

YIL: 2019 CİLT: 4 SAYI: 1 ISSN: 1308-4372 E-ISSN: 2651-4753

# İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ÇEVRE



SU VAKFI



**Yayın sahibi** : **Su Vakfı**  
Previlage owner : Turkish Water Foundation



**Kurucu Editör/Foundation Editor**  
**Zekai ŞEN**

**Baş Editör/Editor-in-Chief**  
**İsmail DABANLI**

**Editörler/Editors**

Ahmet Duran ŞAHİN  
Ahmet ÖZTOPAL  
Atilla AKKOYUNLU  
Ayşe MUHAMMETOĞLU  
Ayşegül DEMİR YETİŞ  
Ece TURHAN  
Eyüp ŞİŞMAN  
Feza KARAER  
Fatih TUFANER  
İsmail KOYUNCU  
Mehmet İrfan YEŞİLNACAR  
Mikdat KADIOĞLU  
Muhammet Yunus PAMUKOĞLU  
Sevinç ASİLHAN  
Zekai ŞEN

**Dizgi/Tasarım Editörü/Designing Editor**

Muhiddin YENİGÜN

**Yazışma Adresi**

Adres : İklim Değişikliği ve Çevre, Cumhuriyet Mahallesi Libadiye Caddesi Doęanay Sokak  
No:6 Çolak Plaza Kat:4, 34697 Üsküdar/İstanbul  
Telefon : +90-216 412 33 83  
Faks : +90-216-412 33 90  
Elektronik posta : [bilgi@suvakfi.org.tr](mailto:bilgi@suvakfi.org.tr)  
Web : <http://dergipark.gov.tr/idec>  
ISSN : 1308-4372  
E-ISSN : 2651-4753

Dergide yayınlanan yazılar izinsiz başka bir yerde yayınlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz.

YIL : 2019  
CİLT : 4  
SAYI : 1

## İÇİNDEKİLER

### No Makaleler

1	Deniz Değarlı Modellemesinde Model Sınırlarının Belirlenmesi <b>Şebnem Elçi, Zeynep Beril Ersoy</b>	1
2	Isparta – Antalya Bölgesi'ndeki Yüzeysel Suların Kalitesinin İncelenmesi <b>Kemal SAPLIOğLU, Elif Gülen KIR</b>	9
3	Bursa Osmangazi Belediyesi Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesabı ve İklim Değişikliği Uyum Çalışmaları <b>Rüveyşa Burça TURAN, Feza KARAER</b>	17
4	Kuraklığın Yapay Sinir Ağları ile Analizi: Adıyaman Örneği <b>Fatih TUFANER, İsmail DABANLI, Abdurrahman ÖZBEYAZ</b>	25
5	Geri Dönüşebilir Atıkların Toplanması Konusunda Yapılan Bilgilendirme Çalışmalarının Toplama Verimine Katkısının Araştırılması <b>Fatih TUFANER</b>	33
6	Güneş Enerjisi Destekli Paket Membran Biyoreaktör (MBR) ile Kentsel Atıksulardan Organik Madde, Azot ve Fosfor Giderimi <b>Bilgehan NAS, Yusuf Can HATİPOğLU</b>	41

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Deniz deşarjında model sınırlarının belirlenmesi için deşarj debisi, difüzör çapı ve aralığı içeren boyutsuz bir parametre ile hedeflenen seyrelmenin gözlemlendiği mesafe arasında ilişki kurulmuştur.
- Model sonuçları difüzör uzunluğunun yarısı kadar bir yatay mesafeyi içerecek bir model alanının gerekliliğini ortaya koymuştur.

### Yazışma yazarı:

Şebnem ELÇİ,  
sebnemelci@iyte.edu.tr

### Referans:

Elçi ve Ersoy (2019), Deniz Deşarjı Modellemesinde Model Sınırlarının Belirlenmesi, İklim Değişikliği ve Çevre, 4, (1) 1-8

Makale Gönderimi : 26 TEMMUZ 2018  
Online Kabul : 23 OCAK 2019  
Online Basım : 25 MART 2019

## Deniz Deşarjı Modellemesinde Model Sınırlarının Belirlenmesi

Şebnem Elçi<sup>1</sup>, Zeynep Beril Ersoy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Urla, İzmir

**Özet** Hem endüstriyel kaynaklı hem de evsel kaynaklı atıksuyun artırılmadan yahut arıtıldıktan sonra denizlere deşarjı alıcı ortamda kirliliğe neden olmaktadır. Öngörülen su kalitesi standartlarını sağlamak ve alıcı ortamdaki kirliliği engelleyebilmek üzere derin deniz deşarjı oldukça önem kazanmış ve deniz deşarjındaki etkileri gözlemleyebilmek üzere araştırmacılarca sayısal modeller geliştirilmiştir. Karar verici kurumlar genelde bu modellerin çıktılarını bakarak deşarj için uygunluk raporu vermekteyse de model sonuçlarının değerlendirilmesinde bazı netleşmemiş konular bulunmaktadır. Bu makalede bu netleşmemiş konuların başında gelen 'deniz deşarjında model sınırlarının belirlenmesi' konusunda rehber teşkil edeceği düşünülen bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, Aliağa Termik Santralının deşarj debileri ve alıcı ortam özellikleri kullanılmak suretiyle, Amerikan Çevre Koruma Teşkilatı (U.S. EPA) tarafından geliştirilen Visual Plumes (VP) paket modelleme programı ile tasarlanan deşarj sisteminde difüzör çapı, aralığı ve debi parametrelerinin istenen seyrelmenin gözlemlendiği mesafeye etkisi boyutsuz olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın ileride yapılacak deniz deşarjı modelleme çalışmaları öncesi model sınırlarının seçilmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** deniz deşarjı, model sınırları, Visual Plumes, Aliağa Termik Santrali

## Determination of Model Boundaries in Sea Discharge Modelling

**Abstract** Whether treated or not; sea discharges of both industrial and domestic wastewaters result in water quality deterioration of ambient flows. In order to meet the required water quality standards and to prevent the pollution of ambient flows; design of efficient effluent discharge systems to deep sea and accurate assessment of the effects of these discharges is necessary and researchers have developed many numerical models to estimate these effects. In current practice, the decision-makers (Ministry of Environment and Urban Planning) evaluate the environmental impact assessment reports provided by the companies and give permission for the sea discharge based on these reports, however there are some issues need to be clarified for the evaluation process. Of these issues, 'determination of model boundaries' has to be given a special attention and this paper is intended to provide a guide for numerical modeling studies of sea discharges. In this study, Visual Plumes program developed by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) was utilized to model sea discharge from Aliağa Thermal Plant by incorporating the effluent and ambient properties of the discharge. Nondimensionalized horizontal distance was related to the diffuser properties and discharge in the study. We believe that model users and decisionmakers will benefit from the results of the study for determination of the model boundaries of sea discharges.

**Keywords:** sea discharge, model boundaries, Visual Plumes, Aliağa Thermal Plant

### 1. Giriş

Günümüzde sürdürülebilir bir çevrenin gereği olarak insan faaliyetleri sonucu üretilen atıksu bir ön arıtım sürecinden geçirilerek, deniz, göl veya akarsu gibi bir su ortamına deşarj edilmektedir. Dolayısıyla deniz deşarj sistemleri, günümüzde oldukça etkili bir atıksu bertaraf yöntemi olarak uygulanmaktadır. Toplum ve alıcı ortamdaki ekosistem sağlığını tehdit etmeden bunun gerçekleştirilmesi ancak deniz deşarj sisteminin hassas planlanması ile mümkündür. Deniz deşarj sistemleri planlanırken hedeflenen, atıksuların, ihtiyaca göre belirlenen bir atıksu arıtımından sonra deniz ortamına verilerek, çok yüksek seyrelme oranları ile alıcı ortamdaki ekosisteme zararsız hale getirilmesidir. Bu sayede hem atıksu güvenli ve ekonomik bir şekilde uzaklaştırılır hem de karasal kirlilik de önlenir.

Atıksu belirli bir derinlikten deşarj edildiğinde sahip olduğu momentum enerjisi ve atıksu ile

deniz suyu arasındaki yoğunluk farkından dolayı, ortamdaki daha düşük yoğunluğa sahip bir dağılım bulutu meydana getirerek suyun içerisinde yükselmeye başlar. Bu yükselme sırasında deniz suyu ile karışan atıksu seyrelmeye başlar. Bu seyrelme olayı birinci seyrelme olarak adlandırılır. Birinci seyrelmenin hesabında Brooks'un (1960) mevcut sistem inceleme ve araştırmaları sonucunda ortaya koyduğu, Froude sayısına bağlı eğriler kullanılmaktadır. İlk seyrelme hesaplarında kullanılan bir diğer model ise, Türkiye'de de yaygın kullanılan Cederwall (1968) denklemidir. Bu yöntemde de Froude sayısı kullanılmakta ve buna bağlı olarak sonuca ulaşılmaktadır. Birinci seyrelmeden sonra başlangıç enerjisi tamamen ortadan kalkan atıksu, akıntı etkisi ile hareket etmeye başlar. Bu hareket sırasında türbülans ve difüzyon sebebiyle atıksu ve deniz suyu birbirleriyle karışmaya devam eder. Bu karışım sırasında meydana gelen seyrelme ikinci seyrelme olarak tarif edilir. İkinci seyrelmenin tahmininde Brooks (1960) tarafından geliştirilen dispersiyon modeli yaygın kullanılmaktadır. Atık seyrelmesinde üçüncü ve son önemli etken ise, kirleticinin doğası gereği çürüyerek yok olmasıdır. Mikroorganizma çürütmesi durumunda bu yok olma, bakterilerin ölümü, flokleşme ve çökmesi sonucu meydana gelmektedir. Bakteriyel yok olmanın genel olarak birinci dereceden kinetiğe uyduğu kabul edilmekte ve bu şekilde hesaplanmaktadır. Toplam seyrelme ise birinci seyrelme, ikinci seyrelme ve üçüncü seyrelmenin çarpımı ile hesaplanmaktadır.

Deniz deşarjında kullanılan matematiksel modeller arasında en yaygın tercih edilen modeller Visual Plumes ve Cormix modelleridir (Frick v.d., 2003; Frick, 2004; Jirka v.d., 1996). Bu iki model de, birbirleriyle etkileşim kurabilen bilgisayar tabanlı bazı hesaplamaları, programların bazı alt modellerinin içinde çalıştırılabilen programlardır. CORMIX modelleri artık EPA'nın (Çevre Koruma Teşkilatı) Araştırma Değerlendirme Model Merkezi (CEAM) tarafından desteklenmediğinden bu çalışmada Visual Plumes tercih edilmiştir.

Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak mevcut karışım modellerinin uygulamasını içermektedir (Roberts, 1980; Roberts, 1997; Frick v.d., 2007; J.A. Jankowski v.d., 1996). Roberts (1980), San Francisco kentinde okyanuslardaki akıntı ile çıkıştaki seyrelme arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Okyanus ortamına bırakılan kanalizasyon atıklarının seyrelmesi ile okyanus akıntıları arasında ilişki kurmuş, atık bırakıldıktan sonra hızlı bir yayılım olduğunu, kıyıya yaklaştıkça ise akımların değişkenliği sebebiyle seyrelmenin de değişkenlik gösterdiğini gözlemlemiştir. 1997'de yapılan bir çalışmada (Roberts, 1997) İsrail'de bulunan bir kimyasal firmasının atık suyunun Akdeniz'e deşarj hattının tasarlanması amacı ile yapılmıştır. Akış hızı az olan Quishan Nehrine bırakılacak olan atıksu difüzör kullanılarak deşarj edilirken akışın daha yüksekten ve daha hızlı yapılmasının seyrelmeyi arttıracaklarını belirlemişlerdir. Diğer bir çalışmada derin suda sedimentlerin modellenmesi yapılmış ve alansal yayılımı üç boyutlu hidrodinamik modeller yardımıyla karşılaştırılmıştır (J.A. Jankowski ve diğerleri 1996).

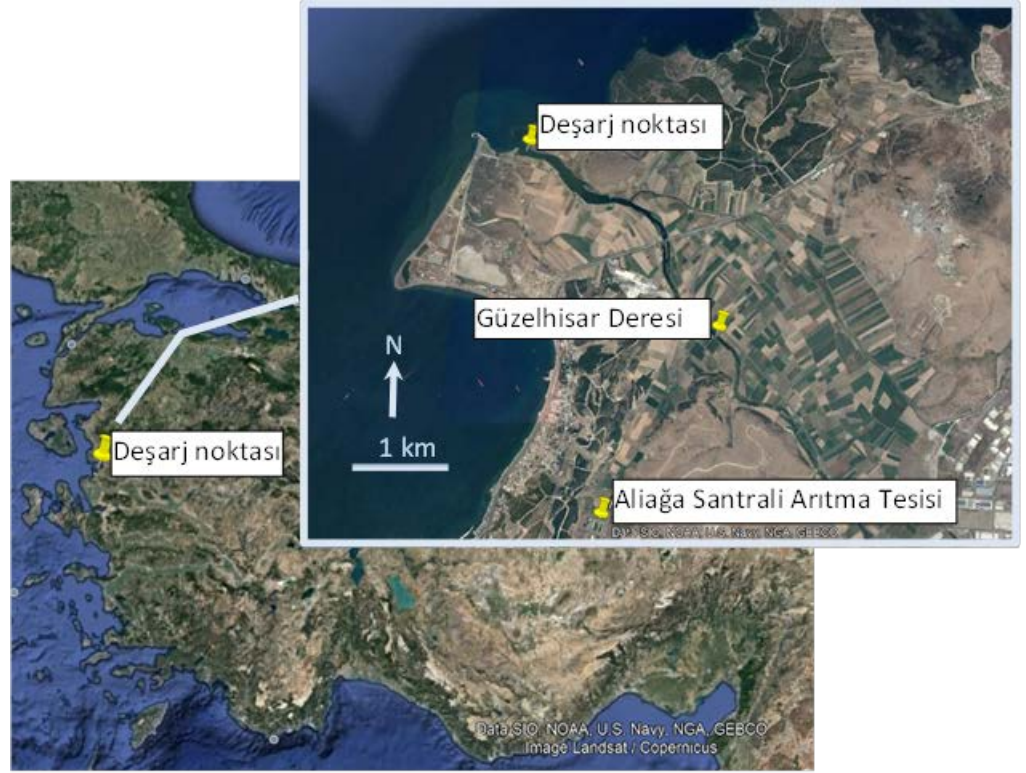
Frick ve diğerleri (2007) de yaptıkları bir çalışmada önemli bir konuya değinmişlerdir. Visual plumes gibi bulut yayılım özelliklerini zamana bağlı olmadan ama hesaplayabilen daha basit program sonuçlarını, Sonlu Hacimler Okyanus Modeli (FVCOM) gibi zamanla değişim akım özelliklerini ve dünyanın rotasyonu gibi büyük su kütlelerinde çok önem kazanan kuvvetleri de içeren 3 boyutlu hidrodinamik bir model kullanarak hesapladıkları bulut yayılım özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Yaquina Körfezine yapılan deşarjı modelledikleri çalışma, genel hatlarıyla seyrelme oranlarının tutarlı olduğunu göstermiştir. Bu çalışma 3 boyutlu modelin deşarj oranları çok büyük olduğunda artık alıcı ortamdaki zamana bağlı değişim olmama varsayımının geçersiz olduğunu gözlemlemişlerdir. Gerçekçi sonuçlar için çalışma, bu modellerin birlikte kullanımını önermektedir. Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada ise Muhammetoğlu (2010) Antalya Körfezine yapılan deşarjların Visual Plumes ile modellenmesi ayrıntılı arazi ölçümleriyle desteklemiş, toplam ve fekal koliform bakteri konsantrasyonlarını hem yakın hem uzak alanda belirlemiştir.

Sunulan çalışmada Visual Plumes karışım modeli Aliağa Termik Santralinin deşarj debileri ve alıcı ortam özellikleri kullanılarak, mesafeye bağlı seyrelmeyi tahmin etmek üzere kullanılmıştır. Çalışmanın amacı deniz deşarjında model sınırlarının belirlenmesi için deşarj debisi, difüzör çapı ve aralığı içeren boyutsuz bir parametre ile hedeflenen seyrelmenin gözlemlendiği mesafe arasında ilişki kurabilmektir.

## 2. Yöntem

### 2.1 Çalışma alanı

Çalışmada Aliağa Termik Santralinin deşarj nokta debileri ve alıcı ortam özellikleri kullanılmıştır. Mevcut durumda santral atıksuyu biyolojik arıtma ve UV dezenfektasyonu sonrası Güzelhisar deresine deşarj etmektedir. Arıtma tesisinin kapasitesi 14714 m<sup>3</sup> /gün olarak verilmiştir. Şekil 1 çalışma alanını göstermektedir.



Şekil 1. Çalışma Alanı (Kaynak: Google Earth)

## 2.2 Kullanılan paket program

Çalışmada ABD Çevre Koruma Teşkilatı (EPA) tarafından geliştirilen Visual Plumes (VP) paket modelleme programı kullanılmıştır. Bu model sıcaklık oranlarına göre yüzey suyu jetleri ve dağılım bulutları, derinlik, yüzen deşarjlar ve su ortamındaki hız şartları v.b. kriterleri için hesaplamalar yapabilmektedir. Atıksu deşarj edilirken hem atksu hem de alıcı ortam özellikleri, ve tasarlanan difüzör konfigürasyonları kolaylıkla uygulanmaktadır. Modelleme sonucu NPDES karışım bölgesi çalışmaları için bir çok su kalitesi degerlendirmesi yapılabilmektedir. VP programı içerisinde yer alan 5 ayrı alt modelden en uygun olan UM3 ve DKHW modelleri ile simülasyonlar yapılmıştır.

## 2.3 Modele girdi verileri

Su kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre deniz deşarjına izin verilebilecek atıksularda sıcaklık parametresi için: 'Deniz ortamının seyrelme kapasitesi ne olursa olsun denize deşarj edilecek suların sıcaklığı 35° C'yi aşamaz. Sıcak su deşarjları difüzörün fiziksel olarak sağladığı birinci seyrelme (S1) sonucunda karıştığı deniz suyunun sıcaklığını Haziran-Eylül aylarını kapsayan yaz döneminde 1°C'den, diğer aylarda ise 2°C'den fazla arttıramaz' denmektedir. Toplam seyrelmenin 100 olduğu mesafe hedef mesafe olarak belirlenmiş ve bu ölçütlere göre yani deşarj suyu sıcaklığı yaz dönemi ölçülmüş deniz suyu sıcaklığının 1°C fazlası, ve kış deniz suyu sıcaklığının 2°C fazlasına göre tüm modellemeler gerçekleştirilmiştir. Yaz ve kış olmak üzere iki farklı durum için alıcı ortamdaki sıcaklık ve akım verileri mevcut ÇED raporlarından elde edilmiş (SOCAR 2013) ve modellemede kullanılmıştır. Atıksu debi verileri ise Aliğa Termik Santralinden alınmıştır. Difüzör ve alıcı ortam verileri faal tesis ve projedeki veriler için Çizelge 1'de sunulduğu gibi modele girilmiştir. Modelin veri girişlerinin yapıldığı ekranlar yaz koşulları için; alıcı ortam verilerini (Şekil 2) gösterecek şekilde ve difüzör verilerini (Şekil 3) gösterecek şekilde verilmiştir.

Çizelge 1. Modele Girilen Difüzör ve Alıcı Ortam Verileri.

Difüzör Verileri		Alıcı Ortam Verileri		
			Yaz	Kış
Port çapı (m)	0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1	Portla yüzey arası mesafe (m)	25	
Difüzör uzunluğu (m)	250, 1000	Akım hızı (m/s) Derinlik : 0 Derinlik : 10 Derinlik : 25	13 7 1,7	13 7 1,7
Portlar arası mesafe (m)	25; 12,5; 5; 2,5; 1	Akım yönü (°)	61,5	61,5
Port sayısı	10, 20, 50, 100, 250	Deniz tuzluluğu (ppt) Derinlik : 0 Derinlik : 10 Derinlik : 25	39,4 39,3 39,2	38,7 38,72 38,74
Port yüksekliği (m)	1			
Dikey açı	0	Deniz sıcaklığı (°C) Derinlik : 0 Derinlik : 10 Derinlik : 25	27 26,5 22	17,5 17,535 17,54
Yatay açı (°)	90	Kirleticinin çürüme hızı	2	
Deşarj derinliği (m)	25	Uzak tarla difüzyon katsayısı	0,0003	
Atıksu debisi (m <sup>3</sup> / s )	0,17; 0,34; 0,68; 1,36			

Difuzer: VP plume 25.vpp.db Ambient: c:\plumes\VP plume 25.001.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

### Ambient Inputs

Measurement depth or height	Current speed	Current direction	Ambient salinity	Ambient temperature	Background concentration	Pollutant decay rate[1]	n/1	n/2	Far-field diffusion coeff
Depth or Height	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth
Extrapolation (sfc)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Extrapolation (btm)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Measurement unit	m/s	deg	psu	C	kg/kg	s-1	m/s	deg	m0.67/s2
	0	13	61.5	39.4	27	1	2		0.0003
	10	7	61.5	39.3	26.5	1	2		0.0003
	25	1.7	61.5	39.2	22	1	2		0.0003

Ambient file list  
Filename  
VP plume 25.001.db.1.1

### Time-Series Files (optional)

Borrow time-series files from project: c:\plumes\VP plume 25

Time-series filename	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment (hrs)									
Cycling period									
File measurement unit									

Şekil 2. Yaz dönemi için alıcı ortam veri giriş ekranı.



Diffuser: VP plume 25.vpp.db | Ambient: c:\plumes\VP plume 25.001.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

Project: c:\plumes\VP plume 25

Notes:

Ambient file list  
Filename: Cases  
c:\plumes\VP plume 25.001.db 1 1

After run go to tab:  
 Diffuser  
 Ambient  
 Special  
 Text  
 Graphics

Units Conversion:  
 Convert data  
 Label only

UM3

**Model Configuration**

Brooks far-field solution  
 Graph effective dilution  
 Average plume boundary  
 Amb. current vector averaging  
 Tidal pollution buildup  
 Same-levels time-series input

Case selection:  
 Base or selected case  
 Sequential, all ambient list  
 Sequential, parse ambient  
 All combinations

**Diffuser, Flow, Mixing Zone Inputs**

Port diameter	n/i	Port elevation	Vertical angle	Hor angle	Num of ports	Port spacing	n/i	n/i	n/i	Acute mix zone	Chronic mix zone	Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
m		m	deg	deg		m	s	s	s	m	m	m	m <sup>3</sup> /s	psu	C	kg/kg
1		1	0	90	10	25				50	500	25	1.36	38	25.1	1

**Parameters for selected row**

Froude number	
Eff density [kg/m <sup>3</sup> ]	
Port vel [m/s]	
Temp [C]	17.4
Temp [C]	17.4
Case No.	1.0

**Time Series-Files (optional)**

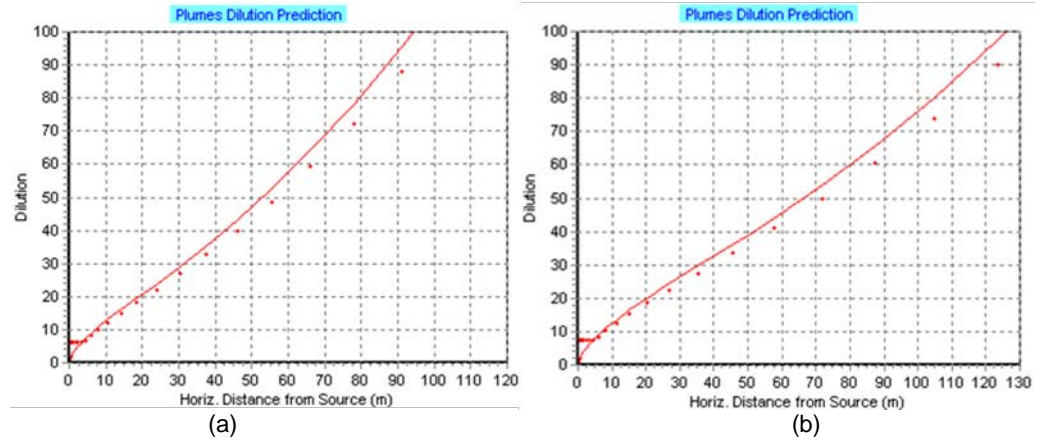
Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time-series filename	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment [hrs]				
Time cycling period				
Measurement unit				

**Borrow time-series from project:** c:\plumes\VP plume 25

Şekil 3. Yaz dönemi için difüzör veri giriş ekranı.

