sistemin FPGA Devre Şeması

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND RESULTS)

Oluşturulan simülasyon tasarımı her kodlama türü için ayrı ayrı çalıştırılmış ve sinyal sonuçları elde edilmiştir. Her bir kodlama türünün ve tümlüşik sistemin simülasyon sonuçları aşağıda ayrı başlıklar halinde verilmiştir.

### 4.1. NRZ Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

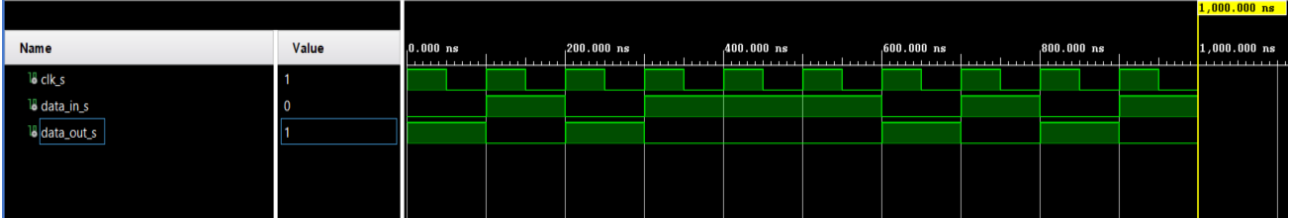
NRZ kodlamanın mantıksal çalışma prensibinde saat sinyali tetiklemesi sonrası giriş sinyalinin aynısı çıkışa aktarılmaktadır. Örneğin giriş sinyali lojik "1" ise çıkış sinyali de lojik "1" olarak elde edilir. NRZ kodlama tekniğinin FPGA simülasyon sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



## Şekil 4. NRZ Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

## 4.2. NRZ-Level Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

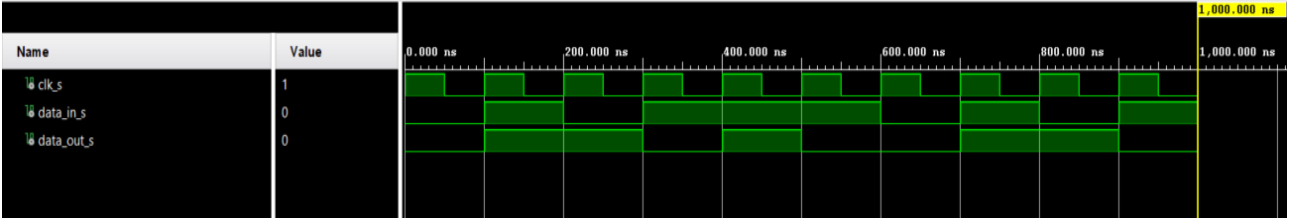
NRZ-Level kodlamanın mantıksal çalışma prensibinde saat sinyali tetiklemesi sonrası giriş sinyali lojik “0” ise çıkışa lojik “1” değeri, giriş sinyali lojik “1” ise çıkışa lojik “0” değeri aktarılmaktadır. NRZ-Level kodlama tekniğinin FPGA simülasyon sonuçları Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. NRZ-Level Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

## 4.3. NRZ-Invert Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

NRZ-Invert kodlamanın mantıksal çalışma prensibinde saat sinyali tetiklemesi sonrası giriş sinyali lojik “1” ise çıkış değeri önceki durumun tersi olarak değişmektedir. Giriş sinyali lojik “0” ise çıkış değeri önceki durumdaki değerini korumaktadır. NRZ-Invert kodlama tekniğinin FPGA simülasyon sonuçları Şekil 6’da verilmiştir.

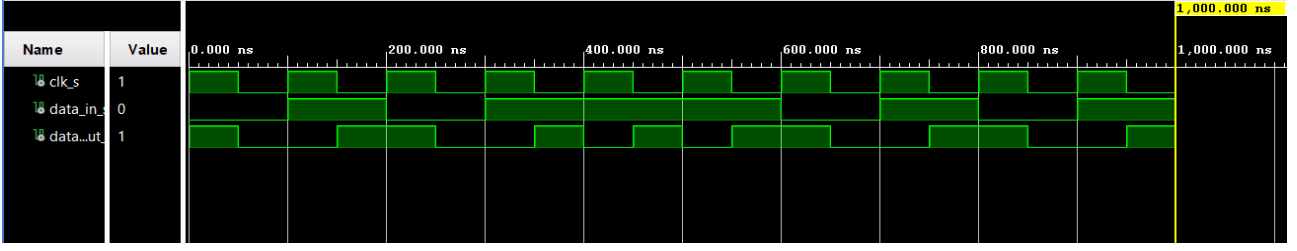


Şekil 6. NRZ-Invert Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

## 4.4. Manchester Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

Manchester kodlamanın mantıksal çalışma prensibinde saat sinyali tetiklemesi sonrası sinyalin ortasında seviye değişimi gerçekleşmektedir. Giriş sinyalinin lojik “0” ve lojik “1” olması durumlarına bağlı olarak çıkış sinyali iki farklı şekilde oluşmaktadır. Giriş sinyalinin lojik “0” olduğu durumlarda “Z” şeklinde, giriş sinyalinin lojik “1” olduğu durumlarda ise “ters Z” şeklinde çıkış sinyali oluşmaktadır. Manchester kodlama tekniğinin FPGA simülasyon sonuçları Şekil 7’de verilmiştir.