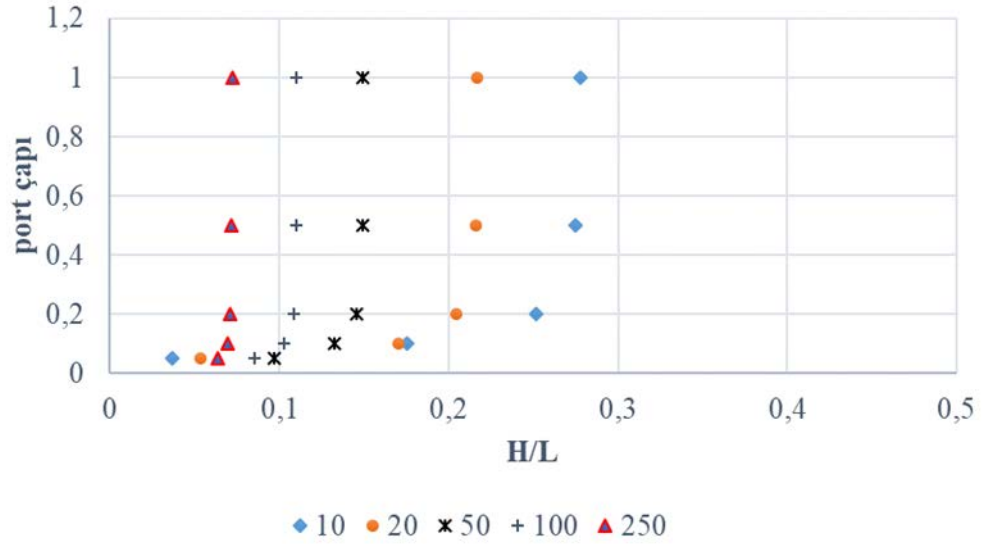
### 3. Sonuçlar

Modelin çalışma bölgesi için farklı koşullarda çalıştırılmasını takiben seyrelmenin 100 olduğu boyutsuzlaştırılmış yatay mesafeler karşılaştırılmıştır. Şekil 4 yaz ve kış dönemi için seyrelmenin yatay mesafeyle değişimini gösteren model çıktısı vermektedir. Farklı port yerleşimleri karşılaştırıldığında Şekil 5'te görüldüğü üzere, port sayısı arttıkça seyrelmenin belirgin bir şekilde daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir. Port çapı ise port sayısı fazla olduğunda belirleyici bir etkiye sahip olmasa da, az port sayılı difüzörlerde, port çapı büyüklüğünün artmasının seyrelmeyi olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Port çapı arttıkça suyun momentumunun azalması ve jet etkisinin daha az olması nedeniyle bu beklenen bir durumdur. Şekil 6 ise benzer koşullar altında kışa oranla yazın seyrelme hedefine daha hızlı ulaşıldığını göstermektedir. Bunun nedeni de alıcı ortam sıcaklığının atıksu sıcaklığına yakın olmasıdır. Şekil 7'de ise deşarj debisi arttıkça hedeflenen seyrelmenin olduğu mesafenin arttığı ancak bunun lineer bir artış olmadığı, deşarj edilen atıksu debisi 8 kat arttırıldığında artışın belli bir mesafeye (H/L=0,5) yakınsadığı gözlenmektedir.

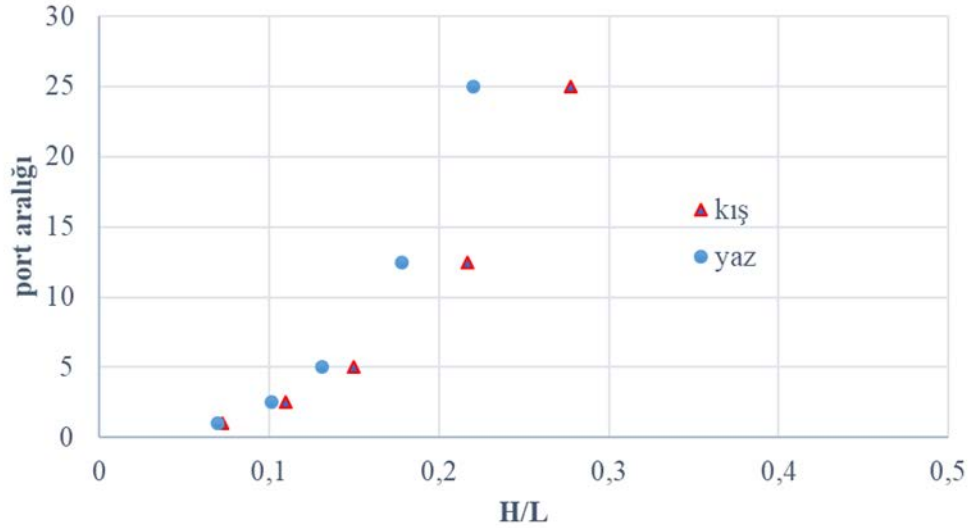


Şekil 4. Seyrelme oranlarının (a) yaz ve (b) kış dönemleri için yatay mesafe ile değişimini gösteren ekran sonuç çıktısı (port uzunluğu=250 m, port çapı=1 m, port aralığı =25 m, debi=8 kat).





Şekil 5. Boyutsuz yatay mesafenin port çapı ile değişimi (kış).



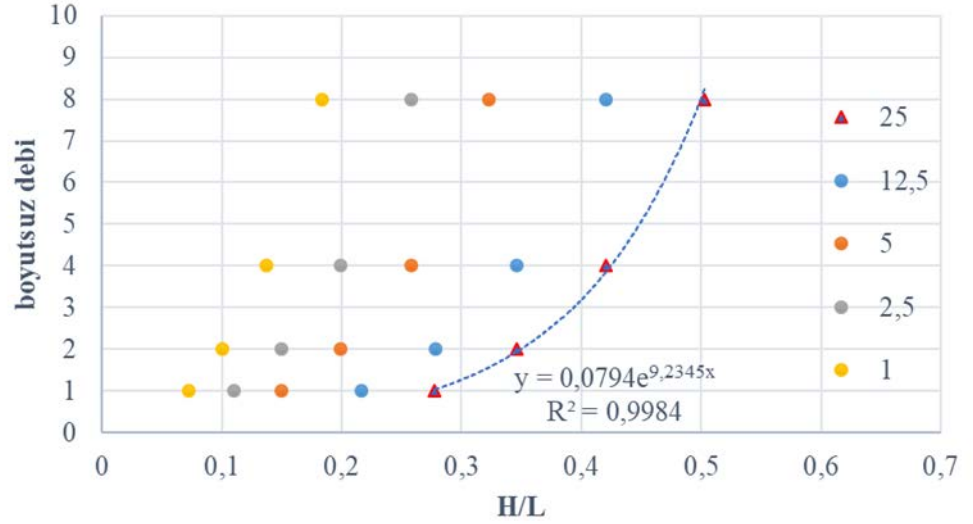
Şekil 6. Boyutsuz yatay mesafenin port aralığı ile değişimi.

## 4. Tartışma

Çalışmanın devamında ise tüm sonuçlar bir veri tabanında birleştirilerek birden fazla bağımsız değişken kullanılarak yapılan regresyon analizi olan 'çoklu regresyon analizi' seyrelmenin 100 olduğu yatay mesafenin tahmininde kullanılmıştır. Analizde 3 bağımsız değişken; difüzör uzunluğu ile boyutsuzlaştırılmış port aralığı ( $X_1$ ), difüzör uzunluğu ile boyutsuzlaştırılmış port çapı ( $X_2$ ), birim debi ile boyutsuzlaştırılmış debi ( $X_3$ ) tanımlanmış, bağımlı değişken olan ve model ile hesaplanan ve difüzör uzunluğu ile boyutsuzlaştırılmış yatay mesafenin ( $Y$ ) tahmininde kullanılmıştır. Excel'de yapılan çoklu regresyon analizi sonucu Regresyon katsayıları hesaplanıp regresyon tahmin modeli Denklem 1'deki gibi kurulmuştur.

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 \quad (1)$$

$R^2$  belirlilik katsayısı (=0,81) çoklu regresyon modellerinde genellikle yeterli değildir. Çünkü çoklu regresyon modelleri için denkleme yeni değişken ilave edilmesi durumunda  $R^2$  değeri



Şekil 7: Boyutsuz yatay mesafenin boyutsuz debi ile değişimi (kış).

genellikle artmaktadır. Bu yüzden anlamlı bir test yapabilmek için çoklu modellerde düzeltilmiş (ayarlı)  $R^2$  hesaplanmaktadır. Ayarlı  $R^2$  değerli bu analiz için 0,64 olmuştur. Excel regresyon modeli için hesaplamalar yapıldıktan sonra ve tahmin değerleri bulunduktan sonra 'Anova tablosu' adı verilen bir tablo hazırlamakta ve bu tabloda standart sapma ve F istatistiği bilgilerini vermektedir. F istatistiği ile model parametrelerinin (katsayıların) anlamlı olup olmadığı test edilmektedir. Çizelge 2 analiz sonrası verilen katsayı değerlerin göstermektedir. Sadece port çapı 0,2'den büyük olan veriler kullanıldığında ise ayarlı R kare 0,75'e yükselmiştir.

Çizelge 2. Visual Plumes Modeli ile hesaplanan sonuçların çoklu regresyon analizi ile değerlendirilmesi.

Regresyon İstatistikleri					
Çoklu R	0,807				
R Kare	0,652				
Ayarlı R Kare	0,643				
Standart Hata	0,074				
Gözlem	120				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	1,186	0,395	72,371	1,88004E-26
Fark	116	0,634	0,005		
Toplam	119	1,820			
	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	
Kesişim	0,004	0,017	0,241	0,810	
X Değişkeni 1	3,222	0,231	13,956	0,000	
X Değişkeni 2	5,858	5,112	1,146	0,254	
X Değişkeni 3	0,068	0,015	4,587	0,000	

Sunulan çalışmanın sonuçları termal deşarj modellemesinde model sınırları belirlenirken, difüzör uzunluğunun yarısı kadar bir yatay mesafeyi içerecek bir model alanının gerekliliğini ortaya koymuştur. Ancak belirlenen model sınırları sadece sıcaklık modellemesi için geçerli olup kirlilik modellemesinde çalışma kapsamının arttırılacak şekilde yenilenmesi gerekmektedir.

Konuyla ilgili yapılacak benzer çalışmalarda özellikle uzak alan için yapılacak analizlerde 3 boyutlu hidrodinamik modeller desteğiyle akım ve sıcaklık profillerinin saptanması ve analizlerin bu modellerle birlikte değerlendirilmesi daha sağlıklı kararlar verilmesinde yardımcı olacaktır.

#### 4. Kaynaklar

- Brooks, N., 1960. Dispersion in Hydraulic and Coastal Environments, W. M. Keck Lab. Of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Rep. KH-R.
- Cederwall, K., 1968. Hydraulics of Marine Waste Water Disposal, Hydraulics Division Report No. 42, Chalmers Institute of Technology, Göteborg, Sweden.
- Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J., Baumgartner, D.J., George, K.P., 2003. Dilution Models for Effluent Discharges, fourth ed. Visual Plumes. EPA/600/R-03/025, Athens, GA.  
<http://www.epa.gov/ceampubl/swater/vplume/index.htm>.
- Frick, W.E., Sigleo, A.C., Specht, D.T., 2004. Estimating nitrogen and tidal exchange in a North Pacific estuary with EPA's Visual Plumes PDSW model. In: Proceedings of the Third International Conference on Marine Waste Water Discharge, Catania, Italy, PS18, pp. 1-13.
- Jankowski, J.A.; Ma1cherek, A.; and Zielke, W. (1996) Numerical Modeling of Suspended Sediment Due to Deep-Sea Mining. J. Geophys. Res.. 101, C2, 3545.
- Jirka G. H., Doneker R. L., Hinton S. W., 1996, CORMIX: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges Into Surface Waters.
- Muhammetoglu, A., 2010. Investigation of uncertainties in predicting bacterial concentrations of discharged sewage from deep sea outfalls when submergence occurs in receiving media. Final Project Report (TÜBİTAK Research Project 107Y184), 432 pages (in Turkish).
- Roberts, P.J.W., 1980. Ocean outfall dilution effects of currents. Journal of the Hydraulics Division, ASCE 106 (5), 769-782.
- Roberts PJW, Ferrier, A., and Daviero, G. 1997. Mixing in Inclined Dense Jets. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 123(8): 693-699.
- SOCAR (2013) SOCAR Power Termik Santrali-2 Entegre Projesi ÇED Başvuru Dosyası.



## ARAŞTIRMA MAKALESİ

### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Su sertliği değerlerine bakıldığında ise Köprüçayda yumuşak veya oldukça yumuşak bir su kalitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Eğirdir gölünün ise oldukça sert bir su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Trend analiz sonuçlarına göre su sertliği değerlerinde tüm istasyonlarda bir azalış trendi gözlemlenmiştir. Bu gözlem hem Mann-Kendall hemde Şen grafik testi ile teyit edilmiştir.
- Mann-Kendall ve Şen Grafik testinin birbirini desteklediği görülmüştür. Ancak veriler arası farkını az olduğu durumlarda Şen grafik testini daha hassas sonuçlar vereceği görülmüştür.

### Yazışma yazarı:

Elif Gülen KIR,  
elifgulencimen@gmail.com

### Referans:

Saplioglu, K., Kir, E. G., (2019) Isparta Antalya Bölgesi'ndeki Yüzeysel Suların Kalitesinin İncelenmesi, İklim Değişikliği ve Çevre, 4, (1) 9–16

Makale Gönderimi : 24 EYLÜL 2018  
Online Kabul : 18 EKİM 2018  
Online Basım : 25 MART 2019

## Isparta – Antalya Bölgesi'ndeki Yüzeysel Suların Kalitesinin İncelenmesi

Kemal SAPLIOĞLU<sup>1</sup>, Elif Gülen KIR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

**Özet** Suya olan talep günümüzde hızla artmaktadır. Bu artışa gerek artan nüfus gerekse sanayileşmedeki gelişmeler neden olmaktadır. Bu da yeni su kaynaklarının bulunması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca sanayileşmedeki hızlı artış mevcut kullanılabilir su kaynaklarının da bozulmasına neden olmaktadır. Mevcut bu sorunlar yeni su kaynaklarının bulunması ile çözülebileceği gibi aynı zamanda eldeki mevcut su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi ile de çözülebilir. Su kaynakları ile ilgili en büyük problemlerden birisi mevcut kaynakların korunmasıdır. Fakat mevcut kaynakların korunması veya artırılması da tek başına bir önem arz etmemektedir. Bu nedenle mevcut su kalitelerinin belirlenmesi ve bu su kalitelerinin korunması ve iyileştirilebilmesi için de önlemler alınması gerekmektedir. Bu amaçla Isparta ve Antalya bölgesine ait su kaynaklarının sınıflandırılması yapılmış ve trendleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Köprüçay, Mann-Kendall, Şen Grafik testi, Trend, Su kalitesi

## Investigation Of Surface Water Quality In Antalya – Isparta Region

**Abstract** Demand for water is increasing rapidly today. The increase in demand for water is caused by both the increasing population and the developments in industrialization. This reveals the need to find new water resources. Moreover, the rapid increase in industrialization causes the deterioration of available water resources. These problems can be solved by the discovery of new water resources as well as the preservation and improvement of existing water resources. One of the biggest problems with water resources is the protection of existing resources. However, protecting or increasing existing water resources alone is not enough. For this reason, measures must be taken to identify existing water qualities and to protect and improve these water qualities. For this purpose, the classification of water resources in Isparta and Antalya regions has been made and their trends have been determined.

**Keywords:** Köprüçay river, Mann-Kendall, Şen's Graph Test, Water Quality, Trend

### 1. Giriş

Suya olan talep günümüzde hızla artmaktadır. Bu artışa gerek artan nüfus gerekse sanayileşmedeki gelişmeler neden olmaktadır. Buda yeni su kaynaklarının bulunması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca sanayileşmedeki hızlı artış mevcut kullanılabilir su kaynaklarının da bozulmasına neden olmaktadır. Mevcut bu sorunlar yeni su kaynaklarının bulunması ile çözülebileceği gibi aynı zamanda eldeki mevcut su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi ile de çözülebilir. Su kaynaklarının korunmasındaki en büyük problemlerden birisi mevcut hacimlerin korunmasıdır. Fakat mevcut hacimlerin korunması veya artırılması da tek başına bir önem arz etmemektedir. Bu nedenle mevcut su kalitelerinin belirlenmesi ve bu su kalitelerinin korunması ve iyileştirilebilmesi içinde önlemler alınması gerekmektedir.

Su kalitesinin artırılması mevcut su kalitelerinin belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle pek çok çalışan su kalitesini belirlemek için çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda su içerisinde bulunan organik ve kimyasal bileşenlerin konsantrasyonlarından faydalanabilmişlerdir. Akkoyunlu ve Akiner (2012) Sapanca Gölü Havzasındaki (Türkiye) dere suyu kalitesi için yaptıkları çalışmada, Kanada Çevre Bakanlığı Konsey'inin Belirlediği Su Kalitesi (CCME-EQI), Oregon Su Kalitesi, (OWQ), ve Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi (NFS-WQI) endekslerini baz almışlardır. Yu ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada arazi kullanımının topoğrafik etkileri toprak kullanımı ve dere suyunun kalitesi arasındaki ilişkiyi iyi anlamak için 2012 yılında kuru ve yağışlı mevsimlerde Çin'deki Wei Nehri Havzasında kullanılan topraklarla dere suyu kalitesi arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek için, Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ve Pearson korelasyon analizleri kullanmışlardır. Hou ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada Su kalite endeksi (WQI) metodu kullanılarak Yellow Nehri alt kısımlarındaki su rezervuarlarının su kalitesini ölçmek için dağlardan ve nehir rezervuarlarından altı yılı aşkın bir süre ile toplanan ana kirlenici numuneler toplamış ve bunlar incelemişlerdir.

Sarkar ve Pandey (2015) yapmış oldukları çalışmada dere suyu kalitesinin başlıca göstergesi olarak çözünmüş oksijen konsantrasyonları kullanılmışlardır. Cabria ve arkadaşları (2016) Kuzey İspanya'da çok büyük bir alanı kaplayan bütün nehir ağları için üç çok önemli su kalite değişkeninin, (su ısı, nitratların konsantrasyonu ve fosfatlar) mekânsal ve mevsimsel modellemesini yapmışlardır. Hasrul ve arkadaşları (2015) çalışmalarında ana nehir boyunca toplam sekiz istasyon numune (örnek) almak için kullanılmışlardır. Su Kalite İndeksini hesaplamak için biyolojik oksijen talebi, kimyasal oksijen talebi, çözünmüş oksijen, pH, katı madde süspansiyon hali ve amonyak azotu gibi seçilen altı parametreyi tercih etmişlerdir.

Kalitesi belirlenen suların gelecekte kalitelerinde değişim meydana gelip gelmeyeceği sorusu da çok önemlidir. Bu sorunun çözümü için de trend analizleri kullanılmıştır. Bu konuyla ilgili olarak çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları yağış, akış ve sıcaklık parametreleri gibi dolaylı olarak su kalitesine etki eden parametreler olduğu gibi bazıları da doğrudan akarsuda mevcut bileşenlerin konsantrasyonu ile ilgili çalışmalardır. Yağış trendleri (Partal ve Kahya, 2006; Türkeş, vd.,2007; Karbulut ve Cosun, 2009; Gloleau, vd.,2007) akarsu debi trendleri, (Onyutha, vd.,2015; Saplıoğlu, vd.,2014) sıcaklık trendleri (Vincent, et al., 2015) ve su kalitesi trendleri (Akkoyunlu ve Akiner, 2012; Yu, vd.,2016) ile ilgili yapılan çalışmalar bu konuda yapılmış olan çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Su kalitesini, belirleme ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunlukla istatistiksel çalışmalardır. En çok kullanılan istatistiksel yöntemlerin başında ise Mann-Kendall trend testi gelmektedir. Örneğin Saplıoğlu (Saplıoğlu, 2015) Burdur ve Isparta yağış trendlerini Şen grafik testi ve kendi önerdiği Şen grafik testini baz alan istatistiksel modelini kıyaslamak için, Syafrina ve arkadaşları (Syafrina, vd.,2015) Peninsular, Malezyada da saatlik Muson yağmurları için yaptıkları trend çalışmalarında, Mirzaei ve arkadaşları (Mirzaei, vd.,2013) ise Güney Çin denizindeki dalga boylarının trendini tespit etmek amacı ile Mann-Kendall trend analizini kullanmışlardır. Görüldüğü gibi Mann-Kendall test istatistiği çok farklı hidrolojik verilerin analizi için kullanılmıştır. Grafikselsel bir metot olan Şen grafik testinde en az Mann-Kendall trend testi kadar etkili bir yöntemdir (Şen, 2012). Pek çok çalışmada (Saplıoğlu, vd.,2017) kullanılan ve değerlendirmesi kolay olan bir testtir. Çalışmada  $37^{\circ}8'34''N$  ve  $31^{\circ}11'15''E$  koordinatların da bulunan 902 nolu Köprüçay Beşkonak ölçüm istasyonu ile  $37^{\circ}52'53''N$  ve  $30^{\circ}49'46''E$  koordinatlarında bulunan 905 nolu Eğirdir gölü istasyonu kullanılmıştır.

Çalışmada seçilen bu istasyonlara ait pH, sülfat, sodyum ve su sertliği değerlerine göre mevcut su kalitesi sınıflandırması yapılmıştır. Ayrıca bu değerlerin trend analizleri yapılmış ve geleceğe yönelik kalite değişim tahminleri oluşturulmuştur.

## 2. Veri ve Çalışma Alanı

Çalışmada Orta Akdeniz Mütefferik sularında yer alan 2 adet akım gözlem istasyonundan alınan su kalitesi verileri kullanılmıştır. Bu veriler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden ve Elektrik İşleri Etüt İdaresinden alınmıştır. Çalışmada 902 nolu  $37^{\circ}8'34''N$  ve  $31^{\circ}11'15''E$  koordinatların da bulunan Köprüçay Beşkonak ölçüm istasyonu ile 905 nolu  $37^{\circ}52'53''N$  ve  $30^{\circ}49'46''E$  koordinatlarında bulunan Eğirdir gölü istasyonu kullanılmıştır. Çalışmada seçilen bu 2 istasyona ait pH, Sülfat, Sodyum ve su sertliği değerlerine göre mevcut su kalitesi sınıflandırması yapılması ve yine bu değerlerin trend analizleri yapılması planlanmıştır.



Şekil 1. Su kalitesi gözlem istasyonlarının haritada gösterimi.

Çalışmada kullanılan pH, Sülfat, Sodyum ve su sertliği değerlerine ait ortalama, maksimum, minimum değerler ile bu verilere ait standart sapma değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan verilerin istatistiksel analizi.

		pH	Sülfat	Sodyum	Su Sertliği
Köprüçay	Ortalama	8,14	0,22	0,23	0,01
	Maksimum	8,58	3,48	1,99	0,80
	Minimum	7,50	0,03	0,04	0,00
	Standart Sap.	0,19	0,20	0,05	3,32
Eğirdir Gölü	Ortalama	8,32	0,27	0,49	19,50
	Maksimum	8,62	0,74	0,62	22,00
	Minimum	8,10	0,04	0,43	18,00
	Standart Sap.	0,14	0,16	0,06	0,90

### 3. Yöntemler

#### 3.1 Mann-Kendall testi

Parametrik olmayan bir test olan Mann-Kendall test istatistiği sıfır hipotezine dayanan ve zamansal serileri kullanan bir istatistiksel yöntemdir. Bu yöntemde ilk kurulan hipotez trendin olmadığına yönelik olan hipotezdir. Bu istatistiksel yöntemde zaman serileri iki gruba ayrılır. Bu gruplardan birincisi zaman serisinin sondan başa doğru sıralanmış hali, ikincisi ise zaman periyodunun baştan sona doğru sıralanmış halidir. Öncelikle ilk serideki her i'nci terimin i+1-n'inci terim aralığındaki seri elemanları ile kıyaslaması yapılır. Şayet söz konusu terim kıyaslandığı terimden büyük ise +1 sayı eklenir. Kıyaslama bittikten sonra verilen bütün +1 ler toplanır ve bu toplam P ile gösterilir. Bu aşamada yapılan işlemlerin aynısı ikinci seri içinde tekrarlanır buradan elde edilen toplamda M ile gösterilir. İşlemler bittikten sonra oluşturulan istatistik ise S ile gösterilir. S ise Denklem 1'de gösterildiği gibi ifade edilir (Gocic ve Trajkovic, 2013).



$$S=P-M \quad (1)$$

Veri sayısının 10'dan fazla olduğu serilerde test istatistiği aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Denklemler 2).

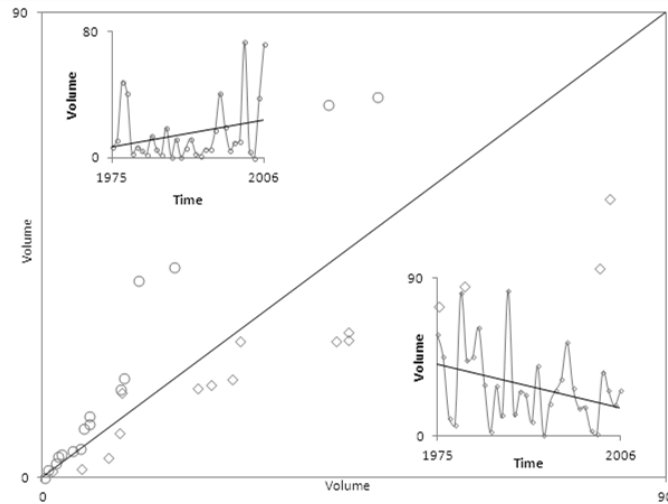
$$\mu_s = 0 \text{ ve } \sigma_s = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (2)$$

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sigma_s} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sigma_s} & s < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Denklemler 3 ile elde edilen Z değeri istatistiksel olarak hipotezin reddi veya kabulü için kullanılmaktadır. Şayet Z/2 değeri normal dağılımda  $\alpha$  önem dercesi ile belirlenmiş olan değerden küçük bir değer alırsa bu durumda hipotez kabul edilir ve trendin olmadığı varsayılır. Daha büyük bir değer alması durumunda trend olduğu kabulü yapılır. Eğer S değeri pozitif bir değer ise trendin pozitif olduğu, negatif bir değer ise trendin azalan eğilimde olduğu söylenebilecektir (Hagemann, vd.,2014).

### 3.2 Şen'in grafik testi

Şen (2012) tarafından Kartezyen koordinat sistemini üzerinde 1:1 çizgisine bağlı bir trend analiz metodu ortaya konmuştur. Buradaki 1:1 çizgisi ve bu çizgiye yakın bölgeler trendin olmadığı kısmı ifade etmektedir. 1:1 çizgisinin her iki tarafında da üçgenel alanlar mevcuttur. Bu üçgenel alanlar trendin oluşumu ve yönü ile ilgili bilgiler içerir Şekil 2. Öncelikle zaman serili veriler sayıları eşit olan iki gruba ayrılır. Bu serilerden birincisi zaman serisini başlangıcından orta noktadaki veriye kadar olan zaman aralığındaki veriler, ikincisi ise orta noktadaki veri ile zaman serisinin son verisi arasındaki verilerdir. Bu verilerin her ikisi de kendi içerisinde büyükten küçüğe sıralanır. Birinci grup veriler x eksenine ikinci grup verilerde y eksenine gelecek şekilde saçılım diyagramları oluşturulur. Son olarak bu saçılım diyagramının tam ortasından 1:1 çizgisi geçirilir. Saçılım diyagramında elde edilen sonuçlar 1:1 çizgisinin altında kalırsa trendin azalma yönünde olduğu. Üzerinde ise trendin artış yönünde olduğu kabul edilebilir. Ayrıca 1:1 çizgisi üzerinde veya bu çizgiye yakın değerler alındığı görülürse bu durumda da trend de herhangi bir eğilimin olmadığı söylenebilmektedir. Bunların dışında saçılımdaki diyagramındaki değerlerin 1:1 çizgisinin her iki tarafına da dağılım mevcut ise bu durumda grafiğin şekline göre sadece düşük değerlerde veya sadece büyük değerlerde artış ve azalış trendleri mevcuttur gibi yorumlarda yapılabilmektedir (Şen, 2012; Şen, 2014).



Şekil 2. Trend artış ve azalışlarının Şen Grafik testi ile gösterimi.

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1. Beşkonak ölçüm istasyonu su kalitesi ve trend analizi sonuçları

#### 4.1.1. Beşkonak ölçüm istasyonu su kalitesi sınıflandırma sonuçları

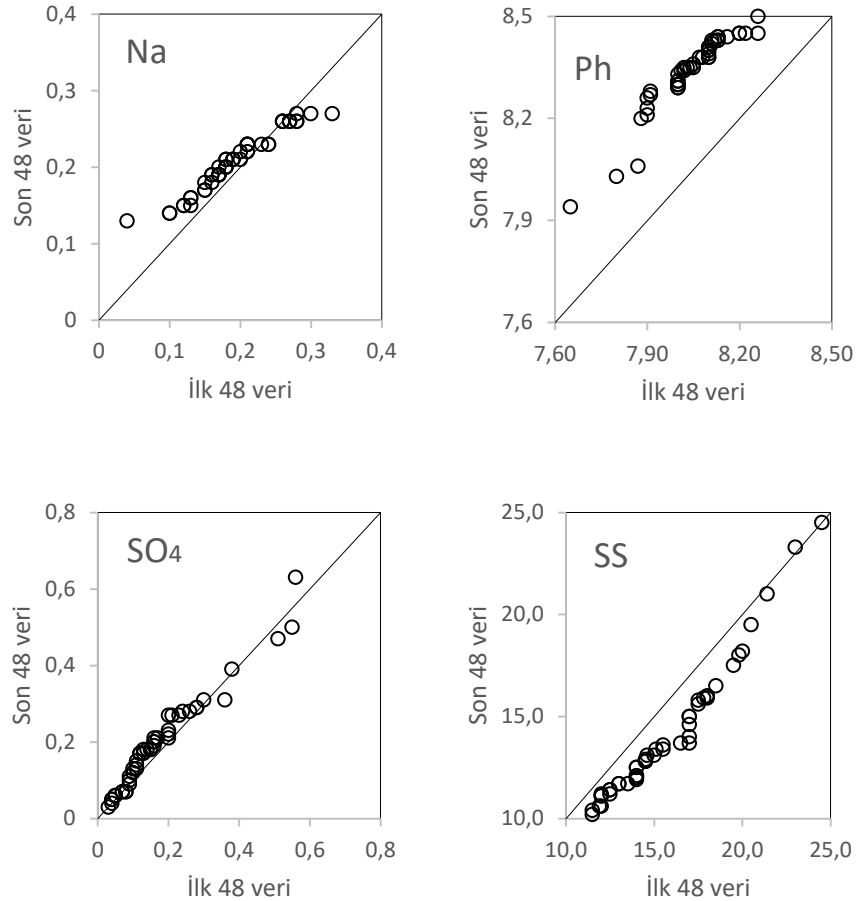
Bu bölümde Beşkonak ölçüm istasyonuna ait pH, sülfat, su sertliği ve sodyum değerlerine bağlı olarak su kalite değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiş ve genel bir sınıflandırma yapılmaya çalışılmıştır.

Tablo 2. Köprüçay nehri yıllık su kalitesinin sınıflandırılması.

	Ph			Sülfat			Su sertliği			Sodyum		
	Min	Max	Orta-lama	Min	Max	Orta-lama	Min	Max	Orta-lama	Min	Max	Orta-lama
1990-1993	8,2	7,7	8,1	0,2	0,0	0,1	15,5	11,5	13,5	0,27	0,04	0,17
1994-1997	8,2	7,9	8,0	0,3	0,0	0,1	23,0	12,0	17,5	0,33	0,15	0,22
1997	8,1	7,9	8,0	0,6	0,1	0,2	24,5	11,5	16,1	0,28	0,12	0,19
1998	8,3	7,8	8,1	0,6	0,0	0,2	19,8	11,0	15,5	0,27	0,1	0,20
1999	8,4	7,9	8,3	1,7	0,1	0,4	24,5	9,0	15,5	0,26	0,14	0,20
2000	8,6	8,0	8,4	0,5	0,1	0,2	19,5	10,6	13,6	0,27	0,17	0,23
2001	8,5	8,0	8,3	0,4	0,0	0,2	23,3	10,2	13,7	0,27	0,15	0,22
2002	8,5	8,1	8,4	0,3	0,0	0,2	16,5	10,6	13,4	0,26	0,13	0,19

## 4.1.2. Beşkonak ölçüm istasyonu trend analiz sonuçları

1990-2002 yılları arasında ölçülmüş su kalitesi verileri üzerinden testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan Şen Grafik testi Şekil 3'de gösterilirken Tablo 3'de elde edilen tüm sonuçlar özetlenerek gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 3'e bakıldığında pH değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Bu artış değeri Mann-Kendall test istatistiği ile de desteklenmiştir. Su sertliği değerlerinde ise azalış mevcuttur yine bu değerde Mann-Kendall test istatistiği ile desteklenmiştir.



Şekil 3. Köprüçay nehri Şen grafik testi sonuçları.

Tablo 3. Köprüçay nehri trend analiz sonuçları.

	Mann-Kendall Test İstatistiği			Şen Grafik Testi
	S	Z	%95 Güv. trend	
pH	2391	7.56	↑	↑
Na	555	1.75	↔	↔
SO4	584	1.85	↔	↔
SS	-704	-2.2	↓	↓

## 4.2. Eğirdir Gölü su kalitesi ve trend analiz sonuçları

### 4.2.1. Eğirdir Gölü su kalitesi sınıflandırma sonuçları

Bu bölümde Eğirdir gölüne ait pH, elektrik iletkenliği, klorür, sülfat ve su sertliği değerlerine bağlı olarak su kalite değerlerinin yıllara göre değişimi tablolar ve grafikler halinde gösterilmiş ve genel bir sınıflandırma yapılmaya çalışılmıştır (Tablo 4).

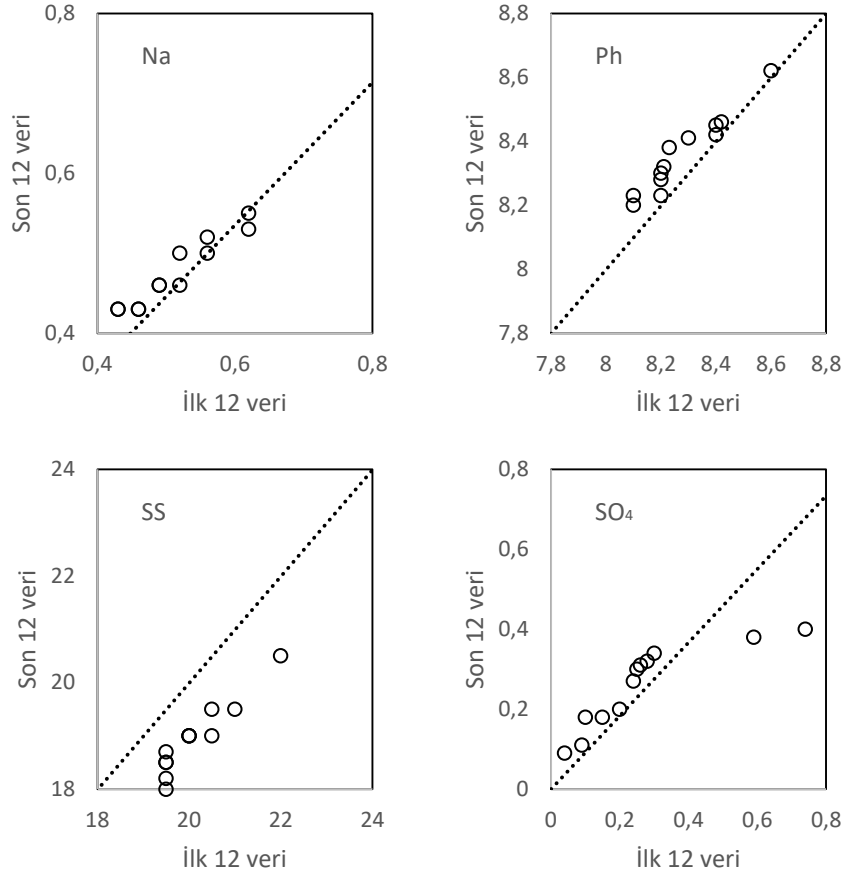
Tablo 4. Eğirdir gölü yıllık su kalitelerinin sınıflandırılması.

	Ph			Sülfat			Su sertliği			Sodyum		
	Min	Max	Orta-lama	Min	Max	Orta-lama	Min	Max	Orta-lama	Min	Max	Orta-lama
1990 - 1994	7,20	7,80	7,45	9,40	28,80	20,26	6	35	16,14	2,00	5,40	3,73
1995 - 1999	7,00	7,60	7,37	11,20	32,00	20,14	2	13	4,57	1,71	4,50	2,62
2000 - 2004	7,00	8,00	7,55	15,00	48,40	24,42	1	10	3,29	0,77	2,44	1,70

### 4.2.2. Eğirdir Gölü trend analizi sonuçları

1996-1998 yılları arasında ölçülmüş kısa süreli su kalitesi verileri üzerinden testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan Şen Grafik testi Şekil 4'te gösterilirken Tablo 5'de elde edilen tüm sonuçlar özetlenerek gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 4'de bakıldığında Sülfat ve pH değerlerinde artış trendi gözlemlenmektedir. Su sertliği ve sodyum değerlerinde ise azalış trendinin olduğu söylenebilir. Tablo 5'deki sonuçlar irdelendiğinde azalış trendleri uyumlu olmasına rağmen Şen grafik testinde görülen artış trendi Mann-Kendall testi ile desteklenememektedir. Diğer istasyonlardan farklı olarak bu istasyondaki veri sayısının az olması buradaki sonuçların doğruluğunu sorgulanmaktadır. Bu nedenle Eğirdir gölüne ait daha uzun gözlemler alınarak yapılan işlemlerin tekrar edilmesi daha sağlıklı sonuçlar almamızı sağlayabilecektir.





Şekil 4. Eğirdir Gölü Şen grafik testi sonuçları.

Tablo 5. Eğirdir Gölü trend analiz sonuçları.

	Mann-Kendall Test İstatistiği			Şen Grafik Testi
	S	Z	%95 Güv. trend	
pH	60	1.55	↔	↑
Na	-105	-2.74	↓	↓
SO4	20	0.50	↔	↑
SS	-143	-3.75	↓	↓

## 5. Sonuç

Su kaynakların korunması günümüz artan nüfusu ve sanayileşmesi sebebi ile çok önemlidir. Mevcut su kaynaklarının korunması için öncelikle bu kaynakların mevcut kalitesini tespit etmek, daha sonrada gelecekle ilgili öngöründe bulunmak çok önemlidir. Bu çalışmada Eğirdir gölü ve Köprüçay nehri pH, sodyum, sülfat ve su sertliği değerleri tespit edilmiş ve trend analizleri yapılmıştır.

Çalışmanın birinci kısmında yapılan su kalitesi değerlerine bakıldığında bütün istasyonlardaki su kalitesinin birinci sınıf olduğu ancak bazen II. ve III. sınıf durumlarına da geçtiği görülmüştür. Fakat genel itibari ile su kalitesinin I. sınıf olduğu söylenebilmektedir. Su sertliği değerlerine bakıldığında ise Köprüçayda yumuşak veya oldukça yumuşak bir su kalitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Eğirdir gölünün ise oldukça sert bir su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Trend analiz sonuçlarına göre su sertliği değerlerinde tüm istasyonlarda bir azalış trendi gözlemlenmiştir. Bu gözlem hem Mann-Kendall hemde Şen grafik testi ile teyit edilmiştir.

Sülfat değerlerindeki değişimin Eğirdir gölü hariç hemen hemen hiç olmadığı Eğirdir gölünde ise sadece Şen Grafik testine göre bir artış mevcuttur.

Sodyum değerlerinin her iki trend analiz sonucuna göre Köprüçayda değişmediği, Eğirdirde azaldığı belirlenmiştir.

pH değerlerinin iki istasyonda da artış trendinde olduğu ancak Eğirdir gölünde bu artışın Mann-Kendall ile desteklenmediği görülmüştür.

Çalışmada genel olarak elde edilen trendlerde Mann-Kendall ile Şen grafik testinin birbirini desteklediği ancak verilerdeki farkın çok belirgin olmadığı durumlarda Şen testinin kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.

## 6. Teşekkür

Veri sağlamamız açısından destek aldığımız TÜBİTAK 2209/A projesine teşekkürü bir borç biliriz.

## 7. Kaynaklar

- Akkoyunlu, A. ve Akiner, M., (2012). "Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin." *Ecological Indicators*, 18, 501-511.
- Cabria, M., Barquín, J. ve Francisco, J., (2016). "Modelling the spatial and seasonal variability of water quality for entire river networks: Relationships with natural and anthropogenic factors." *Science of the Total Environment*, 545-546, p. 152-162.
- Gloleau, A., Mailhot, A. ve Guillaume, T., (2007). "Trend analysis of winter rainfall over Southern Quebec and New Brunswick." *Atmosphere -Ocean*, 45(3), 153-162.
- Gocic, M. ve Trajkovic, S., (2013). "Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia." *Global and Planetary Change*, 100, 172-182.
- Hagemann, N. ve diğerleri, (2014). "The long road to improving the water quality of the Western Bug River (Ukraine) – A multi-scale analysis." *Journal of Hydrology*, 519, p. 2436-2447.
- Hasrul, H., Jamil, N. ve Aini, N., (2015). "Water quality index and sediment loading analysis in Pelus River, Perak, Malaysia." *Procedia Environmental Sciences*, 30, p. 133 – 138.
- Hou, W. ve diğerleri, (2016). "Assessing water quality of five typical reservoirs in lower reaches of Yellow River, China: Using a water quality index method." *Ecological Indicators*, 61, 309-316.
- Karbulut, M. ve Cosun, F., (2009). "Kahramanmaraş İlinde Yağışların Trend Analizi." *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(1), 65-83.
- Mirzaei, A. ve diğerleri, (2013). "Wave climate simulation for southern region of the South China Sea." *Ocean Dynamics*, 63(8).
- Onyutha, C. ve diğerleri, (2015). "Analyses of rainfall trends in the Nile River Basin." *Journal of Hydro-environment Research*, 1-16.
- Partal, T. ve Kahya, E., (2006). "Trend analysis in Turkish precipitation data." *Hydrological Processes*, 20, (2011-2026).
- Saplıoğlu, K., (2015). "A New methodology for trend analysis: A case study in Burdur and Isparta, Turkey." *Fresenius environmental Bulletin*, 24(10a), 3344-3351.
- Saplıoğlu, K., Kilit, M. ve Yavuz, B. K., (2014). "Trend analysis of streams in the western mediterranean basin of Turkey." *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(1a), 313-324.
- Saplıoğlu, K., Küçükerdem, T. S. ve Alqaysi, R. S. D., (2017). "Akdeniz Bölgesi akarsularının su kalitesi sınıflarının ve trendlerinin belirlenmesi." *Dicle Üniversitesi Mühendislik dergisi*, 8(1), 33-42.
- Sarkar, A. ve Pandey, P., (2015). "River Water Quality Modelling using Artificial Neural Network Technique." *Aquatic Procedia*, 4, 1070-1077.
- Syafrina, A., Zalina, M. ve Liew, J., (2015). "Historical trend of hourly extreme rainfall in Peninsular Malaysia." *Theoretical and Applied Climatology*, 120, 259-285.
- Şen, Z., (2012). "Innovative trend analysis methodology." *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042-1046.
- Şen, Z., (2014). "Trend Identification Simulation and Application." *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635-642.
- Türkeş, M., Koç, T. ve Sarış, F., (2007). "Türkiye'nin Yağış Toplamı ve Yoğunluğu Dizilerindeki Değişiklerin ve Eğilimlerin Zamansal ve Alansal Çözümlemesi." *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), 57-73.
- Vincent, L. ve diğerleri, (2015). "Observed trends in Canada's climate and influence of low-frequency variability modes." *American Meteorological Society*, 28(11), 4585-4560.
- Yu, S., Xu, Z., Wu, W. ve Zuo, D., (2016). "Effect of land use types on stream water quality under seasonal variation and topographic characteristics in the Wei River basin," *China. Ecological Indicators*, 60, 202-212.

### ARAŞTIRMA MAKALESİ

#### Öne Çıkan Sonuçlar:

- İklim değişikliğinin sonuçları
- Karbon salınımlarında artış
- Fidan dikim kampanyası yararları

#### Yazışma yazarı:

Rüveyşa Burça TURAN,  
501404013@ogr.uludag.edu.tr

#### Referans:

Turan, R.B.,(2019),Bursa Osmangazi Belediyesi Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesabı ve İklim Değişikliği Uyum Çalışmaları İklim Değişikliği ve Çevre, 4, (1) 17-24,

Makale Gönderimi :8 EKİM 2018  
Online Kabul :7 OCAK 2019  
Online Basım :25 MART 2019

## Bursa Osmangazi Belediyesi Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesabı ve İklim Değişikliği Uyum Çalışmaları

Rüveyşa Burça TURAN<sup>1</sup>, Feza KARAER<sup>1</sup>

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, Bursa, Türkiye

**Özet** 21.yy'da dünyamızın geri dönüşü olmayan kaçınılmaz iki büyük sorunu ortaya çıkmıştır; "insan faaliyetleri kaynaklı iklim değişikliği" ve "sınırlanamayan kentsel yayılma". Türkiye'de henüz, iklim değişikliğinin yarattığı ve giderek artan risklerin geleneksel kalkınma politikaları açısından sonuçları, hükümetlerin ya da özel sektörün yatırım kararlarında net bir faktör olarak hesaba katılmamaktadır. Yapılan bu çalışmada, Türkiye'nin nüfus bakımından en büyük 4. ili konumunda olan Bursa'nın en büyük ilçesi olan Osmangazi'ye hizmet eden Osmangazi Belediyesi'nin en çok enerji harcayan ve dolayısıyla karbon salınımı en yüksek personel sayısı esas alınarak karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. 2014-2017 yılları arasında merkez hizmet binası karbondioksit salınım miktarı toplamda "2.537,03 ton CO<sub>2</sub>"dir. 2014 yılında "1,60 ton CO<sub>2</sub>/kişi-yıl" olan karbon ayak izi değerinin, 2017 yılına gelindiğinde "1,73 CO<sub>2</sub>/kişi-yıl" değerine yükseldiği görülmektedir. Buna göre; 4 yıllık süreç sonunda atmosfere salınan karbon miktarı, ton CO<sub>2</sub> cinsinden %8,12 oranında artmıştır. Osmangazi Belediyesi hayata geçirdiği çevreci projeler ile atmosfere saldırdığı karbon miktarını tutmayı hedeflemektedir. Örneğin; 2009-2014 yılları arasında "Orman Bölge Müdürlüğü ve Osmangazi Belediyesi" protokolü kapsamında "1.000.000 Fidan Dikim Kampanyası" gerçekleştirilmiştir. Dikilen fidanların 1 yıllık karbon yok etme miktarının "7.275 ton CO<sub>2</sub>" olduğu hesaplanmıştır. Buna göre; merkez hizmet binasından 2014-2017 yılları arasındaki 4 yıllık süreçte gerçekleşen karbon salınım miktarının yaklaşık 2,9 katı, dikilen fidanlar sayesinde yalnızca 1 yılda tutulmaktadır. Bu tarz çevreci projeler gelenek haline getirilmeli ve çevre bilinci tüm vatandaşlara kazandırılmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** İklim Değişikliği, Karbon Salınımı, Karbon Ayak İzi, Bursa İli, Osmangazi İlçesi

## Bursa Osmangazi Municipality Corporate Carbon Footprint Calculation and Climate Change Adaptation Studies

**Abstract** In the 21st century, the inevitable two major problems of our world have emerged; "climate change caused by human activities" and "non-restricted urban spread". Climate change and its implications for traditional development policy of increasing risk is not joining the government or the private sector accounts as a clear factor in investment decisions in Turkey yet. Bursa is the Turkey's 4th largest city location in population and the largest district of it is Osmangazi. Central service building which is located in Osmangazi Municipality is consuming the most energy therefore carbon emissions are known to be the highest. In this study, carbon footprint of central service building was determined and carbon footprint was calculated based on current personnel number. In 2014-2017, the total amount of carbon dioxide emissions of the central service building is "2.537,03 tons of CO<sub>2</sub>". It is seen that it rises the carbon footprint value of 2014 which is "1,60 tons of CO<sub>2</sub>/person-year" to "1,73 tons of CO<sub>2</sub>/person-year" in 2017. According to this result; the amount of carbon released into the atmosphere at the end of 4-year period increased by 8,12% in tonnes of CO<sub>2</sub>. Osmangazi Municipality has implementations to keep the amount of carbon released into the atmosphere with the environmental projects. For example, between the years 2009-2014, "1,000,000 Sapling Planting Campaign" was realized within the scope of "Forest Regional Directorate and Osmangazi Municipality" protocol. It was calculated that "7.275 tons of CO<sub>2</sub>" was 1 year of carbon removal of planted seedlings. According to this; approximately 2,9 times of the carbon emission in the 4-year period between 2014-2017 from the central service building has been kept only 1 year owing to planted seedlings. Such environmental projects should be brought into tradition and environmental awareness should be gained to all citizens.