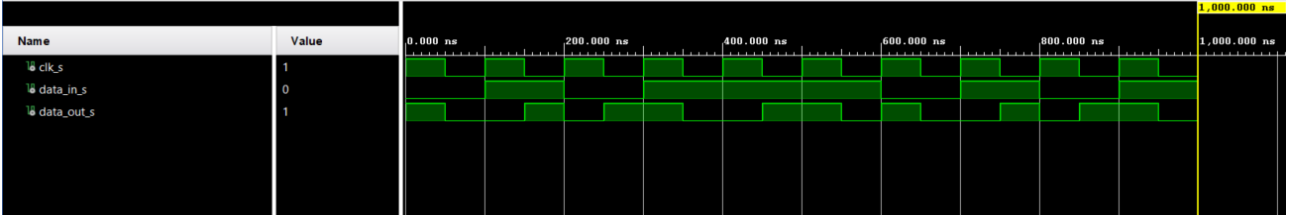




Şekil 7. Manchester Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

#### 4.5. Differential Manchester Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

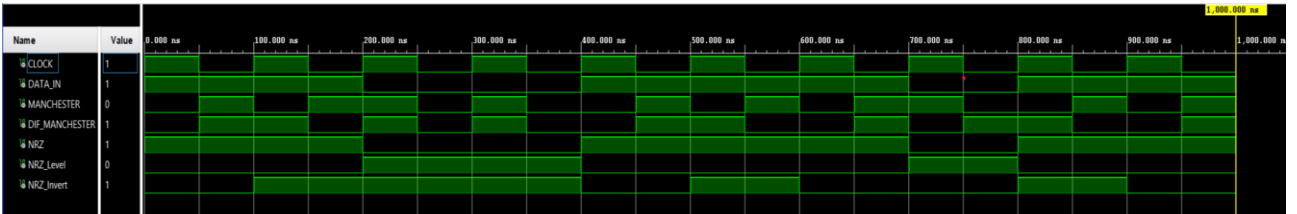
Differential Manchester kodlamanın mantıksal çalışma prensibinde saat sinyali tetiklemesi sonrası sinyalin ortasında seviye değişimi gerçekleşmektedir. Giriş sinyali lojik “0” ise çıkış sinyalinin şekli bit başında değişime uğrar. Giriş sinyali lojik “1” ise çıkış sinyali önceki durumdaki şeklini korumaktadır. Differential Manchester kodlama tekniğinin FPGA simülasyon sonuçları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Differential Manchester Kodlama FPGA Simülasyon Sonuçları

#### 4.6. Geliştirilen Sistemin Tümlleşik FPGA Simülasyon Sonuçları

Tümlleşik sistemin simülasyon tasarımının çalıştırılması sonucunda verilen giriş değerleri doğrultusunda oluşan çıkış değerleri her kodlama tekniğinin mantıksal çalışma prensibi kapsamında incelenmiştir. Sistemin verdiği çıkış sinyallerinin tutarlı olduğu gözlemlenmiş ve geliştirilen sistemin doğruluğu kanıtlanmıştır. Tüm kodlama tekniklerinin tümlleşik olarak FPGA platformu üzerinde sentezlenmesi sonrasında elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Tümlleşik Simülasyon Sonuçları

#### 4.7. FPGA Kaynak Kullanım Sonuçları

Oluşturulan tasarım BASYS3 FPGA kartına aktarılmış ve tasarımın kart üzerinde kullandığı mantıksal kaynak kullanım oranları elde edilmiştir. FPGA kartı kapsamında kullanılan LUT, Flip-Flop (FF), giriş-çıkış portları (IO) ve Buffer (BUFG) sayılarına ulaşılmış ve toplam kaynak miktarına

göre oranlamaları yapılmıştır. Geliştirilen sistemin FPGA kaynak kullanım sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. FPGA Kaynak Kullanım Sonuçları

Kaynak Türü	Kullanım	Toplam Kaynak Miktarı	Kaynak Kullanım Oranı (%)
LUT	4	20800	0.02
FF	2	41600	0.01
IO	12	106	11.32
BUFG	1	32	3.13

Tablo 1’de görüldüğü üzere oluşturulan tasarım FPGA kartının kaynaklarını çok düşük oranda kullanmaktadır. Bu sebeple sistemin çalışma performansı ve tutarlılığı yüksektir. Tasarım FPGA kartına yüklendikten sonra bile kart üzerinde farklı görev tanımlamaları için kullanıma uygun olan kaynak miktarı oldukça fazladır. Bu sebeple tasarım sorunsuzca genişletilebilir ve sisteme çok sayıda kodlama ve modülasyon tekniği eklenebilir.