**Keywords:** Climate Change, Carbon Release, Carbon Footprint, Bursa Province, Osmangazi District

### 1. Giriş

Yeryüzündeki karbon kaynakları binlerce yıldır kararlı idi, ancak günümüzde modern insan aktiviteleri ile büyük artış göstermiştir. Karbon içeren sera gazlarının atmosferdeki bu büyük artışı sonucunda küresel

Isınma ve iklim değişikliği etkileri oluşmuştur. Dünya üzerinden yansıyan güneş ışınları, atmosferde bulunan yoğun miktardaki karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), su buharı gibi sera gazları tarafından tutulmakta ve dünyamız böylece ısınmaktadır. Atmosferdeki sera gazları ne kadar çoksa o kadar çok ısı tutulur. Bunun sonucunda Dünya'nın ortalama sıcaklığında yükselme görülür ve iklimler değişir. Kentlerin iklim değişikliğine karşı uyum ve savunma eylem planlarında, ortalama küresel sıcaklık artışlarına neden olan sera gazı salınımlarının yarısından fazlasının (%78) insan kaynaklı olduğu vurgulanmaktadır (Moradi & Tamer, 2017).

Ülkemizde günümüze kadar çok sayıda ciddi iklim değişikliği etkileri yaşanmıştır. Bunlardan bazıları; "2007'de yaşanan kuraklık", "2009'da İstanbul'da ve 2012'de Samsun'da yaşanan sel felaketi", "İstanbul'da görülen hortumlar", "Burdur Gölü seviyesinin son 35 yılda 13 m azalması (alanının 226 km<sup>2</sup>'den 150 km<sup>2</sup>'ye gerilemesi)", "Kırşehir'de milli park niteliğindeki korumalı bölge olan Seyfe Gölü'nün günden güne kuruması ve çorak bir toprak haline dönüşmesi" şeklinde örneklendirilebilir. Ancak Türkiye'de henüz, iklim değişikliğinin yarattığı ve giderek artan risklerin geleneksel kalkınma politikaları açısından sonuçları, hükümetlerin ya da özel sektörün yatırım kararlarında net bir faktör olarak hesaba katılmamaktadır (Bursa Büyükşehir Belediyesi [BBB], 2017).

Türkiye'nin ve Marmara Bölgesi'nin sürekli artan nüfusu ve gelişen ekonomisine paralel olarak Bursa ili de sürekli büyüme ve gelişme göstermektedir (BBB BUSECAP, 2017). 2017 yılı il nüfus verilerine göre Bursa nüfusu 2.936.803'tür (URL-6). Bursa'da, uydu görüntüleri ve sıcaklık verileri kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, 1984-2014 yılları arasındaki 30 yıllık dönemde, kentsel arazi örtüsünde %20'ye varan artış olduğu, kent yerleşim alanının 6 kat büyüdüğü ve kent nüfusunun 2,5 kat arttığı tespit edilmiştir. Kentin yayılarak büyümesi, başta işyeri ile konut arasındaki ve tüm kentteki ulaşım talepleri ile yolculuk sürelerini etkilemiştir. Kentsel yayılma arttıkça, ulaşım kaynaklı fosil yakıt tüketimleri ve dolayısıyla sera gazı salınımları artmış, kentin çevresindeki orman ve tarım alanları yapılaşarak önemli yutak alanlar (arazi örtüsü) azalmış, yerel iklim değişmiş, sıcaklıklar artmıştır. Bursa ovasının kentsel gelişmesi, 1974-2014 döneminde aylık minimum sıcaklıkların 1,36°C artmasına sebep olmuştur. Son 20 yıllık süreçte, ilk 20 yıla göre daha fazla artış (0,93°C) olduğu gözlenmiştir (Moradi & Tamer, 2017). Karbon ayak izi; insan faaliyetlerinin karbondioksit cinsinden ölçülen ve üretilen sera gazı miktarı açısından çevreye verdiği zararın ölçüsüdür. Birimi "kg.CO<sub>2</sub>-eşdeğer" veya "ton.CO<sub>2</sub>-eşdeğer"dir. Karbon ayak izi kurumlarca; yasal zorunluluklar, kurumsal sosyal sorumluluk, müşteri veya yatırımcı talepleri, pazarlama ve kurum imajı, zorunlu veya gönüllü sera gazı emisyonu azaltımı ve emisyon ticaret mekanizmalarına katılım amacıyla hesaplanmaktadır. Karbon ayak izi iki farklı kategoride incelenebilir; "kişisel karbon ayak izi ve kurumsal karbon ayak izi". Kurumsal karbon ayak izi kurumların yıllık faaliyetlerine bağlı emisyonları gösteren kavramdır. Kurumsal karbon ayak izi üç ana parçadan oluşur; "doğrudan karbon ayak izi (kapsam 1), dolaylı karbon ayak izi (kapsam 2), diğer dolaylı karbon ayak izi (kapsam 3)". Doğrudan karbon ayak izi (kapsam 1), kurumların faaliyetleri için (ısınma veya üretim prosesi için) kullandıkları fosil yakıtlar ve kurumun sahip olduğu araçların kullandığı fosil yakıtların yaratmış olduğu emisyonları; dolaylı karbon ayak izi (kapsam 2), kurumların tükettiği elektrik enerjisinin neden olduğu emisyonlar ile kurumun başka bir kurumdan satın aldığı buhar, soğutma veya sıcak suya bağlı emisyonları; diğer dolaylı karbon ayak izi (kapsam 3), kurumların kullandıkları ürünlere (örneğin hammaddeden reklam amaçlı broşürlere kadar), aldıkları taşeron faaliyetlerine, kurumun kiralık araçlarının kullandığı yakıtlara, kurum çalışanlarının iş amaçlı kara, deniz ve hava ulaşımına bağlı tüm emisyonları kapsamaktadır (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Tanabe, 2006).

Bursa Büyükşehir Belediyesi 2014 yılında karbon ayak izi hesabı çalışması yapmıştır. Bu çalışma kapsamında kurumsal sera gazı hesabı için belediye binaları ve tesisleri, sokak aydınlatma ve trafik ışıkları, araç filosu, toplu taşıma araçları, kaçak emisyonlar (klima gazları) ve diğer emisyonlar (uçuşlar) göz önüne alınarak; CO<sub>2</sub> (karbondioksit), CH<sub>4</sub> (metan) ve N<sub>2</sub>O (diazotmonooksit) gazları salınım miktarı toplamda "217.744 ton CO<sub>2</sub>e" olarak bulunmuştur. Aynı hesaplama göre; Bursa ili toplam karbon ayak izi 2014 yılı için "12,8 milyon ton CO<sub>2</sub>e"dir. Kentin elektrik tüketimleri %36 ile en büyük sera gazı kaynağıdır. 2014 yılı itibarıyla Türkiye'nin karbon ayak izi "460 milyon ton CO<sub>2</sub>e" ve Dünya'nın karbon ayak izi "43 milyar 130 milyon ton CO<sub>2</sub>e"dir. Bu verilere göre, Bursa Büyükşehir Belediyesi kurumsal karbon salınımı tüm Bursa salınımlarının %1,7'sini oluştururken; Bursa ili Türkiye karbon salınımlarının %2,7'sini oluşturur ve Türkiye Dünya'daki karbon salınımlarının %1,06'sını oluşturmaktadır (BBB, 2017).

Bu çalışmada incelenecek olan Osmangazi ilçesi, son yıllarda artan şehir içi araç kullanımları ile birlikte yoğun trafik sorunu ile boğuşan bir ilçe konumuna gelmiştir. İlçede artan trafiğe bağlı olarak oluşan hava kirliliği önemli bir çevre problemidir. Trafikün etkisinin özellikle sabah saatlerinde ve akşam mesai bitiminin olduğu saatlerde yoğun bir şekilde gözlemlenmesi sonucu, toplu taşıma araçları ve eski araçların egzoz gazlarının hava kirliliğine sebep olduğu görülmektedir. Trafik dışında sanayi kaynaklı hava kirliliği problemi de mevcuttur. Özellikle gece saatlerinde sanayinin atık gazları havaya salmasına bağlı olarak hava kirliliği artmaktadır. Bu sorun, ilgili sanayi kuruluşlarının atık gazlarını gerekli tedbirler (filtre vb.) aldıktan sonra havaya vermesi sonucu çözüme kavuşturulabilir. Konut planlamasının sanayi alanları ile iç içe olması da hissedilen hava kirliliği oranının artmasına sebep olmaktadır. İlçede; ısınma kaynaklı kava kirliliği de gözlemlenmekte ve özellikle kışın kömür kullanılan yerlerde bu sorun artmaktadır (BBB ve Uludağ Üniversitesi [UÜ], 2016).

Osmangazi Belediyesi; hizmet binaları sebebiyle atmosfere saldırdığı kurumsal karbon salınımlarını tutmak amacıyla sürdürülebilir nitelikte bir çevreci sosyal sorumluluk projesine imza atmıştır. 2009-2014 yılları arasında Orman Bölge Müdürlüğü ve Osmangazi Belediyesi protokolü kapsamında "1.000.000 Fidan Dikim Kampanyası" gerçekleştirmiştir. Bu kampanya ile Avdancık'ta 110 ha alanda 178.000;



Demirtaş Barajı Havzası, Yalova Yolu, Ovaakça-Selçukgazi Köyü, Soğukpınar, İsmetiye Köyü, Bağlı Köyü, Dürdane, Ahmetbeyköy, Aksungur, Çağlayan'da ise 375 ha+14 km<sup>2</sup>'lik alanda 822.000 adet olmak üzere toplamda 485 ha+14 km<sup>2</sup>'lik ormanlık alanda 1.000.000 adet fidan dikimi gerçekleştirilmiştir. Fidan dikim çalışmaları Bursa'nın çeşitli okullarında eğitim görmekte olan öğrenciler ve öğretmenleriyle beraber gerçekleştirilmiştir. Bu projenin uygulanması aşamasında çekilen fotoğraflardan örnekler Şekil 1'de yer almaktadır (Zeynep Dinçkol, kişisel görüşme, Eylül 2018).



Şekil 1. Osmangazi Belediyesi 1.000.000 Fidan Dikim Kampanyası görselleri.

## 2. Veri ve Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Osmangazi, 40° 10' 57" enlem ve 29° 04' 01" boylam üzerinde yer alan (URL-4) Bursa ilinin 1.165 km<sup>2</sup>'lik alana sahip merkez ilçesidir. Yüzölçümü 65.708 ha'dır. Doğuda Gürsu, Yıldırım, Kestel; kuzeyde Gemlik, Mudanya; batıda Nilüfer; güneyde Orhaneli ve Keles ilçelerine komşudur (BBB ve UÜ, 2016). İlçe; Uludağ'ın eteklerinde, doğuda Gökdere Vadisi'yle başlar, batıda Nilüfer Deresi ve yeni mudanya yolu, Kuzeyde Katırlı Dağları, Nilüfer Çayı ve Bursa Ovası'nı içine alan topraklara sınır oluşturan bölgeyi kapsar. İlçenin denizden yüksekliği ortalama 150 m'dir. İzmir, İstanbul, Eskişehir yollarının kesiştiği kavşak noktasında bulunan Osmangazi; Mudanya Limanı'na 31 km, Yalova'ya 74 km, Gemlik'e 30 km uzaklıktadır (Osmangazi Belediyesi [Osm. Bld.], 2017). Osmangazi ilçesinin Bursa ilçeleri haritasındaki konumuna Şekil 2'de yer verilmiştir.



Şekil 2. Osmangazi ilçesinin Bursa ilçeleri haritasındaki yeri.

Osmangazi ilçesi nüfusu, 2017 yılı TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı) verilerine göre 856.770 olarak tespit edilmiş olup; ilçe Bursa'nın nüfus olarak en büyük ilçesi konumundadır. İlçe nüfus yoğunluğu 735 kişi/km<sup>2</sup>'dir (BBB ve UÜ, 2016). İlçe; tarihi, kültürel zenginlikleri, dağ ve kaplıcalarıyla bir turizm kentidir. Bu özelliği ile başta yaz ayları olmak üzere gündüzleri ilçe merkezi nüfusu 1 milyonu geçmektedir (Osm. Bld., 2017).

Bu çalışmada kurumsal karbon ayak izi hesabı yapılan bina Osmangazi Belediyesi'nin merkez hizmet binasıdır ve Santral Garaj mahallesi, Ulubatlı Hasan Bulvarı No:10 adresinde yer almaktadır. Bina,

Ankara Yolu caddesi üzerinde ve kent merkezinde konumlanmıştır. Binaya ait görsel Şekil 3'te yer almaktadır (URL-3).



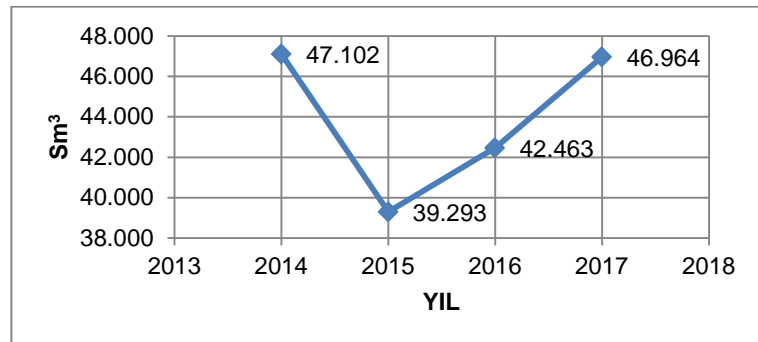
Şekil 3. Osmangazi Belediyesi merkez hizmet binası görünümü.

Karbon ayak izi hesabında kullanılan veriler, 2014, 2015, 2016 ve 2017 yıllarına aittir. Binanın doğalgaz, elektrik ve dizel yakıt tüketim verileri ele alınarak karbon salınım hesabı yapıldığından; yapılan hesap kurumsal karbon ayak izi kapsam 1 ve kapsam 2'ye girmektedir (Eggleston vd., 2006). Hesap yapılırken; belediye veritabanında geçmiş yıllara yönelik merkez hizmet binası personel sayısı yer almadığından, personel sayısı olarak her yıl için 2018 yılı Eylül ayı itibarıyla güncel personel sayısı olan 381 esas alınmıştır. Merkez hizmet binası müdürlükleri çalışan sayıları 2014 yılından beri büyük değişimler göstermediğinden ortaya çıkması muhtemel fark göz ardı edilebilir (Serkan Yılmaz, kişisel görüşme, Eylül 2018).

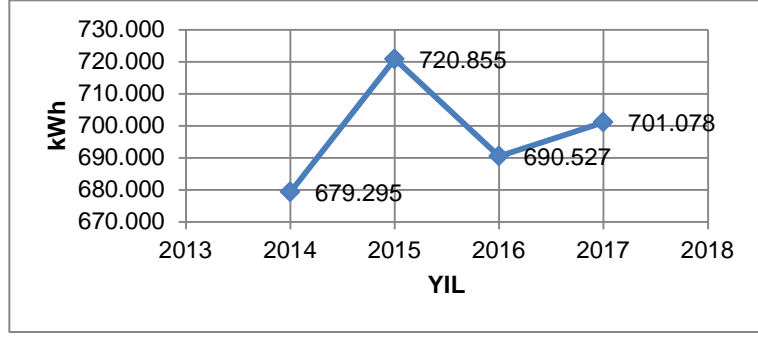
### 3.Yöntem

#### 3.1.Osmangazi Belediyesi merkez hizmet binası 2014-2015-2016-2017 yılları karbon ayak izi hesabı

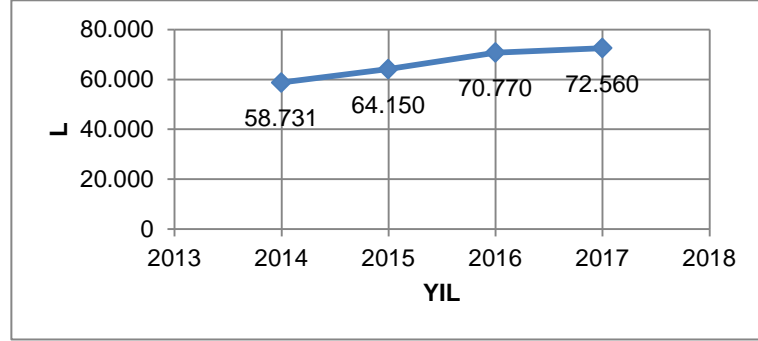
Doğalgaz kullanımı sonucunda oluşan CO<sub>2</sub> emisyon hesabı yapılırken, sabit yanma proseslerinde kullanılan doğalgazın aylık faturalardaki Sm<sup>3</sup> (standart metreküp) cinsinden olan doğalgaz harcama değerlerine; elektrik kullanımları sonucu oluşan CO<sub>2</sub> emisyon hesabı yapılırken, hem kapalı alan hem de açık alanda kullanılan Kwh (kilowattsaat) cinsinden olan elektrik harcama değerlerine; dizel yakıt kullanımları sonucu oluşan CO<sub>2</sub> emisyon hesabı yapılırken, merkez hizmet binasına bağlı çalışan araçların L (litre) cinsinden tüketim değerlerine bakılmıştır. 2014-2017 yılları arası doğalgaz, elektrik, dizel yakıt tüketim verileri Şekil 4, 5 ve 6'da grafiksel olarak belirtilmiştir (Alişah Çelik, kişisel görüşme, Eylül 2018).



Şekil 4. 2014-2015-2016-2017 yılları doğalgaz tüketim miktarları grafiği.



Şekil 5. 2014-2015-2016-2017 yılları elektrik tüketim miktarları grafiği.



Şekil 6. 2014-2015-2016-2017 yılları dizel yakıt tüketim miktarları grafiği.

2014-2017 yılları arasındaki doğalgaz tüketim miktarlarına göre; 2015 yılı doğalgaz tüketim miktarı 2014 yılına göre %16,58 oranında azalış gösterirken, 2016 yılı doğalgaz tüketim miktarı 2015 yılına göre %8,07 oranında artmış ve 2017 yılı doğalgaz tüketim miktarı 2016 yılına göre %10,6 oranında artış göstermiştir.

2014-2017 yılları arasındaki elektrik tüketim miktarlarına göre; 2015 yılı elektrik tüketim miktarı 2014 yılına göre %6,12 oranında artış gösterirken, 2016 yılı elektrik tüketim miktarı 2015 yılına göre %4,21 oranında azalmış ve 2017 yılı elektrik tüketim miktarı 2016 yılına göre %1,53 oranında artış göstermiştir.

2014-2017 yılları arasındaki dizel yakıt tüketim miktarlarına göre; 2015 yılı elektrik tüketim miktarı 2014 yılına göre %9,23 oranında, 2016 yılı elektrik tüketim miktarı 2015 yılına göre %10,32 oranında ve 2017 yılı elektrik tüketim miktarı 2016 yılına göre %2,53 oranında sürekli artış göstermiştir.

Tablo 1. Osmangazi Bld. Merkez Hizmet Binası 2014-2015-2016-2017 yılları elektrik ve ısı yoğunlukları.

Yıllar	Elektrik Yoğunluğu (kWh/m <sup>2</sup> )	Isı Yoğunluğu (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
2014	66,45	5,86
2015	70,51	4,89
2016	67,55	5,29
2017	68,58	4,59

Osmangazi Belediyesi merkez hizmet binası; kapalı alanı 8.033 m<sup>2</sup>, açık alanı 2.190 m<sup>2</sup> olmak üzere toplamda 10.223 m<sup>2</sup>'lik alana sahiptir (Alişah Çelik, kişisel görüşme, Eylül 2018). Yıllık toplam tüketim miktarlarına göre, kullanım alanları göz önünde bulundurularak elektrik ve ısı yoğunlukları hesaplanmıştır. 2014-2015-2016-2017 yıllarına ait elektrik ve ısı yoğunlukları yukarıda Tablo 1'de belirtilmiştir.

2014-2017 yılları arasındaki 4 yıllık süreç sonunda elektrik yoğunluğunun artarken, ısı yoğunluğunun azalmasının sebebinin; küresel ısınma kaynaklı gün geçtikçe artan hava sıcaklıklarının kışın daha az ısınma kaynaklı doğalgaz kullanımına, yazın daha fazla soğutma amaçlı kullanılan klima kaynaklı elektrik kullanımına bağlı olduğu sonucuna varılabilir.

Kapsam 1 ve kapsam 2 karbon ayak izi hesabına dayanılarak yapılan hesap (Eggleston vd., 2006) sonucunda Osmangazi Belediyesi merkez hizmet binası 2014-2017 arası yıllık karbon salınım miktarları aşağıda Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Osmangazi Bld. Merkez Hizmet Binası 2014-2015-2016-2017 yılları karbon salınım miktarları.

Yıllar	Ton CO <sub>2</sub>	TEP (Ton eşdeğer petrol)
2014	609,58	147,00
2015	630,98	148,72
2016	638,67	154,33
2017	657,80	160,42
TOPLAM	2.537,03	610,47

Karbon salınım miktarları, 2014 yılından başlayarak 2017 yılına kadar sürekli artış göstermiştir. Ton CO<sub>2</sub> cinsinden 2015 yılı emisyon salınım miktarı 2014 yılına göre %3,51, 2016 yılı emisyon salınım miktarı 2015 yılına göre %1,22, 2017 yılı emisyon salınım miktarı 2016 yılına göre %3 oranında artış gösterirken; TEP cinsinden 2015 yılı emisyon salınım miktarı 2014 yılına göre %1,17, 2016 yılı emisyon salınım miktarı 2015 yılına göre %3,77, 2017 yılı emisyon salınım miktarı 2016 yılına göre %3,98 oranında artış göstermiştir.

Karbon salınım miktarları ve merkez binada çalışan güncel personel sayısı (381 kişi) ele alınarak yapılan karbon ayak izi hesabı sonuçlarına göre, Osmangazi Belediyesi merkez hizmet binasında çalışan bir personelin karbon ayak izi değeri bir önceki yıla göre sürekli olarak artış göstermiştir. Ton CO<sub>2</sub> ve TEP cinsinden hesaplanan karbon ayak izi değerleri Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Osmangazi Bld. Merkez Hizmet Binası 2014-2015-2016-2017 yılları karbon ayak izi değerleri.

Yıllar	Ton CO <sub>2</sub>	TEP (Ton eşdeğer petrol)
2014	1,60	0,386
2015	1,66	0,390
2016	1,68	0,405
2017	1,73	0,421

### 3.2. Osmangazi Belediyesi 1 milyon fidan dikim kampanyası O<sub>2</sub> (oksijen) kaynağı hesabı

2009-2014 yılları arasında Orman Bölge Müdürlüğü ve Osmangazi Belediyesi protokolü kapsamında gerçekleştirilen 1.000.000 Fidan Dikim Kampanyası'nda toplamda 485 ha+14 km<sup>2</sup>'lik ormanlık alanda 1.000.000 adet fidan dikimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki; 1 hektarlık çam ağacı ormanı 1 yılda ortalama 35 ton oksijen üretimi gerçekleştirmekte ve aynı zamanda ortalama 15 ton karbonu atmosferden çekmektedir (Durkaya, Bekci, & Varol, 2015). Ayrıca 1 hektarlık çam ormanı, yılda yaklaşık 35 ton tozun emilmesini sağlamaktadır (URL-1). Fidan dikim kampanyası kapsamında dikilen 1.000.000 adet çam ağacının ortalama 485 ha'lık ormanlık alanda yer aldığı kabul edilirse;

1.000.000 adet çam ağacı 1 yılda;

485 ha (hektar) x 35 ton O<sub>2</sub> = 16.975 ton O<sub>2</sub> üretmekte, 16.975 ton toz emilimi gerçekleştirmekte ve

485 ha (hektar) x 15 ton karbon = 7.275 ton karbonu atmosferden çekmektedir.

Dikilen fidanların hepsinin sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürdüğü kabul edilir ve fıstık çamlarının meyve verme yaşının 9-10 olduğu (URL-5) bilgisiyle hareket edilirse, dikilen fidanların şu anda 7 ile 9 yaş arasında olduğu ve dolayısıyla 1.000.000 adet fidanın hemen hemen tamamının yetişkin yaşta olarak doğal yaşamlarına devam ettiği tespit edilmiş olur. Dolayısıyla, fidan dikim kampanyası kapsamında dikilen çam ağaçları 1 yılda; 16.975 ton oksijen üretmekte, aynı zamanda 16.975 ton toz emilimi gerçekleştirmekte ve 7.275 ton karbonu atmosferden çekmektedir.

Bu çalışmadan yaptığımız karbon salınım hesabına göre; Osmangazi Belediyesi merkez hizmet binası doğalgaz, elektrik ve dizel yakıt kaynaklı karbon salınımı 2014-2017 yılları arasında toplamda 2.537,03 ton CO<sub>2</sub>'dir. Osmangazi Belediyesi, merkez hizmet binasından 4 yılda atmosfere saldırdığı karbon miktarının yaklaşık 2,9 katını fidan dikim kampanyası sayesinde 1 yılda atmosferden çekmektedir. Dikilen ağaçlar karbonu atmosferden temizlemekle kalmayıp, ayrıca oksijen üretmekte ve toz emilimi gerçekleştirmektedir. 40 kişinin 1 saatte havaya verdiği karbondioksiti yetişkin bir çam ağacı 1 saatte oksijene dönüştürür bilgisiyle (URL-2) hareket edilirse;



1.000.000 ağaç x 40 kişi/sa CO<sub>2</sub> = 40.000.000 kişi/sa CO<sub>2</sub> bulunur.

Bu sonuç göstermektedir ki; 1.000.000 adet çam ağacı, 40.000.000 kişinin 1 saatte havaya verdiği karbondioksiti, 1 saatte oksijene dönüştürür. Osmangazi Belediyesi bu projesi ile Bursa'ya, kent nüfusunun ortalama 13 katı kadar kişinin O<sub>2</sub> ihtiyacını bir saatte karşılayacak kadar bir oksijen kaynağını kazandırmış demektir.

### 4.Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye'nin nüfus bakımından en büyük 4. ili konumunda olan Bursa'nın nüfus bakımından en büyük ilçesi olan Osmangazi'ye hizmet eden Osmangazi Belediyesi'nin en çok enerji harcayan ve dolayısıyla karbon salınımı en yüksek olduğu bilinen merkez hizmet binasına ait karbon salınım miktarları belirlenmiş ve güncel personel sayısı esas alınarak karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Hizmet binası, gerek bünyesinde çalışan personellerin sayıca fazla oluşu, gerekse kentin merkezi olarak görülen bir konumda yer alması sebebiyle çevreye olan etkileri bakımından göz ardı edilmemesi gereken bir yapıdır.

Yapılan hesaplamalar göstermiştir ki, 2014 yılından 2017 yılına kadar enerji tüketim miktarları büyük çoğunlukla artmış ve dolayısıyla binanın Bursa atmosferine saldığı karbondioksit miktarı da giderek artış göstermiştir.

Kişi sayısı üzerinden yapılan karbon ayak izi çalışması sonucunda; 2014 yılında 1,60 ton CO<sub>2</sub>/kişi-yıl ve 0,386 TEP/kişi-yıl olan karbon ayak izi değerinin, 2017 yılına gelindiğinde 1,73 CO<sub>2</sub>/kişi-yıl ve 0,421 TEP/kişi-yıl'a yükseldiği görülmektedir. Buna göre; 4 yıllık süreç sonunda atmosfere salınan karbon miktarı kişi başına; ton CO<sub>2</sub> cinsinden %8,12, TEP cinsinden ise %9,07 oranında artmıştır.

2014-2017 yılları arasında merkez hizmet binası karbondioksit salınım miktarı toplamda 2.537,03 ton CO<sub>2</sub>'dir. 1.000.000 Fidan Dikim Kampanyası kapsamında dikilen fidanların atmosferden 1 yılda çektiği karbon miktarı 7.275 ton CO<sub>2</sub> olduğuna göre; merkez hizmet binasından 2014-2017 yılları arasındaki 4 yıllık süreçte gerçekleşen karbon salınım miktarının yaklaşık 2,9 katı, dikilen fidanlar sayesinde yalnızca 1 yılda tutulmaktadır. Bu bağlamda kampanya kapsamında dikilen ağaçların depoladığı ve atmosferimizden eksilttiği karbon miktarı ve ürettiği oksijen miktarı ile sağladığı fayda somut bir şekilde ortaya konulmuştur. Çevreye olan yararlarından ötürü, yerel yönetimler tarafından bu tarz çevreci projeler gelenek haline getirilmeli ve çevre bilinci tüm vatandaşlara kazandırılmalıdır.

Değişen iklim koşulları ve buna bağlı olarak artan ısıtma, soğutma kaynaklı enerji kullanımları karbon salınım miktarlarının artmasında büyük bir etken olmakla birlikte, belediye personellerinin gereksiz enerji kullanımlarını azaltmaları gerekliliği de göz ardı edilmemelidir. Değişen iklim koşullarına uyum sağlamak ve bu amaçla enerji kullanımlarında azaltıma gitmek amacıyla belediye çalışanları tarafından iklim değişikliğine uyum bilinci geliştirilmelidir. Bu amaçla gerek belediye yönetimi gerekse belediye çalışanları tarafından yapılması gerekenler şu şekilde örneklendirilebilir; geri dönüşüm bilincini artırmak, elektronik dökümantasyon kullanmak, suyu boşa akıtmamak, gri su sistemleri ile suyun tekrar kullanılmasını sağlamak, ısıtma ve soğutma sarfiyatını azaltmak, mevsimine göre daha kalın/ince giyinmek, kullanılmış mobilyaları değerlendirmek, aydınlatmada tasarruflu ampuller kullanmak, hareket algılamalı aydınlatma sistemlerini kullanmak, cihazları kullandıktan sonra kapatmak, telekonferans görüşmeleri ile ulaşım kaynaklı yakıt tüketimini azaltmak, yakıt tercihinin düşük emisyonlu olanlardan yana kullanmak, ofislerde doğal kaynaklı ofis malzemeleri kullanmak, binalardayalıtım sağlayarak enerji kaybını önlemek, yenilenebilir enerji teknolojilerini kullanmak, karbon azaltım kredisi almak. Bu önerilerin hayata geçirilmesi halinde hem belediye bütçesinde enerji ve yakıt harcamalarını ayrılan tutar azalacak ve dolayısıyla ülke ekonomisine katkı sağlanacak, hem de daha önemlisi Bursa gibi metropoliten bir kentin merkez ilçesi olan Osmangazi'nin yerel yönetimi olan Osmangazi Belediyesi çevreci bakış açısını benimseyerek küresel ısınma ve iklim değişikliği konularında bilinçli hareket ettiğini kanıtlayacaktır. Böylelikle şehrin hava kalitesi artacak ve yeşili, doğal kaynakları, tarihi yapıları ile zengin olan Bursa ve içinde Osmangazi halkı bu çalışmalardan örnek alıp daha kaliteli ve sağlıklı bir yaşam adına iklim değişikliğine uygun yaşam şekilleri benimseyecektir.

### 5.Kaynaklar

- Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, (2017), Bursa Sürdürülebilir Enerji ve İklim Değişikliği Uyum Planı (BUSECAP), Bursa.
- Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, (2017), Küresel İklim Değişikliği Raporu, Bursa.
- Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, Uludağ Üniversitesi, (2016), "Bursa İlçeleri Çevre Sorunlarını Belirliyor" Projesi Sonuç Raporu, Bursa.
- Durkaya, B., Bekci, B., Varol, T. (2015), Bartın Kent Ormanının Karbon Tutma, Oksijen Üretimi ve Rekreatiyonel Açından Değerlendirilmesi, Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bartın, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Rize.
- Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (2006), IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, Hayama, Japan.

- Moradi, M., Tamer, N.G. (2017), Bursa Örneğinde Kentsel Büyümenin Yerel İklim Değişikliği Üzerine Etkisi Araştırması, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara.
- Osmangazi Belediyesi (2017), 2017-2019 Revize Stratejik Planı, Bursa.
- URL1, Çam Hotel internet sitesi, çam ağacı çeşitleri ve türleri, Türkiye (2018), <http://www.camhotel.com.tr/blog/cam-agaci-cesitleri-turleri/>
- URL2, Ege Orman Vakfı, Türkiye (2018), <https://www.egeorman.org.tr/ormanlarin-faydalari.aspx>
- URL3, Osmangazi Belediyesi resmi internet sitesi, Türkiye (2018), <http://www.osmangazi.bel.tr/tr/osmangazi/ilcemiz-hakkinda>
- URL4, Şehir rehberi, bilgi kaynağı, Türkiye (2018), <http://www.e-sehir.com/turkiye-haritasi/bursa-osmangazi-ilce.html>
- URL5, toprakbilgi.com-bilgi merkezi, Türkiye (2018), <http://forum.toprakbilgi.com/bahce-bitkileri-meyvacilik-kuruyemis/fistik-cami-yetistiriciligi-ve-cam-fistigi/>
- URL6, Türkiye nüfusu il ve ilçelere göre nüfus bilgileri, Türkiye (2018), <https://www.nufusu.com/il/bursa-nufusu>

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Kuraklık analizlerinde YSA kullanılabilir bir yöntemdir.
- YSA 1, 3 ve 12 aylık kuraklık analizleri için sırasıyla OKH değerlerinin  $1.6189 \times 10^{-5}$ ,  $1.1699 \times 10^{-5}$  ve  $7.3229 \times 10^{-7}$  bulunması, modelin performansını doğrulamaktadır.
- YSA modeli SYİ analizinin davranışını etkili bir şekilde öngörebilmiştir.

### Yazışma yazarı:

Fatih TUFANER,  
tufaner@adiyaman.edu.tr

### Referans:

Tufaner, F., Dabanlı, İ., Özbeyaz, A., (2019), Kuraklığın Yapay Sinir Ağları ile Analizi: Adıyaman Örneği, İklim Değişikliği ve Çevre, 4, (1) 25–32

Makale Gönderimi : 19 OCAK 2019  
Online Kabul : 1 MART 2019  
Online Basım : 25 MART 2019

\*Bu çalışma SUÇEV Uluslararası Su ve Çevre Kongresinde (22-24 Mart 2018) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

## Kuraklığın Yapay Sinir Ağları ile Analizi: Adıyaman Örneği\*

Fatih TUFANER<sup>1</sup>, İsmail DABANLI<sup>2</sup>, Abdurrahman ÖZBEYAZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye.

<sup>2</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Beykoz, İstanbul, Türkiye.

<sup>3</sup>Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye.

**Özet** Kuraklığın analizi, kuraklık yönetimi için önemli bir bileşendir. Kuraklık genellikle su ihtiyacının karşılanamaması veya su kıtlığı olarak ortaya çıkmaktadır. Kuraklığa karşı önlem alabilmek ve kuraklık afetini yönetebilmek için kuraklık parametrelerinin iyi bilinmesi ve izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, toplumu yakından ilgilendiren kuraklığın incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Yapay Sinir Ağlarının (YSA) kuraklık analizinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca, kuraklık analizi standart yağış indeksi (SYİ) ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar yapay sinir ağları yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Özellikle son yıllarda Adıyaman'da dönemsel kuraklıklar yaşanmaktadır. Kuraklık analizi için Adıyaman meteoroloji merkez istasyonu verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada, sırasıyla determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama karesel hata (OKH) (0.9967, 0.9989, 0.9999 ve  $1.6189 \times 10^{-5}$ ,  $1.1699 \times 10^{-5}$ ,  $7.3229 \times 10^{-7}$ ) değerlerine göre YSA 1, YSA 3 ve YSA 12 tahmin sonuçlarının, SYİ 1, SYİ 3 ve SYİ 12 sonuçlarına oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, YSA modellemesinin SYİ analizinin davranışını etkili bir şekilde öngörebileceğini ve simüle edebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adıyaman, yağış, kuraklık, kuraklık analizi, yapay sinir ağları

## Analysis of Drought with Artificial Neural Networks: Adıyaman Example

**Abstract** Analysis of drought is an important component for drought management. Drought usually arises as a failure to meet water needs or water scarcity. Awareness and monitoring of drought parameters is very essential in order to take precautions against drought. In this study, it is aimed to examine the drought, which is closely related to the society. For this purpose, the applicability of Artificial Neural Networks (ANN) has been investigated in the analysis of drought. In addition, drought analysis is performed with Standard Precipitation Index (SPI) method and the obtained results are compared to ANN method. Especially in recent years periodic droughts were observed in Adıyaman. For this reason, Adıyaman meteorology central station data were used for drought analysis. In this study, ANN 1, ANN 3 and ANN 12 predicted results are very close to the SPI 1, SPI 3 and SPI 12 results with determination coefficient ( $R^2$ ) of 0.9967, 0.9989, 0.9999 and mean square error (MSE) of  $1.6189 \times 10^{-5}$ ,  $1.1699 \times 10^{-5}$ ,  $7.3229 \times 10^{-7}$ , respectively. The results showed that ANN modeling could effectively predict and simulate the behavior of SPI analysis.

**Keywords:** Adıyaman, precipitation, drought, drought analysis, artificial neural networks

### 1. Giriş

Kuraklık sadece hava durumu ile tanımlanabilen fiziksel bir olay değildir. Kuraklık, uzun süreli olarak su kıtlığının devamında hidrolojik, tarımsal, ekonomik ve sosyal zarara neden olabilen olağandışı susuz koşullar olarak tanımlanabilmektedir. Geçtiğimiz yüzyılda, Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığının  $0.76^\circ\text{C}$  civarında bir artış gösterdiği belirtilmiştir (Shah vd., 2015). Meteorolojik yağış verilerinin analizi kuraklığın izlenmesi ve takibi için oldukça önemlidir. Yağış, canlılığı yakından ilgilendiren suyun bugünkü ve gelecekteki durumu açısından devamlı dikkatle takip edilmesi gereken meteorolojik bir değişkendir. Yağışlar bölgenin coğrafik özelliklerinden ve diğer meteorolojik olaylardan etkilenir. Su kaynakları yönetimi, planlama ve uzun vadeli ekonomik ve sosyal planlama için kuraklık analizi önemlidir. Türkiye'de çeşitli amaçlara yönelik kullanımlarda teknik ve ekonomik anlamda tüketilebilecek yüzey ve

yeraltı suyu miktarının 112 km<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir. Ancak bu su potansiyelinin yıllık yaklaşık 44 km<sup>3</sup>'ü kullanıma alınabilmektedir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2014). Türkiye nüfusunun 82 milyon olduğu dikkate alındığında kişi başına yılda yaklaşık 1366 m<sup>3</sup> su düşmektedir. Özellikle kurak dönemlerde gerekli su ihtiyacının karşılanması konusunda sıkıntılarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle kuraklığın takibi ve su kaynaklarının planlanması hayati öneme sahiptir.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) McKee ve arkadaşları (1993) tarafından farklı zaman ölçeklerinde kuraklık takibi yani yağış açığını ölçmek için geliştirilmiştir. Medyan değerinin altındaki değerler negatif olarak kuraklığın durumunu, medyan değerinin üstündeki değerler ise pozitif olarak ıslak durumunu belirtmektedir. Sıfır değeri (medyan) normal koşulları temsil etmektedir. Günümüzde SYİ, kuraklık izleme için dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Logan vd., 2010). Tablo 1'de SYİ değerlerine göre kuraklıkların sınıflandırılması gösterilmiştir.

Tablo 1. SYİ metoduna göre gösterge değerleri ve sınıflandırma (McKee vd.,1993).

SYİ değerleri	Kuraklık kategorisi
≥ 2	Çok şiddetli yağışlı
1.50 ~ 1.99	Çok yağışlı
1.00 ~ 1.49	Orta şiddetli yağışlı
0.99 ~ 0	Normal
0 ~ -0.99	Normale yakın kuraklık
-1.00 ~ -1.49	Orta şiddetli kuraklık
-1.50 ~ -1.99	Şiddetli kuraklık
≤ -2	Çok şiddetli kuraklık

Kısa vadeli SYİ'ler, kurak alanlarda uygulandığında yanıltıcı olabilmektedir. Bu nedenle sağlıklı bir değerlendirme için en az 30 yıllık bir veri setine ihtiyaç duyulmaktadır (Kızılelma ve Karabulut, 2015; Saada ve Abu-Romman, 2017; Yetmen, 2013).

Yapay zekâ yöntemleri tüm dünyada neredeyse her alanda kullanılmaktadır. Yapay Sinir Ağları (YSA) birbirleriyle ilişkili olan ve aralarındaki ilişki tam olarak belirlenemeyen değişkenlerin modellenmesinde başarıyla kullanılan bir kara kutu modelidir. YSA farklı süreçlerde çok sayıda çalışmada meteorolojik olayların analizi, tasnifi ve tahmininde kullanılan bir araç olarak literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Birbirine ilişkili parametreler arasında çok büyük ve karmaşık veri kümelerini yönetme kabiliyeti YSA ile artmaktadır. Bu nedenle, kuraklık gibi karmaşık iklimsel durumların öngörülmesinde YSA'nın kullanılması aydınlatıcı çözümler üretebilmektedir (Deo ve Şahin, 2015). Son çalışmalar (Chattopadhyay, 2007; Masinde, 2014; Nash ve Sutcliffe, 1970; Wu vd., 2001) YSA modellerinin kuraklık tahmininde dikkate değer performans sergilediğini göstermektedir.

Bu çalışmada SYİ değerlerinin tahmininde YSA modellerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Adıyaman merkez meteoroloji istasyonunda SYİ ile yapılan kuraklık analizi YSA ile modellenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Adıyaman il merkezinde kurulu meteoroloji istasyonunda 1962-2017 yılları arasında ölçülmüş 56 yıla ait aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır. SYİ indeksi, bir istasyonda seçilmiş bir zaman dilimi içindeki yağış verileri ( $X_i$ ) ile ortalama yağış verisi ( $\bar{X}$ ) arasındaki farkın standart sapmaya  $\sigma$  bölünmesi ile normalleştirilerek elde edilmektedir. Bu ilişki yağış verisinin normal dağılım göstermesi halinde kullanılmaktadır. Ters durumlarında veri seti uygun bir dağılıma uydurularak bu dağılımdan gözlemlere karşılık gelen olasılıkların standart normal dağılımdaki karşılığı olan z-değerleri (SYİ) belirlenir. SYİ metodu, zaman ölçeğinde geniş bir uygulamaya sahip olduğu için kuraklığın kısa ve uzun dönem takibinde daha esnek bir yapıya sahiptir (Sattari vd., 2011). Bu çalışmada 1, 3 ve 12 aylık zaman ölçekleri için elde edilen yağış verilerine ait SYİ'ler YSA ile modellenmeye çalışılmıştır.

$$SYİ = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (1)$$

Bu çalışmada, yağış verileri ve yağışın gerçekleştiği ay YSA'da girdi verisi olarak ve SYİ 1, 3 ve 12 aylık kuraklık analizi sonuçları çıktı verisi olarak kullanılmıştır. Yağış girdi verileri öncelikle SYİ analizinde olduğu gibi 1, 3 ve 12 ay öncesinin ortalaması olarak düzenlemiştir. Uygulamada kullanılan tüm veriler 0.2 ile 0.8 arasına eşitlik 2 kullanılarak normalize edilmiştir.

$$X_n = \left( \frac{X_i - X_{min}}{X_{maks} - X_{min}} \right) \times 0.6 + 0.2 \quad (2)$$

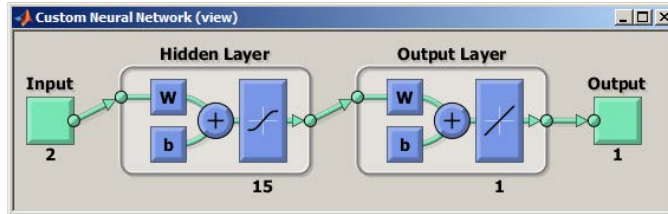
Verilerin modelleme çalışmaları MATLAB yapay sinir ağları araç kutusu ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamada 1962-2017 arası yağış verileri ve SYİ analiz sonuçlarından elde edilen 1, 3 ve 12 ay için ayrı ayrı sırasıyla 672, 671 ve 661 adet SYİ veri setleri kullanılmıştır. Bu seriler MATLAB aracılığıyla eğitim, validasyon ve test verileri olarak sırasıyla %70, %15 ve %15 oranında rasgele olacak şekilde ayrılmıştır. Uygun bir ANN modelinin tasarımında optimum gizli katman ve her gizli katmandaki optimum nöron sayısını bulmak için sistematik bir prosedür gerekmektedir. Gizli katmanlardaki optimum nöron sayısı, bir istatistiksel doğruluk parametresinin en aza indirilmesiyle belirlenir (Moya-Rico vd., 2019). Burada dikkate alınan



istatistiksel parametre ortalama karesel hatadır (OKH). Yapay sinir ağı çıkışı ile SYİ 1, 3 ve 12 ay verileri kıyaslanarak OKH değerleri hesaplanmıştır. Modelleme çalışmalarında farklı fonksiyon ve algoritmalar denenmiş ve en iyi çalışan fonksiyonlar ve algoritma eşitlik 3'te verilen OKH denklemine göre belirlenmiştir.

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2 \quad (3)$$

Çalışmada MATLAB yazılım ortamında bulunan YSA araç kutusu ile veriler ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ağ tipi olarak ileri beslemeli geri yayılım algoritması, eğitim algoritması olarak *trainlm* (Levenberg-Marquardt backpropagation) algoritması kullanılmıştır. İleri beslemeli geriye yayılım sinir ağına girdi, gizli ve çıktı katmanı olmak üzere üç farklı katman bulunmaktadır. Gizli katmanda *tansig*, çıktı katmanında *purelin* fonksiyonu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan YSA mimarisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 YSA mimarisi

$$tansig(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (4)$$

$$purelin(x) = x \quad (5)$$

Normalize edilmiş her bir girdi değeri, rastgele atanan  $w$  (weight) ağırlıkları ile çarpılarak 15 ayrı gizli nöronda toplanmıştır. Daha sonra ise her bir nöronda ayrı ayrı rastgele atanan  $b$  (bias) ağırlıkları ile toplanmış ve çıktı değerler *tansig* fonksiyonunda hesaplanmıştır. Aynı şekilde gizli katmandaki 15 nöronda *tansig* fonksiyonundan çıkan değerler yine rastgele atanan  $w$  değerleri ile çarpılıp çıktı katmanında rastgele atanan  $b$  ağırlığı ile toplanarak *purelin* fonksiyonunda kullanılmıştır. Çıktı katmanında *purelin* fonksiyonunun sonucu istenilen değere ulaşmadığında hata değeri YSA sisteminde geri yayılarak istenilen hata değerine ya da iterasyona kadar eğitim gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, eğitimde girdi değerleri ile istenilen ya da ulaşılan en iyi çıktı değerleri elde edilene kadar  $w$  ve  $b$  değerleri ayarlanarak eğitim tamamlanmaktadır. Eğitimde ulaşılacak istenen hata değeri 0.001, iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir.