## 5. ÇIKARIM (Conclusion)

Bu çalışmada, Manchester, Differential Manchester, NRZ, NRZ-Level ve NRZ-Invert hat kodlama tekniklerinin en yaygın donanım tanımlama dili olan Very High Speed İntegrated Circuit Hardware Description Language (VHDL) kullanılarak FPGA kartı üzerinde gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. Gerçekleştirilen uygulamanın doğru sonuçlar verip vermediğini kontrol etmek adına, elde edilen tümleşik devreye 8 bitlik veri girişi üzerinden çalışma sağlayan bir simülasyon kodu yazılmıştır. Her sinyal için 100 nanosaniye (ns) girdi süresi tanımlanmış ve saat sinyali 50 ns aralıklarla tetiklenmiştir. Simülasyonun çalıştırılması sonucunda her bir kodlama tekniği için oluşan çıkış sinyalleri, kodlama tekniklerinin kuralları doğrultusunda incelenerek sistemin doğruluğu sağlanmıştır.

Kullanılan FPGA devresinin sonsuz kez düzenlenebilir olması ve VHDL ile büyük bir esneklik elde edilmesi sayesinde bir tasarımın kısa zamanda değiştirilerek birçok farklı uygulamada kullanılabilmesi görülmüştür. Gerçekleştirilen çalışmada farklı çalışma prensiplerine sahip kodlama türleri uygulanmış ve simülasyon sonuçları sunulmuştur. Literatürde bulunan diğer çalışmalara kıyasla bu çalışmada, oluşturulan VHDL tasarım, arka planda oluşan mantıksal devre tasarımı ve her kodlama türünün simülasyon sonucu ayrı ayrı verilmiş ve açıklanmıştır. FPGA’ların geleneksel işlemcilerin sahip olmadığı hız, güvenlik ve paralel işlem yapabilme kabiliyetine sahip olması sebebiyle sinyal kodlama teknikleri uygulamalarında kullanımının doğru ve tutarlı sonuçlar getirdiği görülmüştür. Gelecek çalışmalarda daha fazla kodlama türü ve daha büyük giriş verileri içeren uygulamalar gerçekleştirilebilir. Kodlama tekniklerinin kullanıldığı büyük sistemlerde FPGA kullanımı sağlanarak daha performanslı ve tutarlı sistemler elde edilebilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gürfidan, R., & Ersoy, M. (2020). A New Hybrid Encryption Approach for Secure Communication: GenComPass. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 12(4), 1-10.
- [2] Gürfidan, R., & Ersoy, M. (2021). Blockchain-based music wallet for copyright protection in audio files. *Journal of Computer Science & Technology*, 21.

- [3] Srinivasan, S., Kavitha, M., Rani, G. V., Manoharan, L., Terence, E., & Siva, A. V. (2023, March). Implementation of Digital Modulation Techniques in High-Speed FPGA Board. In 2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS) (pp. 21-26). IEEE.
- [4] Rajalakshmi, A., & Kavitha, A. (2023). Suppression of EMI using cost-effective FPGA-based digital communication modulation techniques in power converters. *IETE Journal of Research*, 69(6), 3711-3722.
- [5] Kwiatkowski, P., & Szplet, R. (2020). Efficient implementation of multiple time coding lines-based TDC in an FPGA device. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(10), 7353-7364.
- [6] Gupta, Ankit, Gurashish Singh. "Implementation and Analysis of Different Line Coding Schemes using Verilog." *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)* 5.2 (2016): 395-401.
- [7] Singh, V., & Mishra, B. (2014). FPGA implementation of various lines coding technique for efficient transmission of digital data in communication. *Polar*, 11(01), 11.
- [8] Singh, Gurashish, vd. "FPGA implementation of different NRZ line coding schemes." 2016 1st India International Conference on Information Processing (IICIP). IEEE, 2016.
- [9] Ersoy, M., & Kumral, C. D. (2021). Bilgisayar Destekli FPGA Tabanlı Sayısal Sistemler Deney Seti Tasarımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14(3), 301-312.
- [10] Y. H. Zuo vd., "Design and Implementation of Manchester CODEC Based on FPGA", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 273, pp. 805-809, 2013.
- [11] Kaur, Amrinder, Mandeep Singh & Balwinder Singh. "VHDL IMPLEMENTATION OF UNIVERSAL LINE ENCODER-DECODER FOR COMMUNICATION."
- [12] Ali, Haitham Kareem, Esraa Zeki Mohammed. "Design artificial neural network using FPGA." *IJCSNS* 10.8 (2010): 88.
- [13] Mishra, P. K., & Saxena, S. (2009). A novel approach for VHDL implementation of universal line encoder for communication. *Journal of Scientific Research*, 36(1), 30-40.
- [14] El-Medany, Wael M. "FPGA implementation of RDR Manchester and D-Manchester CODEC design for wireless transceiver." 2008 National Radio Science Conference. IEEE, 2008.