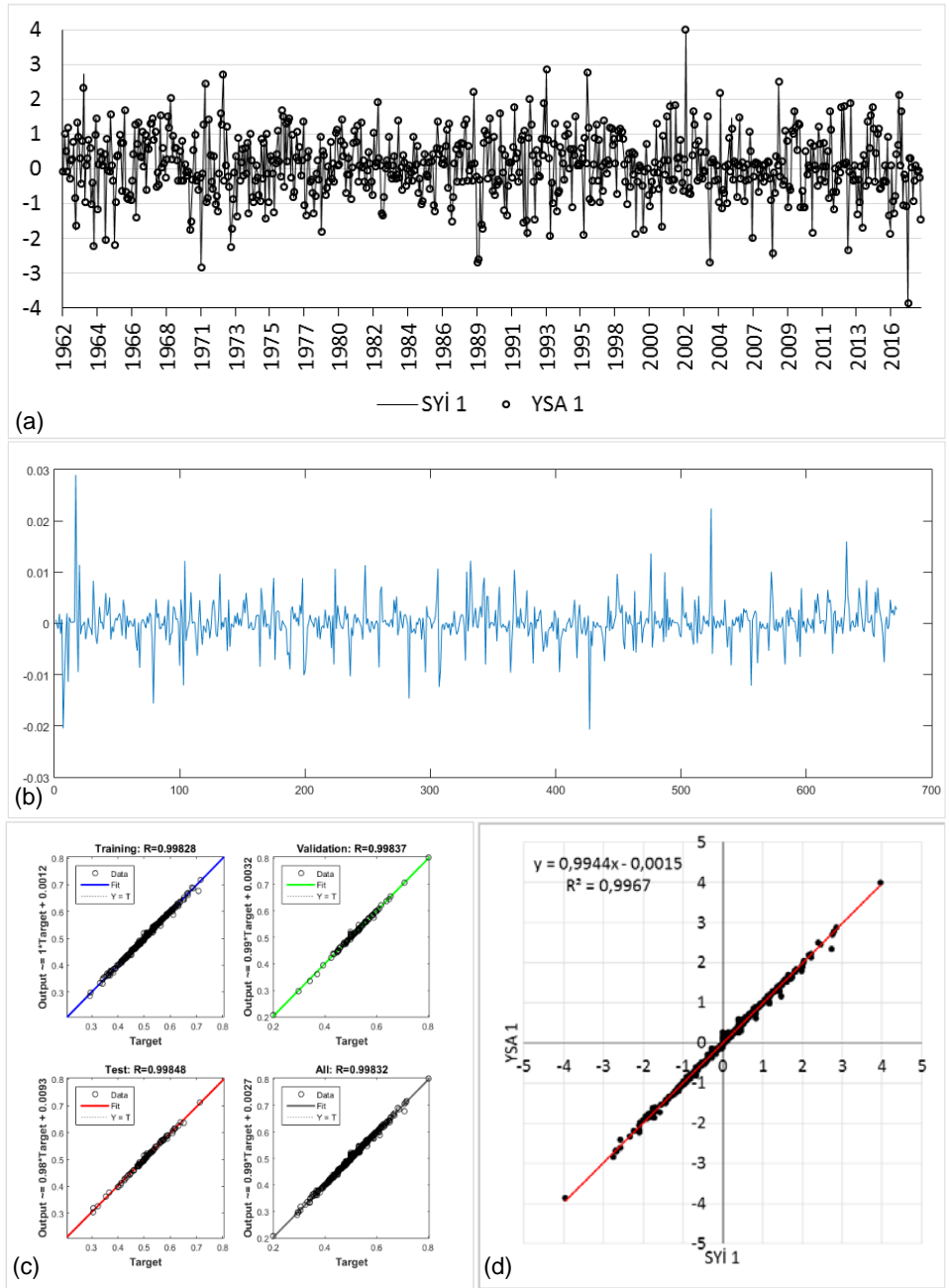
YSA modelinde kullanılan fonksiyonların çalışma aralığına göre veri seti normalize edildiğinden çıktı değerleri de bu normalizasyona göre çıkmaktadır bu nedenle çıktı değerleri aşağıdaki denkleme göre denormalize edilmiştir.

$$x_i = \frac{(X_n - 0.2) \times (X_{maks} - X_{min})}{0.6} + X_{min} \quad (7)$$

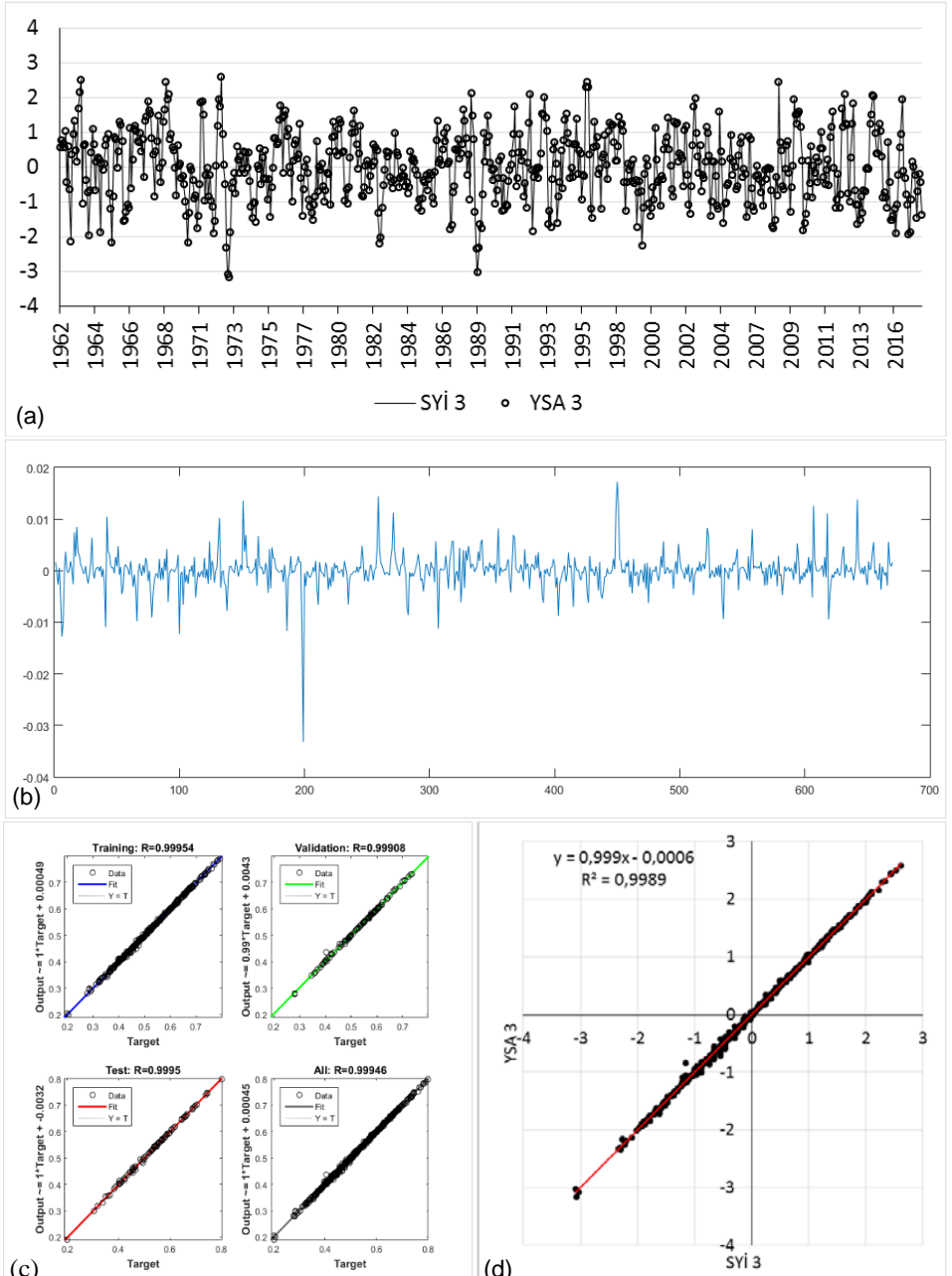
### 3. Bulgular ve Tartışma

SYİ değerleri 1, 3 ve 12 aylık zaman dilimleri esas alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen söz konusu SYİ değerleri gözlenmiştir. Aylık toplam yağış verileri ve yağışın gerçekleştiği ay değerleri kullanılarak aynı zaman dilimlerine ait SYİ değerleri YSA yöntemiyle tahmin edilmiştir. YSA modelinin oluşturulmasında farklı girdi hücreleri denenmiştir. Sadece yağış verileri model tasarımı için yeterli olmamıştır. Girdi verisi olarak yağış miktarı ile yağışın gerçekleştiği ay kullanıldığında, SYİ analizi yönteminin YSA ile tasarlanabildiği görülmüştür. 3 ve 12 ayda direkt elde edilen yağış verisi olarak SYİ kullanıldığında modelin performansı düşmüştür. Bu nedenle SYİ'de olduğu gibi girdi verileri kaç aylıkça o ayların ortalaması şeklinde modele girilmiştir. YSA'da gizli katmanda farklı nöron sayıları denenmiş ve OKH'nın en düşük değeri aldığı nöron sayısı modelin gizli katman nöron sayısı olarak belirlenmiştir. Gizli katmanda 1 nörondan 30 nörona kadar denemeler yapılmış ve gizli katmanda nöron sayısı 15 olarak seçilmesi durumunda en düşük OKH değerinin elde edildiği gözlenmiştir. SYİ 1'e göre oluşturulan model SYİ 3 ve SYİ 12 için kullanılmış ve son derece güzel sonuçlar elde edilmiştir. SYİ 1 - YSA 1, SYİ 3 - YSA 3 ve SYİ 12 - YSA 12 sonuçları arasındaki OKH değerleri sırasıyla  $1.6189 \times 10^{-5}$ ,  $1.1699 \times 10^{-5}$  ve  $7.3229 \times 10^{-7}$  olarak tespit edilmiştir. YSA 1'den YSA 12'ye doğru OKH değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durumun kısa dönemlerin (<12 ay) normal dağılıma uymamasından kaynaklı olarak YSA modeline de olumsuz yansıdığı düşünülmektedir. Şekil 2 (a), Şekil 3 (a) ve Şekil 4 (a)'da hesaplanan SYİ değerleri ile YSA modelinin çıktıları kıyaslanmıştır. Şekillerden de görüleceği üzere YSA modeli son derece doğru tahminler üretmiştir. Şekil 4 (b)'de YSA modelinin SYİ analizine göre hata değerleri incelendiğinde YSA 12'de hedeflenen öğrenme değerinin ( $\pm 0.001$ ) genel olarak sağlandığı ancak Şekil 2 (b) ve Şekil 3 (b) incelendiğinde YSA 1 ve YSA 3 sonuçlarında istenilen hedefe ( $\pm 0.001$ ) yaklaşıldığı ve genel olarak hata değerlerinin  $\pm 0.01$  aralığında olduğu görülmektedir. Her modelde olduğu gibi burada da aşırı değerlerde hata çubuğunun yayılımının bazen arttığı grafikler de görülmektedir. Ancak genel bir değerlendirme yapıldığında sonuçların oldukça memnun edici olduğu görülmektedir. Esasen bu çalışmada iki girdili ve tek çıktılı deterministik beyaz kutu

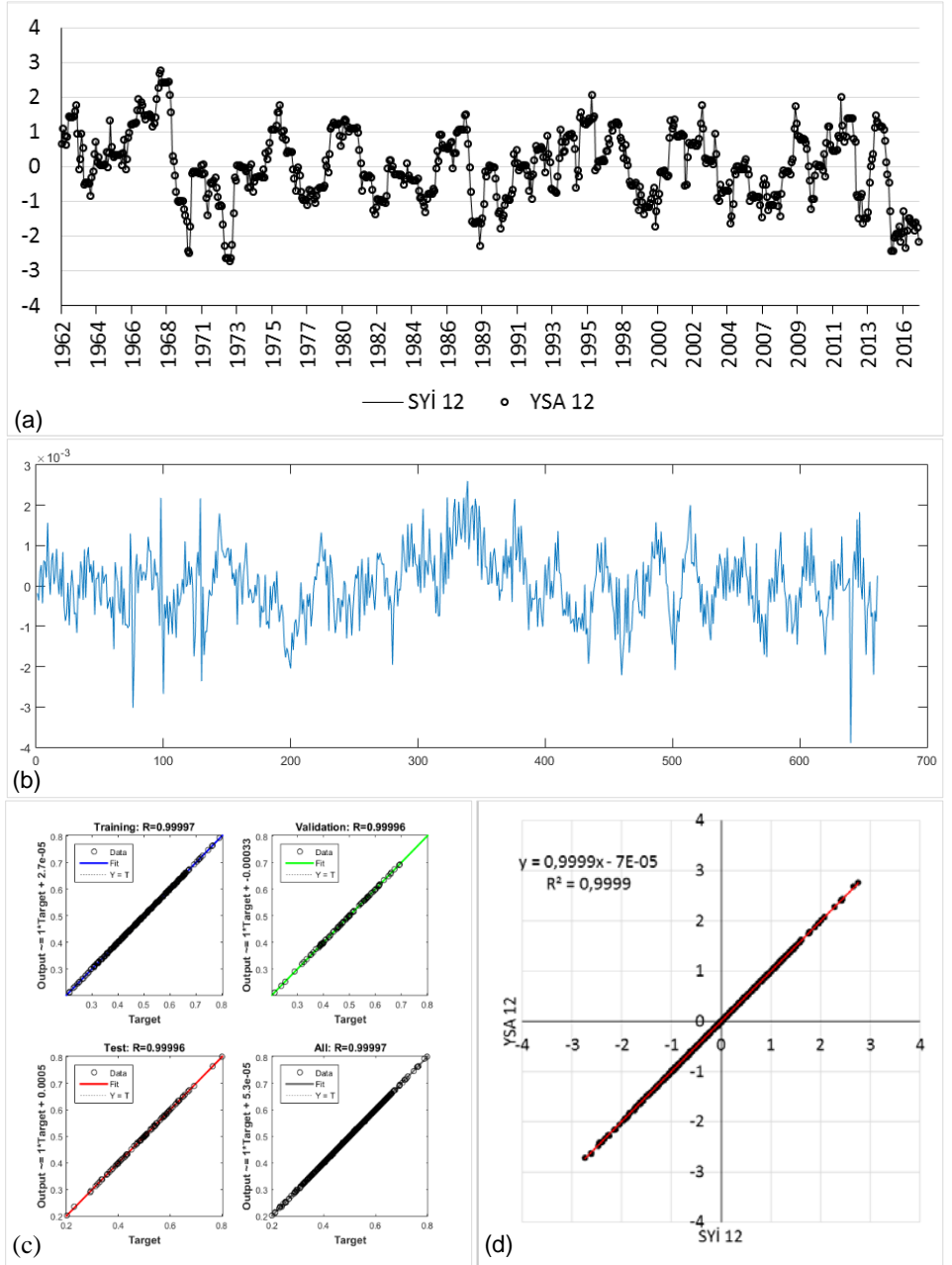
modeli olan SYİ, girdi ve çıktısı arasında kesin bir bağı görülmeyen stokastik bir model olan YSA kara kutu modeline dönüştürülmüştür.



Şekil 2. Hesaplanan SYİ 1 ay ve tahmin edilen YSA 1 ay değerlerinin karşılaştırılması (a), SYİ 1 için YSA 1'in hata dağılımı (b), YSA 1 ay eğitim-validasyon-test-bütün veri setleri için korelasyon (R) (c) ve SYİ 1 ay ile YSA 1 ay değerleri arasındaki determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) (d).



Şekil 3. Hesaplanan SYI 3 ay ve tahmin edilen YSA 3 ay değerlerinin karşılaştırılması (a), SYI 3 için YSA 3'ün hata dağılımı (b), YSA 3 ay eğitim-validasyon-test-bütün veri setleri için korelasyon (R) (c) ve SYI 3 ay ile YSA 3 ay değerleri arasındaki determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) (d).



Şekil 4. Hesaplanan SYI 12 ay ve tahmin edilen YSA 12 ay değerlerinin karşılaştırılması (a), SYI 12 için YSA 12'nin hata dağılımı (b), YSA 12 ay eğitim-validasyon-test-bütün veri setleri için korelasyon (R) (c) ve SYI 12 ay ile YSA 12 ay değerleri arasındaki determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) (d).

Modelleme çalışmasının istatistiksel olarak performansı incelendiğinde korelasyon katsayısı (R) ve determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerlerinin 1'e çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da elde edilen YSA modelinin oldukça doğru sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Modelleme çalışmasına ait R ve  $R^2$  değerleri Şekil 2 (c) - (d), Şekil 3 (c) - (d) ve Şekil 4 (c) - (d) üzerinde görülmektedir. Bu modelleme çalışmasında; validasyon ve test aşamalarında rasgele seçilen değerler arasındaki uyum, gelecek dönemlerin yağış değerlerinin kuraklık analizinde kullanılması modelin çalışma bölgesi için büyük bir kolaylık sağlayacağını göstermektedir. Modelin mahsuru sadece çalışma yapılan istasyon için kullanılabilir olmasıdır. Esasında bütün istasyonlar için kullanılabilir ancak farklı istasyonlardaki minimum ve maksimum yağış değerleri farklılık gösterebileceğinden denormalizasyon işleminde bu değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Yani model farklı istasyonlarda kullanılmadan önce minimum maksimum SYI değerlerinin bir kez SYI analizi yapılarak belirlenmesi gerekmektedir. Adıyaman merkez istasyonu SYI 1, 3 ve 12 ay için minimum-maksimum değerleri sırasıyla -3.97 - 3.96, -3.08 - 2.61 ve -2.74 - 2.76 olarak tespit edilmiştir.

Model için verilen normalizasyon-denormalizasyon formülleri, minimum-maksimum SYI değerleri ve Tablo 3'te verilen YSA modelinin ağırlıkları kullanılarak Adıyaman merkez istasyonu için 1, 3 ve 12 aylık SYI kuraklık analizi hesap makinesi, excel ya da matlab üzerinde kolaylıkla gerçekleştirilebilir.



Tablo 3. Giriş katmanı ile gizli katmanlar arasındaki ve gizli katmanlar ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık ( $w$ ) ve bias ( $b$ ) değerleri.

Gizli Katman Nöronları (j)	Ağırlıklar				
	$w_{1j}$	$w_{2j}$	$b_j$	$w_{jk}$	$b_k$
1	-13,3864	-2,6864	16,0852	3,8091	
2	6,6898	0,18379	-3,0556	-8,4081	
3	5,8765	-26,4808	-27,9388	-0,071189	
4	27,9436	2,4979	-24,1205	-2,8725	
5	25,043	2,9205	-16,2081	-2,9664	
6	6,4182	-2,7912	-3,6907	-3,6976	
7	-1,7188	-0,044627	0,93359	-25,8886	
8	0,57422	-6,2906	-5,1942	-0,11277	-1,4658
9	12,6236	-0,097597	6,4336	-2,9616	
10	6,1818	-0,010464	3,459	7,6172	
11	-1,6774	0,080565	-1,1839	13,6536	
12	0,66909	-1,1294	1,0772	1,4554	
13	-0,28714	-16,5858	-18,3165	-4,5258	
14	-1,3264	1,6516	-1,8204	0,53702	
15	10,4462	0,14934	9,8546	2,1626	

## 4. Sonuç

YSA 1, 3 ve 12 aylık kuraklık analizleri için sırasıyla OKH değerlerinin  $1.6189 \times 10^{-5}$ ,  $1.1699 \times 10^{-5}$  ve  $7.3229 \times 10^{-7}$  bulunması bu yöntemin doğruluğunu göstermektedir. Diğer yandan, YSA modelinde istenilen eğitim seviyesine ulaşılarak tahmin edilen değerlerin çok düşük hatalara sahip olması nedeniyle 1'e çok yakın  $R^2$  değerlerinin elde edilmesi modelin performansını doğrulamaktadır. Bununla birlikte elde edilen sonuçlar, YSA modelinin yüksek esneklik ve doğrulukta taklit ve tahmini için güçlü bir araç olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Yağış ve yağışın gerçekleştiği ay verileri, kuraklık analizinin YSA ile tahmini için yeterli olmaktadır. SYİ analizinde değerler gama dağılımına uydurulduktan sonra basit bir hesaplama gerçekleştirilebilmektedir. Palmer kuraklık göstergesi gibi daha fazla girdi ile çalışan diğer kuraklık analizlerinde de YSA'nın kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Kuraklık analizinde doğru, gerçek zamanlı kısa ve orta vadedeki aylık ve yıllık kuraklık analizi ve tahmin modellerini geliştirmek için YSA'nın etkili bir şekilde kullanılabilceği bu çalışma ile ortaya konmuştur.

## 5. Kaynaklar

- Chattopadhyay, S., (2007). Feed forward Artificial Neural Network model to predict the average summer-monsoon rainfall in India. *Acta Geophysica* 55, 369-382.
- Deo, R.C., Şahin, M., (2015). Application of the artificial neural network model for prediction of monthly standardized precipitation and evapotranspiration index using hydrometeorological parameters and climate indices in eastern Australia. *Atmospheric research* 161, 65-81.
- Kızılelma, M., Karabulut, M., (2015). Yozgat ve çevresinde kuraklık analizi. I. Uluslararası Bozok Sempozyumu, 5-7.
- Logan, K., Brunsell, N., Jones, A., Feddema, J., (2010). Assessing spatiotemporal variability of drought in the US central plains. *Journal of Arid Environments* 74, 247-255.
- Masinde, M., (2014). Artificial neural networks models for predicting effective drought index: factoring effects of rainfall variability. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 19, 1139-1162.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society Boston, MA, pp. 179-183.
- Moya-Rico, J. D., Molina, A. E., Belmonte, J. F., Tendero, J. C., & Almendros-Ibáñez, J. A. (2019). Characterization of a triple concentric-tube heat exchanger with corrugated tubes using Artificial Neural Networks (ANN). *Applied Thermal Engineering*, 147, 1036-1046.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *J Hydrol* 10, 282-290.
- Saada, N., Abu-Romman, A., (2017). Multi-site Modeling and Simulation of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Jordan. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 14, 83-91.
- Sattari, M.T., Yürekli, K., Ünlükara, A., (2011). Karaman İlinde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı Kullanılarak Kuraklığın Tahmini. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4 (1): 7-13.

- Shah, R., Bharadiya, N., Manekar, V., (2015). Drought index computation using standardized precipitation index (SPI) method for Surat District, Gujarat. Aquatic Procedia 4, 1243-1249.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı, (2014). Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018, Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği T.C. Kalkınma Bakanlığı Özel İhtisas Komisyonu Raporu. [http://tarim.kalkinma.gov.tr/wp-content/uploads/2014/12/Su\\_Kaynaklari\\_Yonetimi\\_ve\\_Guvenligi\\_oik.pdf](http://tarim.kalkinma.gov.tr/wp-content/uploads/2014/12/Su_Kaynaklari_Yonetimi_ve_Guvenligi_oik.pdf) Erişim Tarihi: 27.02.2019
- Wu, X., Hongxing, C., Flitman, A., Fengying, W., Guolin, F., (2001). Forecasting monsoon precipitation using artificial neural networks. Adv. Atmos. Sci 18, 950-958.
- Yetmen, H., (2013). Van Gölü Havzası'nın Kuraklık Analizi. 21. Yüzyılda Eğitim Ve Toplum Eğitim Bilimleri ve Sosyal Araştırmalar Dergisi 2.5.

#### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Geri dönüşüm materyallerinin sağlanması ile plastik, kâğıt ve cam atıklarının sırasıyla %26, %37, %23 oranında, bilgilendirme çalışmaları sonrasında ise sırasıyla %69, %75 ve %26 oranında toplandığı tespit edilmiştir.
- Geri dönüşümden önce israfsızlığın üzerinde durulması gerekmektedir.
- Geri dönüşümde farkındalık çalışmalarının, geri dönüşüm materyallerini bulundurmaya kadar önemli olduğu görülmüştür.

#### Yazıya yazarı:

Fatih TUFANER,  
ftufaner@adiyaman.edu.tr

#### Referans:

Tufaner, F., (2019), Geri Dönüşebilir Atıkların Toplanması Konusunda Yapılan Bilgilendirme Çalışmalarının Toplama Verimine Katkısının Araştırılması, İklim Değişikliği ve Çevre, 4, (1) 33-40

Makale Gönderimi : 20 OCAK 2019  
Online Kabul : 1 MART 2019  
Online Basım : 25 MART 2019

\*Bu çalışma Çukurova I. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresinde (13-16 Aralık 2018) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

## Gerideönüşebilir Atıkların Toplanması Konusunda Yapılan Bilgilendirme Çalışmalarının Toplama Verimine Katkısının Araştırılması\*

Fatih TUFANER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye.

**Özet** İnsanların refah düzeylerinin yükselmesi ile beraber gerideönüşebilir atık miktarı da artmıştır. Günümüzde insanlarda farkındalığın artırılması gerideönüşebilir atıkların kaynağında ayrı toplanabilmesi için oldukça önemlidir. Özellikle geleceğin sahibi öğrencilerin farkındalığının artırılması, gerideönüşüm faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından önemli bir adım olarak görülmektedir. Bu çalışmada Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi pilot çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Fakültede öğrencilerin kolay erişebileceği noktalara gerideönüşüm kutuları yerleştirilmiştir. Çalışma süresince günlük çıkan atık miktarları gözlemlenerek bilgilendirme çalışmaları öncesi ve sonrasında toplanan atık miktarları karşılaştırılmıştır. Bilgilendirme çalışmaları öncesinde fakülte içerisine gerideönüşüm kutularının yerleştirilmesi ile beraber plastik, kâğıt ve cam atıklarının sırasıyla %26, %37, %23 oranında toplandığı görülmüştür. Bilgilendirme çalışması sonrasında bu oranların sırasıyla %69, %75 ve %26'ya yükseldiği tespit edilmiştir. Bu veriler bilgilendirme çalışmalarının gerideönüşüm kutularının bulundurulması kadar önemli olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gerideönüşüm, ayrı toplama, farkındalık, Adıyaman Üniversitesi

## Investigation of the Effects of Informative Activities on Collection Efficiency of Recyclable Wastes

**Abstract** The amount of recyclable waste has increased with the improvement in the welfare of people. Nowadays, it is very important to raise awareness of people in order to collect recyclable wastes separately at the source. Increasing awareness of the students who are the owners of the future is seen as an important step in terms of sustainability of recycling activities. In this study, Adıyaman University Engineering Faculty was selected as pilot study region. Recycling bins are placed in the faculty where the students can reach easily. During the study, daily amount of waste was observed and the amount of waste collected before and after informative activities was compared. With the introduction of recycling bins into the faculty prior to the informative activities, it was observed that plastic, paper and glass wastes were collected at 26%, 37% and 23%, respectively. After the informative activities, it was determined that these rates increased to 69%, 75% and 26% respectively. According to these data, it has been shown that informative activities are as important as having recycling bins.

**Keywords:** Recycling, separate collection, awareness, Adıyaman University

### 1. Giriş

Dünyadaki doğal kaynaklar nüfusun hızlı artışıyla beraber bilinçsiz ve aşırı tüketilmektedir. Doğal kaynakların ham madde üretiminde bu şekilde bilinçsiz kullanımı gelecek nesillerin de hakkı olan bu kaynakları yok etmektedir (Hanay ve Koçer, 2006). Avrupa Birliği, atık çerçeve direktifi (2008/98/EC) atık yönetimi stratejileri çerçevesinde öncelikle atık oluşumunu önleme, ardından yeniden kullanımı ve sonra gerideönüşüm şeklinde bir öncelik sıralaması belirlemiştir (EC, 2010). Ülkemizde de Avrupa Birliği mevzuatına uyum çerçevesinde hazırlanan Atık Yönetimi Yönetmeliğinde (RG: 02.04.2015 – 29314) bu sıralama özellikle vurgulanmaktadır. Atık oluşumunun azaltılması, atıkların bertarafıyla ilgili çevresel ve ekonomik maliyetleri azaltmanın en kestirme ve kolay yoludur. Bu nedenle, günümüzde birçok ulusal hükümet için bu konu bir öncelik haline gelmiştir (Barr vd., 2001; Beaumont ve Tinch, 2004). Gerideönüşüm doğal kaynakların korunması ve verimli kullanılması konusunda son derece önemli bir süreçtir (Güner vd., 2004). Gerideönüşüm toplanmadığı takdirde çöp olarak atılacak ve yeni ürünlere dönüştürülebilecek malzemelerin toplanması ve işlenmesi süreci olarak tanımlanmıştır (EPA, 2017). Bu süreç, kirliliği önlemek, enerji tasarrufu sağlamak ve doğal kaynakları korumak için yaygın ve etkili bir yol olarak görülmektedir (Varotto ve Spagnoli, 2017). Ayrıca gerideönüşüm, atık azaltılması konusunda

da önemli bir yere sahiptir (Gu vd., 2018). Dünyanın dört bir yanındaki devletler ve çevre organizasyonları, geri dönüşüm faaliyetlerini artırmak ve tanıtmak için önemli kaynaklar harcamışlardır ve daha da önemlisi özellikle halkın geri dönüşüm çalışmalarına katılması için teşvik edici faaliyetler gerçekleştirmişlerdir (Ma vd., 2019). Türkiye'de de atık oluşumunu azaltmak için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 23 Ekim 2018 tarihinde Sıfır Atık Yönetmeliği Taslağını yayımlayarak görüşe açmıştır. Bu Yönetmelik ile kaynakların verimli kullanılması, yeniden kullanıma öncelik verilmesi, atık oluşumunun önlenmesi, aksi durumda ise atık oluşumunun en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte, etkin toplama sisteminin kurulup atıkların kaynağında ayrı toplanarak geri dönüşümünün ve geri kazanımının sağlanması için etkin bir sıfır atık yönetim sisteminin kurulması hedeflenmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018). Bu kapsamda, Türkiye'de çevrenin korunması, kaynak verimliliğinin artırılması ve plastik poşet kullanımının azaltılması amacıyla 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren uygulanmak üzere plastik poşetlerin ücretlendirilmesine başlanılmıştır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

Bazı çalışmalarda hangi etkenlerin geri dönüşüm faaliyetlerine katılımı artırdığı konusu araştırılmıştır (Troschinetz ve Mihelcic, 2009; Varotto ve Spagnoli, 2017). Bu çalışmalarda geri dönüşüm alışkanlıkları üzerinde tutum ve davranışlar, gelir, eğitim düzeyi ve meslek gibi diğer faktörlerin önemli etkilerinin olduğu ifade edilmiştir. Toplumda geri dönüşüm ile alakalı yapılan bilgilendirme aktivitelerinin geri dönüşüme en fazla katkıyı sağladığı belirtilmiştir (Tonglet vd., 2004). Ekonomik durum ve yaşam koşulları insanların geri dönüşüm sürecine katılma konusundaki isteklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Dwivedy ve Mittal, 2013; Wang vd., 2011). Ayrıca, geri dönüşüm için kurulan bir alt yapının ve geri dönüşüm yönetim sistemlerinin olması, geri dönüşüm faaliyetlerine katılma isteğini canlandıran en temel faktörlerdir (An vd., 2015; Wang vd., 2011). Son çalışmalar, atıkların iyi yönetilmesi durumunda bir kaynak olabileceği aksi takdirde ise çevresel bir risk olabileceğinin üzerinde durarak hem ekonomik hem de sosyal kalkınma açısından atık yönetiminin önemini vurgulamaktadır (Pires vd., 2011; Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012; Rhyner vd., 2017). Gündüzalp ve Güven (2016) çalışmalarında atık yönetimi ve geri dönüşüme dikkat çekmeye çalışmışlar ve atık yönetiminde enerji, çevre koruma, kaynakların korunması, verimlilik artışı, istihdam gibi konularında dikkate alınarak atık oluşumu, toplama, işleme ve uzaklaştırma gibi temel unsurların değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Araştırmalardan elde edilen bilgilere göre, politika yapımcılar halkın geri dönüşüm faaliyetlerine katılmalarını artırmak, halkı bilgilendirmek ve ikna etmek konularında faaliyetler yürütmektedirler. Bu faaliyetleri yönlendiren temel varsayım, geri dönüşümün çevreye fayda vereceği olgusudur. Bununla birlikte, potansiyel olumsuz sonuçlarının farkına varmadan yönetimlerin geri dönüşümün faydalarını en üst düzeye çıkarmaları mümkün değildir (Ma vd., 2019). Bu nedenle, geri dönüşüm bilgilendirme çalışmalarında atık azaltılmasına gidilmesi ve yeniden kullanıma imkânlarının bireylere anlatılması oldukça önemlidir. Aksi takdirde çöpe gitmiyor yeniden ürüne dönüşüyor düşüncesinin rahatlığı ile iktisatlı olma duygusu azalarak insanlarda daha fazla atma isteği oluşabilmektedir.

Atık, sahip olunan kaynakların miktarı ile ihtiyaç duyulan miktar arasındaki fark olarak ifade edilmiştir. (Zhu vd., 2011). Atık, gerekenden daha fazla kaynak kullanımından (atılan artıklarla birlikte) veya kaynakların verimsiz kullanımından ortaya çıkmaktadır (Lin ve Chang, 2017). Günlük hayatta, çoğu birey kaynakları bilerek ya da bilmeyerek boşa harcar ve doğal kaynaklara zarar verir. Bundan dolayı savurgan tüketim ile ilgili duyguların azaltılması geri dönüşüm faaliyetlerinden önce gelen bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada özellikle savurganlık duygusunu baskılayacak ve iktisatlı olmaya teşvik edecek bildirimler öncelikle gerçeğe dönüştürülebilir temiz bir çevre ve gelecek nesillere temiz bir dünya bırakma çabası içerisinde ülke ekonomisine de katkı sağlayabilmesi açısından Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde geri dönüşüm alt yapısı sağlanarak bilgilendirme ve farkındalık çalışmalarının atık yönetimine katkısı araştırılmıştır.

## 2. Çalışma Alanı Materyal ve Metod

Adıyaman Üniversitesi kampüsü içerisinde iç ve dış ortamda geri dönüşüm kutuları, biriktirme ekipmanları, geri dönüşüm için ara istasyonlar pres makinası ile atıkların preslenerek biriktirildiği ana toplama istasyonu bulunmaktadır. Biriktirilen ve gruplarına ayrılan geri dönüşüm materyalleri bir tıra dolduracak miktara ulaştığında lisanslı geri dönüşüm firmalarına gönderilmektedir. Bu çalışma, yaklaşık 400 öğrencinin kayıtlı olduğu Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi pilot alan seçilerek gerçekleştirilmiştir. Pilot çalışma alanında günlük çıkan atık miktarları belirlenerek yapılan farkındalığı artırma çalışmalarının toplama verimi üzerine olan etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yapılan bilgilendirme çalışmalarının üniversite öğrencilerindeki farkındalığı artırması hedeflenmiştir. Plastik, kâğıt, cam ve pil atıklarını toplayabilmek için sırasıyla Şekil 1'de görülen mavi, yeşil, sarı ve kırmızı kutular 4'erli gruplar halinde kullanılmıştır. Toplamda 4 grup yani 16 adet geri dönüşüm kutusu kullanılmıştır. İki grup kutu fakülte içerisinde öğrencilerin kolaylıkla ulaşabileceği bina girişine ve diğer iki grup geri dönüşüm kutusu ise dersliklerin bulunduğu koridorlara yerleştirilmiştir. Ayrıca sınıflarda bulunan 16 adet çöp kovası çalışmada kullanılmıştır. Çalışma iki kademe 5+5 haftada (25'er iş günü) gerçekleştirilmiştir. Birinci bölümde geri dönüşüm kutuları yerleştirilmiş ancak herhangi bir bilgilendirme yapılmamıştır. İkinci bölümde ise bilgilendirme ve farkındalık çalışmaları yapılmıştır. Çalışmanın her iki kademesinde de gün boyunca geri dönüşüm kutularında ve diğer çöp kutularında biriken atıklar gün sonunda gruplarına ayrılarak tartılmıştır. Çalışmada kâğıtların ıslananları ve kirlenenleri ayrı tartılmıştır. Ayrıca plastik pet şişelerin içlerindeki içilmeyen sular boşaltılarak ayrıca tartılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan geri dönüşüm kutuları ve atık pil toplama kutusu

Bilgilendirme çalışmaları Mühendislik Fakültesi yemekhanesinde, dersliklerde ve fakülte koridorlarında sözlü olarak, küçük el kâğıtları ve duvar afişleri ile gerçekleştirilmiştir. Bilgilendirme çalışmalarında; sahip olunan materyallerin özenli ve iktisatlı kullanılması gerektiği, var olan kaynaklarımızın sonsuz değil sınırlı olduğunu bilerek kullanılması gerektiğini, israfın giderek arttığı ve bunun önüne geçilmesi gerektiği, atıkları birbirinden ayırarak geri dönüşüm kutularına atmak gerektiği, geri dönüşümün bize çevresel ve ekonomik olarak geri döneceğini ve bu şekilde de ülke ekonomisine önemli katkıların olacağı vurgulamaları yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Günlük hayatta en çok kullandığımız kâğıt-karton, cam, plastik, metal ve kompozit ambalajların kaynağında ayrı toplama çalışmalarında toplandığı ve değerlendirildiği görülmüştür (Han, 2008). Bilgilendirme ve farkındalık çalışmalarının geri dönüşebilir atıkların toplama verimine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada 25'er günlük iki kademedeki geri dönüşüm ve çöp kutularında toplanan atıkların gram olarak miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında toplanan plastik kâğıt, cam ve pil miktarları bilgilendirme öncesi ve sonrasında sırasıyla 14690, 23310, 3435, 1295 ve 12122, 21268, 4635, 178 gr olarak ölçülmüştür. Çalışmada toplanan atık miktarlarının büyükten küçüğe doğru sıralanışı kâğıt, plastik, cam ve pil şeklinde olmuştur. Çalışmanın 1. kademesinde günlük yaklaşık ortalama 3,4 kg katı atık 2. kademesinde ise yaklaşık ortalama 4 kg katı atık toplanmıştır. Demiraslan vd. (2017) Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesinin güz dönemi katı atık karakterizasyonunu incelemişler ve organik madde, kirlenmiş, ıslanmış kâğıtlar vb., kâğıt, plastik, cam, metal ve tekstil atıklarının sırasıyla yaklaşık olarak %42.77, %37.79, %7.23, %6.19, %4.37, %0.39 ve %1.09 oranında olduğunu belirlemişlerdir.

Çalışmada geri dönüşebilir metal atıkları değerlendirmeye alınacak miktarda olmadığı için bu atıklar diğer grubuna dâhil edilmiştir. Ancak daha sonra az miktarda da çıksa metal atıkları ayrılarak üniversite kampüs alanı içerisinde bulunan ilgili metal atıkları bölümüne gönderilmiştir. Çalışmanın başlangıcında geri dönüşüm kutuları normal çöp kutuları gibi kullanılmakta iken bilgilendirme çalışmaları ile geri dönüşebilir atıkların ayrı toplanması hakkında farkındalığın önemli ölçüde arttırıldığı gözlemlenmiştir. Huang vd. (2018) bire bir güler yüzlü yapılan sosyal bilgilendirme faaliyetlerinin geri dönüşümü nasıl etkilediğini araştırdıkları çalışmalarında farkındalığın düşük olması durumunda, farkındalığı artırıcı ve ikna edici olduğu, yeterli bir farkındalığın olması durumunda ise hatırlatıcı olmanın geri dönüşüme katılma isteğinde pozitif etki oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, yüz yüze yapılan sosyal bilgilendirme çalışmalarının teknoloji tabanlı alt yapılarının olması ve bilgi sunumunun keyifli hale getirilmesi gerektiğinin altını çizmişlerdir. Ancak, bütün çalışmalarda olduğu gibi burada da optimum bir iyileşme oranının olduğu görülmüştür. Yani normal olarak çalışmanın son gününe kadar istenmeyen olumsuzluklarla karşılaşmıştır. Atıkların geri dönüşüm kutularına rastgele olarak karışık atılması, yarısı içilmemiş çay bardaklarının atılması, kapağı açık halde içinde su bulunan pet şişelerin atılması ya da kirletici özelliğe sahip olan diğer atıkların atılması başlıca karşılaşılan olumsuz durumlardandır. Bilgilendirme çalışmalarında bu durumlara dikkat çekilmiş ve bu olumsuzlukların çalışma sonuna kadar önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

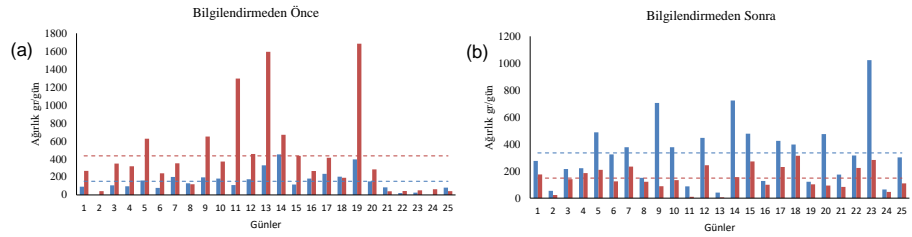


Tablo 1. Bilgilendirme çalışması öncesi ve sonrasında geri dönüşüm ve çöp kutularına atılan atıkların türlerine göre miktarları

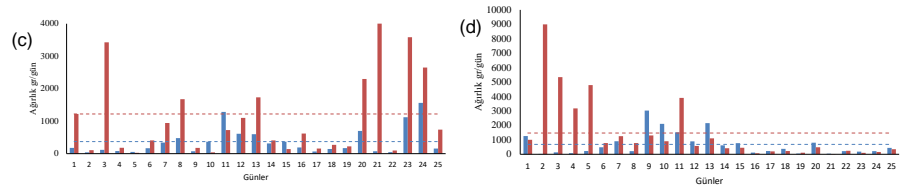
	Plastik atıkları (gr)	Pet şişelerden çıkan su (gr)	Kâğıt atıkları (gr)	Islak ve kirlenmiş kâğıt atıkları (gr)	Cam atıkları (gr)	Pil atıkları (gr)	Diğer atıklar (gr)
Bilgilendirmeden önce geri dönüşüm kutusu	3810	9348	8729	595	775	1149	1048
Bilgilendirmeden önce çöp kutusu	10880	27800	14581	1928	2660	147	1676
Bilgilendirmeden sonra geri dönüşüm kutusu	8404	16988	15837	1745	1214	147	935
Bilgilendirmeden sonra çöp kutusu	3718	36650	5431	3711	3421	31	1838

Plastik atıkları içerisinde pet su şişeleri, naylon poşetler ve değişik ambalaj kaplarının olduğu görülmüştür. Plastik atıklarında en fazla miktarı pet su şişelerinin oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ancak pet su şişeleri içerisindeki suların tamamıyla bitirilmediği hatta hiç kapağı açılmadan atılan pet şişelerin olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu durumun önemli bir problem olduğu düşünüldüğünden pet şişeler içerisindeki suların günlük ağırlıkları ve ağırlık ortalamaları verilmiştir. Şekil 2 (a) ve (b)'deki verilere göre bilgilendirme öncesinde geri dönüşüm kutularında günlük ortalama 152 gr plastik toplanırken çöp kutularında 435 gr plastik toplanmıştır. Bilgilendirme sonrasında ise günlük toplanan ortalama plastik miktarı geri dönüşüm kutuları ve çöp kutularında sırasıyla yaklaşık 336 gr ve 149 gr olarak tespit edilmiştir. Bilgilendirme çalışması öncesinde plastik atıkların yaklaşık %26'sının bilgilendirme çalışması sonrasında ise yaklaşık %69'unun geri dönüşüm kutularına atıldığı tespit edilmiştir.

### Plastik atıkları



### Pet şişelerden çıkan su miktarı

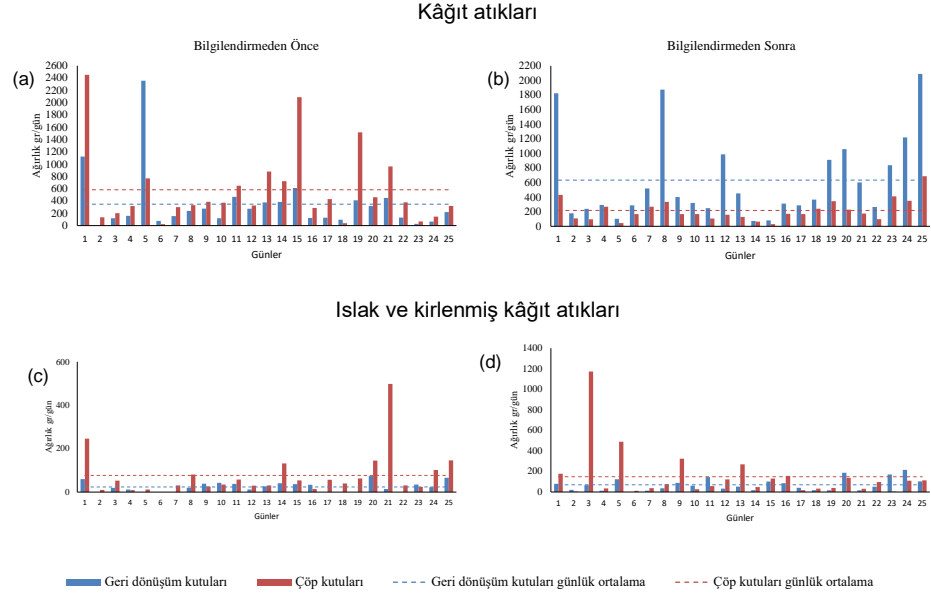


Şekil 2. Geri dönüşüm ve çöp kutularından bilgilendirme çalışması öncesi ve sonrasında toplanan plastik atıkları ve pet şişelerden çıkan suların günlük ağırlıkları ve ağırlık ortalamaları

Şekil 2 (c) ve (d) incelendiğinde bilgilendirme çalışması öncesinde pet şişelerden toplamda 37148 gr su çıkmıştır. Bilgilendirmenin öncesinde ve sonrasında sırasıyla suların %25'i ve %32'si geri dönüşüm kutularına atılan pet şişelerden çıkmıştır. Bilgilendirme çalışmaları geri dönüşüm kutularındaki toplanan plastik miktarını artırmış ancak pet şişelerden çıkan su miktarına olumlu etkileri olmamıştır. Çalışmada 5 farklı markaya ait 500 mL hacimli boş pet su şişeleri tartılmıştır. İki markanın boş pet şişesi yaklaşık 12 gr olarak ölçülürken 3 markanın boş pet şişe ağırlığı ise yaklaşık 13 gr olarak ölçülmüştür. Plastiklerin tamamının pet şişe olduğu kabulü ile tüm çalışma boyunca ortalama pet şişelerin yaklaşık %9'unun (45 ml) su ile dolu olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 3'te bilgilendirme çalışması öncesi ve sonrasında geri dönüşüm ve çöp kutularından toplanan kâğıt atıkları ve ıslanmış, kirlenmiş kâğıtların günlük ağırlıkları ve ağırlık ortalamaları verilmiştir. Araştırma çalışmasının bir eğitim kurumunda yapılmasından dolayı kâğıt atıkları en çok toplanan atık türü olmuştur. Han (2008) geri dönüşüm çalışmalarında toplanan ambalaj atıklarının çoğunluğunu kâğıt/karton ambalaj atıkları olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada toplanan kâğıt atıklarının müsvedde kâğıtlar, eski ders notları, ambalaj kâğıtları ve kâğıt bardaklardan oluştuğu tespit edilmiştir. Kâğıt bardaklar görünürlük açısından önemli bir hacmi oluşturmaktadır. Bu atıkların özellikle diğer kâğıtların

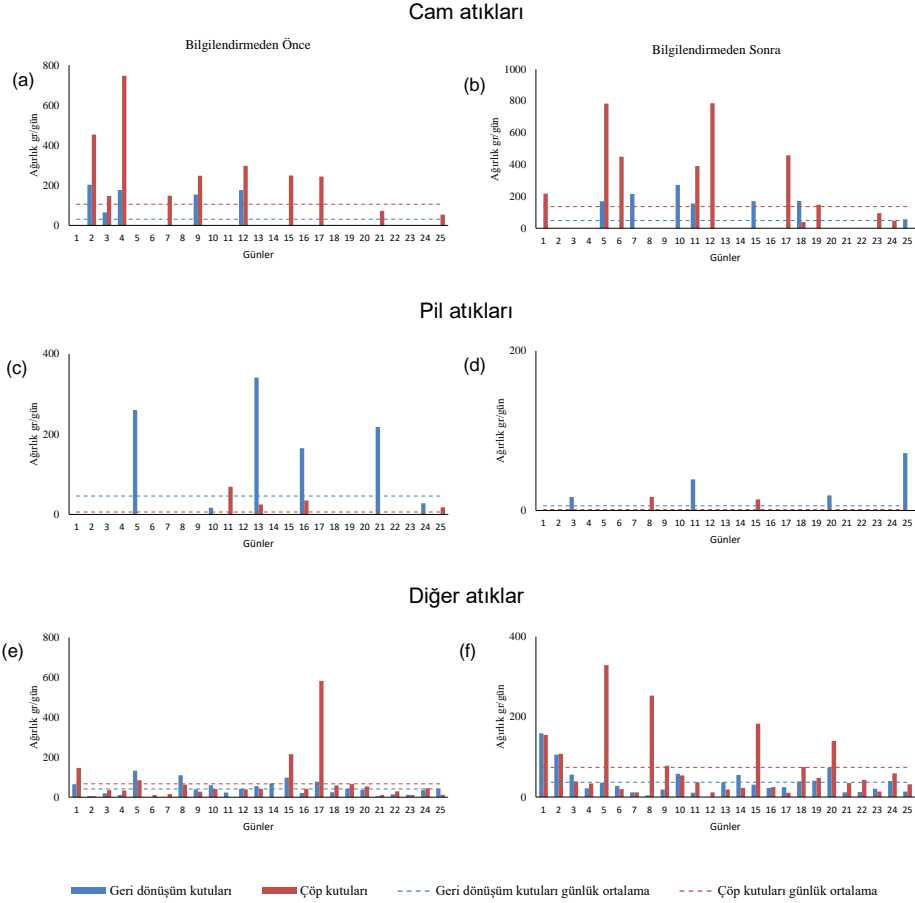
kirlenmesine ve ıslanmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Çay veya kahve içtikten sonra öğrenciler bardakların içinde kalanı dökecek bir yer bulamadıklarından ya da lavabolara dökmeye üşendiklerinden direk çöp kutularına ya da geri dönüşüm kutularına atmaktadırlar. Bu durum kâğıtların ıslanmasına ve kirlenmesine neden olarak geri dönüşüm sürecini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle çalışma boyunca kirlenmiş ve ıslanmış kâğıtlar ayrılarak miktarları belirlenmiştir. Bilgilendirme çalışması öncesinde tüm ıslanmış kâğıtların %24'ü, sonrasında ise %32'si geri dönüşüm kutularından çıkmıştır. Toplanan tüm kâğıtlar dikkate alındığında bilgilendirme öncesinde ve sonrasında sırasıyla yaklaşık olarak kâğıtların %11 ve %26'sının ıslanmış ve kirlenmiş olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3 (c), (d)). Kâğıt geri dönüşüm kutularında hiç kullanılmamış kâğıtların veya not defterlerinin olması geri dönüşüm noktasında bir bilinçsizliğin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bilgilendirme çalışmalarında özellikle karşılaşılan olumsuzlukların düzeltilmesi üzerine gidilmiştir.



Şekil 3. Geri dönüşüm ve çöp kutularında bilgilendirme çalışması öncesi ve sonrasında toplanan kâğıt atıkları ve ıslanmış kirlenmiş kâğıtların günlük ağırlıkları ve ağırlık ortalamaları

Bilgilendirme çalışmaları öncesi ve sonrasında sırasıyla kâğıt atıklarının %37'si ve %75'inin geri dönüşüm kutularına atıldığı tespit edilmiştir (Şekil 3 (a), (b)). Bu verilere göre bilgilendirme ve teşvik çalışmaları bilgilendirme öncesindeki durumu tersine çevirerek çöpe giden kâğıt oranını %30 seviyelerine düşürmüştür. Ancak bilgilendirme çalışmaları geri dönüşüme atılan kâğıtların ıslanma kirlenme oranını azaltamamıştır. Çalışmada, bir tane bile sıvı içerikli bir atığın geri dönüşüm kutusuna atılmasının, atık kâğıtların önemli bir kısmının ıslanmasına ve kirlenmesine sebep olduğu görülmüştür.

Kaynağında ayrı toplama çalışmalarının en önemli kısmı atıkların çöpe karışmadan temiz toplanabilmesidir. Kaynağında ayrı toplanan atıklar çöpe hiç karışmadığı ve çöp depo sahasına taşınma gereksinimi olmadığı için taşıma maliyetleri düşmektedir. Ayrıca çöp miktarı azaldığı için düzenli depo sahalarının ömrü uzamış olur. Depo alanında ya da çöp konteynerlerinden yapılan ayırma işlemleri sağlıksız ve birçok yönü ile sakıncalı bir uygulamadır. Çöpten ayrılan geri dönüşebilir atıklar kalitesiz, kirlî, verimsiz ve ekonomik değerini kaybetmiş durumdadırlar. ıslanmış, kirlenmiş veya yağlanmış bir kâğıdın geri dönüşümü mümkün olmamaktadır. Benzer şekilde çöpten ayrılan diğer atıkların da büyük bir bölümü geri dönüştürülemez olduğu için tekrar çöp depo sahasına taşınmaktadır. Bu nedenle geri dönüşebilir atıkların temiz toplanabilmesi geri kazanımın en verimli, en sağlıklı ve en ekonomik olması için temel bir kriterdir (Yavaş, 2013).



Şekil 4. Geri dönüşüm ve çöp kutularında bilgilendirme çalışması öncesi ve sonrasında toplanan cam, pil ve diğer atıkların günlük ağırlıkları ve ağırlık ortalamaları

Bilgilendirme çalışması öncesinde ve sonrasında cam atıklarının sırasıyla %24'ü ve %26'sının geri dönüşüm kutularına atıldığı tespit edilmiştir. Bilgilendirme çalışmalarının burada %2 gibi bir artış sağladığı görülmektedir. Ancak Şekil 4 (a) ve (b) incelendiğinde atık miktarının az olması bilgilendirme çalışmasının olumlu etkilerini tam olarak yansıtamamıştır. Aynı şekilde Şekil 4 (c) ve (d)'de görüldüğü üzere aynı durum piller içinde geçerli olduğunu söylemek mümkündür. Ancak bilgilendirme çalışmasının öncesinde ve sonrasında pil atıklarının sırasıyla %87 ve %83 oranında pil toplama kutularında çıkması durumundan pil konusunda bir farkındalığın bulunduğu sonucu çıkarılabilir. Özellikle ülke genelinde yapılan bilgilendirmelerde, pillerin çevremize verdikleri zararlar üzerinde durulmasının bu farkındalığı arttırdığı düşünülmektedir.

Şekil 4 (e) ve (f) incelendiğinde çalışmanın başlangıcından sonuna kadar diğer (plastik, kâğıt, cam ve pil haricindeki) atıkların geri dönüşüm kutularına atıldığı görülmektedir. Bilgilendirme çalışması öncesinde diğer atıklar grubunun %38'inin geri dönüşüm kutularından çıktığı ve bilgilendirme sonrasında ise %34'ünün geri dönüşüm kutularından çıktığı tespit edilmiştir. Diğer atıklar grubu içerisinde genel olarak yarım tüketilmiş gıda maddeleri kalem, silgi gibi kullanılabilir niteliğini yitirmiş ya da yitirmemiş öğrenci materyallerinin bulunduğu görülmüştür. Diğer atıklar kısmının genel kompozisyonuna baktığımızda kabı açılmamış çikolatalar, hiç koparılmamış poğaça ve simitlerin atılması bazı bireylerde israf olgusunun normalleştiğini göstermektedir. İsrafın bireysel ve toplumsal anlamda değerlendirilmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıktığı görülmektedir. Bilinçsiz tüketim doğal kaynakların israfına yol açtığı gibi çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Bireysel israflar önemli görülmemektedir ancak bu durum toplumu oluşturan bireylerin çoğunluğunda görüldüğü takdirde israf bütün toplumu yoksullaştıracak bir seviyeye gelebilmektedir (Sancaklı, 2013). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2016 yılı itibari ile Türkiye nüfusunun %93'üne atık toplama hizmeti verilmekte olup toplamda 31.583.553 t/yıl kentsel katı atık toplanmaktadır. Bu nedenle özellikle üniversitelerde gerçekleştirilen bu tarz çalışmalar, ülkemizin geleceği adına büyük önem taşımaktadır. Özellikle kamu kurumlarında başlatılan sıfır atık projesinin halka yansarak/ulaşarak faal ve sürdürülebilir hale gelmesi bu projelerin sonuç verdiğinin göstergesi olacaktır.

## 4. Sonuç

Bu çalışma, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde yapılmış olup geri dönüşüm kutularında bulunan atıkların ayrı ayrı toplanıp tartılarak bilgilendirme öncesi ve bilgilendirme sonrasında yapılan çalışmaların toplama verimine katkısı araştırılmıştır. Buna göre geri dönüşüm kutularının yerleştirilmesi ile geri dönüşebilir atıklardan plastik, kâğıt ve cam atıklarının sırasıyla %26, %37, %23 oranında olduğu, bilgilendirme çalışmaları sonrasında ise bu oranların sırasıyla %69, %75 ve %26'ya

yükseldiği tespit edilmiştir. Bu veriler bilgilendirme çalışmalarının geri dönüşüm kutularını yerleştirmek kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bütün çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da isteyerek ya da istemeyerek ilgili atıkların ilgili kutulara atılmaması gibi olumsuz durumların gerçekleştiği görülmüştür. Bu tarz çalışmalar süreklilik gösterdiği takdirde olumsuzlukların sifıra yaklaşacağı düşünülmektedir. Bu manada ülkemiz genelinde başlatılan sıfır atık projesine bu ve benzer çalışmalar ile destek vererek istenilen hedefe ulaşılabileceği ve bu şekilde de ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanacağı düşünülmektedir. Özellikle bilgilendirme çalışmalarında geri dönüşümün yanında israfsızlığın da vurgulanması sonucunda çalışmanın sonlarında kullanılabilir nitelikteki malzemelerin daha az atıldığı tespit edildiğinden çalışmanın istenilen hedefe yaklaştığı anlaşılmaktadır.

### 5. Kaynaklar

- An, D., Yang, Y., Chai, X., Xi, B., Dong, L., Ren, J., 2015. Mitigating pollution of hazardous materials from WEEE of China: Portfolio selection for a sustainable future based on multi-criteria decision making. *Resources, Conservation and Recycling* 105, 198-210.
- Barr, S., Gilg, A.W., Ford, N.J., 2001. Differences between household waste reduction, reuse and recycling behaviour: a study of reported behaviours, intentions and explanatory variables. *Environ. Waste Manage.* 4 (2), 69–82.
- Beaumont, N.J., Tinch, R., 2004. Abatement cost curves: a viable management tool for enabling the achievement of win-win waste reduction strategies? *J. Environ. Manage.* 71 (3), 207–215.
- Demirarslan, K.O., Aydın, E., Aydın, M.A., 2017. Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesinin Güz Dönemi Katı Atık Karakterizasyonu, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(2), 77-86.
- Dwivedy, M., Mittal, R., 2013. Willingness of residents to participate in e-waste recycling in India. *Environmental Development* 6, 48-68.
- EPA, Environmental Protection Agency. 2017. Recycling Basics. from <https://www.epa.gov/recycle/recycling-basics>
- EC, European Commission. Environment Directorate-General. 2010. Being wise with waste: the EU's approach to waste management. Publication Office of the European Union.
- Gu, B., Li, Y., Jin, D., Yi, S., Gu, A., you Bu, X., Zhou, H., He, S., Cheng, R., Jia, R., 2018. Quantizing, recognizing, and characterizing the recycling potential of recyclable waste in China: A field tracking study of Suzhou. *Journal of Cleaner Production* 201, 948-957.
- Gündüzalp, A. A., Güven, S. 2016. Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, ISSN, 1304-2823.
- Gürer, C., Akbulut, H., Kürklü, G., 2004. İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 28-36.
- Han, G., 2008. Ambalaj Atıklarının Yeniden Değerlendirilebilirliği ve Küçükçekmece Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- Hanay, Ö., Koçer, N., 2006. Elazığ kenti katı atıkları geri kazanım potansiyelinin belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 18, 507-511.
- Huang, Y., Tamas, P., Harder, M., 2018. Information with a smile—Does it increase recycling? *Journal of Cleaner Production* 178, 947-953.
- Hoorweg, D., Bhada-Tata, P., 2012. What a waste: a global review of solid waste management. *Urban development series – knowledge papers*, 15. World Bank, Washington
- Kayhan, V., 2006. Kur'an'a göre İsrif ve İktisat. *Din bilimleri Akademik Araştırma Dergisi* 6, 149-195.
- Lin, Y.-C., Chang, C.-c.A., 2017. Exploring wasteful consumption. *Journal of Environmental Psychology* 49, 106-111.
- Ma, B., Li, X., Jiang, Z., Jiang, J., 2019. Recycle more, waste more? When recycling efforts increase resource consumption. *Journal of Cleaner Production* 206, 870-877.
- Pires, A., Martinho, G., Chang, N.B., 2011. Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques. *J. Environ. Manage.* 92 (4), 1033–1050.
- Rhyner, C.R., Schwartz, L.J., Wenger, R.B., Kohrell, M.G., 2017. *Waste Management and Resource Recovery*. CRC Press.
- Sancaklı, S., 2013. Hadisler Çerçevesinde İsrif Olgusunun Analizi. *Journal of the Faculty of Divinity*, 45.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018. Sıfır Atık Yönetmelik Taslağı, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/s-f-rat-kyontslk\\_20181022-20181023131043.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/s-f-rat-kyontslk_20181022-20181023131043.pdf) Erişim Tarihi: 27.02.2019.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019. Plastik Poşetlerin Ücretlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/plasposetuerev20190109-20190109144024.pdf> Erişim Tarihi: 27.02.2019.
- Tonglet, M., Phillips, P.S., Read, A.D., 2004. Using the Theory of Planned Behaviour to investigate the determinants of recycling behaviour: a case study from Brixworth, UK. *Resources, conservation and recycling* 41, 191-214.
- TÜİK, 2016. Toplanan Belediye Atık Miktarı (Ton/Yıl). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=119&locale=tr> Erişim tarihi: 27.02.2019

- Varotto, A., Spagnolli, A., 2017. Psychological strategies to promote household recycling. A systematic review with meta-analysis of validated field interventions. *Journal of Environmental Psychology* 51, 168-188.
- Wang, Z., Zhang, B., Yin, J., Zhang, X., 2011. Willingness and behavior towards e-waste recycling for residents in Beijing city, China. *Journal of Cleaner Production* 19, 977-984.
- Yavaş, B., 2013. Kırklareli ili merkez ilçesi ambalaj atıklarının geri kazanma ve yeniden kullanılma çalışmasının değerlendirilmesi, Namık Kemal Üniversitesi.
- Zhu, M., Vosgerau, J., Inman, J.J., Kalra, A., Shiv, B., Committee, D., 2011. Essays on conservation and waste in consumption.



## ARAŞTIRMA MAKALESİ

### Öne Çıkan Sonuçlar:

- MBR prosesi hassas alanlara deşarjda uygulanabilir
- Paket MBR prosesi ile N ve P giderimi gerçekleştirilebilir
- Atıksu arıtma tesislerinde güneş panelleri ile enerji verimliliği sağlanabilir.

### Yazışma yazarı:

Bilgehan NAS,  
bnas@ktun.edu.tr

### Referans:

Nas, B., Hatipoğlu Y. C., (2019), Güneş Enerjisi Destekli Paket Membran Biyoreaktör (MBR) ile Kentsel Atıksulardan Organik Madde, Azot ve Fosfor Giderimi, İklim Değişikliği ve Çevre, 4, (1) 41-49

Makale Gönderimi : 21 MART 2019  
Online Kabul : 23 MART 2019  
Online Basım : 25 MART 2019

# Güneş Enerjisi Destekli Paket Membran Biyoreaktör (MBR) ile Kentsel Atıksulardan Organik Madde, Azot ve Fosfor Giderimi

Bilgehan NAS<sup>1</sup>, Yusuf Can HATİPOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya, Türkiye.

<sup>2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuklu, Konya, Türkiye.

**Özet** Evsel/kentsel atıksuların arıtılmasında membran teknolojilerinin kullanılması her geçen gün artmaktadır. Bunun yanında ülkemizde de son yıllarda evsel/kentsel atıksu arıtımında uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Ülkemizde evsel atıksu amacı ile inşa edilen membran biyoreaktör (MBR) proseslerinde sadece karbon giderimi hedeflenmiştir.

Bu araştırmada; sistem tasarımı olarak biyolojik karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) giderimi yapabilecek MBR arıtma sistemi tasarlanmış olup, üretilen paket MBR arıtma ünitesinin işletilmek üzere Konya kentsel atıksu arıtma tesisine kurulumu gerçekleştirilmiştir. 80 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli paket MBR sistemi kaba ızgaradan geçmiş olan atıksu ile beslenmiş ve geliştirilen sistemin C, N, P giderim verimleri araştırılmıştır. Paket MBR tesisi 100 gün süreyle işletilmiştir. MBR tesisinde, %93,8 KOİ, %97,8 AKM, %53,5 TN ve %83,5 TP giderim verimi elde edilmiştir. Ayrıca paket MBR sistemine entegre edilmiş olan güneş panelleri vasıtasıyla üretilen enerjinin tesisin enerjisini karşılama oranları da incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu arıtımı, güneş enerjisi, MBR, ileri arıtma, yeniden kullanım

## Removal of Organic Matter, Nitrogen and Phosphorus from Urban Wastewater with Solar Energy Supported Package Membrane Bioreactor (MBR)

**Abstract** The use of membrane technologies in the treatment of domestic/urban wastewater is increasing day by day. In addition, membrane bioreactor (MBR) process has started to find application for domestic wastewater treatment in Turkey. Only carbon removal is aimed in MBR process built for domestic wastewater.

In this research; a package MBR system to remove biological carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) has been designed. The 80 m<sup>3</sup>/day package MBR system was fed by Konya urban wastewater passing through coarse screen and the efficiency of C, N, P removal of the developed system was investigated. The package MBR plant operated for 100 days. 93,8% COD, 97,8% TSS, 53,5% TN and 83,5% TP removal efficiency were achieved in the MBR. In addition, the energy generated by the solar panels integrated in the package MBR system was also examined.

**Keywords:** Wastewater treatment, solar energy, MBR, advanced treatment, water reuse

### 1. Giriş

Ülkemizde yerleşim yerlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması için evsel/kentsel atıksu arıtma tesisleri çok hızlı bir şekilde yapılmaya devam etmektedir. Nüfusu 10 bin kişiden fazla olan yerleşim yerlerinde atıksu arıtma tesisleri büyük oranda tamamlanmıştır. Ancak, küçük yerleşim yerlerinde yapılması gereken çok sayıda arıtma tesisi ihtiyacı bulunmaktadır. Mülga Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan Atıksu Arıtımı Eylem Planına (AAEP, 2015) göre 2023 yılına kadar 1.501 adet yeni atıksu arıtma tesisi (AAT) yapılması planlanmaktadır.

Nüfusu 2.000 kişinin üzerinde olan yerleşim birimleri için arıtma tesisi yapma yükümlülüğü bulunmaktadır. Küçük yerleşim birimlerinde ise atıksu konusu ile ilgili yeterince bilgi birikimi oluşmaması ve uzman personel bulunmayışı nedeni ile arıtma tesisi sistem seçiminde büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Atıksu karakteristiği, işletme maliyeti ve işletme sorunları yanında nitelikli personel ihtiyacı gibi pek çok faktör çoğunlukla dikkate alınmadığı için tesisler yeterli verimde

çalıştırılmamaktadırlar. Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yayınlanan 23.12.2016 tarihinde yayınlanan "Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik" (Resmi Gazete, 2016) ile de ülkemizdeki hassas alanlar belirlenmiştir. Hassas su kütlelerine yapılacak deşarjlarda organik madde giderimi yanında Azot (N) ve Fosfor (P) giderimi de yapılması gerekmektedir.

Evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan MBR'lar yüksek çıkış suyu kalitesi ile artılmış atıksuların yeniden kullanımında önemli bir avantaj sağlamakla birlikte konvansiyonel arıtma proseslerine kıyasla diğer bazı avantaj ve dezavantajlara da sahiptirler. Yüksek biyokütle konsantrasyonu, düşük alan ihtiyacı ve düşük çamur üretimleri ve bakteri ve virüsleri tutabilmeleri avantajları olarak sayılabilirken, membran modüllerinin yüksek ilk yatırım maliyetleri, membranların ömrü ve değişim süresi ve yüksek işletme maliyetleri de dezavantajları arasındadır.

Biçim ve/veya membran malzemesi bakımından muhtemelen 60 ayır membran ürününü pazarlayan en az 50 bireysel üretücü vardır. MBR'lar için kullanılan polimer malzemeleri büyük ölçüde, gözenek boyutu 0,01 ile 0,04 µm aralığındadır (Simon, 2015). MBR sistemleri harici ve dahili olmak üzere 2 ana konfigürasyonu vardır. Harici MBR'de sıvı ve biyokütle ayrımı yan taraf-akımlı membran filtrasyon işlemi farklı bir ünite de gerçekleştirir. Dahili MBR'de ise sıvı ve biyokütle ayrımı aynı biyoreaktörün içinde gerçekleştirir. Dahili membran sistemlerin geliştirilmesiyle, bu sistemler özellikle kentsel atıksu arıtma tesisleri için harici membran sistemlere göre tercih edilmişlerdir. Ayrıca homojen bir karışım sağlamak ve membran yüzeyinde tıkanmayı önlemek için havalandırma işlemi uygulanmıştır.

MBR'ların organik madde yükleme oranı, ardışık kesikli reaktör ve klasik aktif çamur prosesinden daha yüksektir. Bir aktif çamur prosesinde organik yük artışı heterotrofik aktiviteyi artırır ve organik madde giderimi birinci derece kinetiğine göre olmaktadır. Bu durum MBR'lar için de geçerlidir (Kishino ve ark., 1996). MBR'larda organik madde giderimi her ne kadar aktivitede azalma olsa da düşük sıcaklıktan (5 ve 20 °C arasında) önemli derecede etkilenmemektedir (Gander ve ark., 2000); (Kishino ve ark., 1996); (Chiemchaisri ve Yamamoto, 1994).

MBR'larda yüksek oranda denitrifikasyon gerçekleştiği çeşitli araştırmalarda (Gander ve ark., 2000); (Suwa ve ark., 1992); (Winnen ve ark., 1996) yer almaktadır. Klasik proseslerdeki gibi, nitrifikasyon ham atıksu karakterizasyonu ve işletme parametrelerine (ÇO, sıcaklık, organik yükleme, inorganik ve organik bileşenler, pH ve besi maddesi seviyelerine) duyarlıdır.

Güneş enerjisi bol miktarda olan, sürekliliği ve yenilenebilirliği olan ve en önemlisi ücretsiz bir enerji kaynağıdır. Tüm bu özelliklerinin yanında fosil yakıtlı enerji kaynaklarının kullanılması sonucu ortaya çıkan çevresel sorunların çoğu güneş enerjisinde bulunmamaktadır. Bu da güneş enerjisini temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağına dönüştürmektedir.

Bu araştırmada; C, N ve P giderimi yapabilecek, 80 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli MBR tesisinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilerek paket MBR tesisi Konya atıksu arıtma tesisine (AAT) kurulmuştur. Batık düz levha tipte 0,04 µm gözenekli polietilsüfon (PES) membran kompozit ince tabakalı malzemenin kullanıldığı tesiste membran yüzey alanı 200 m<sup>2</sup>'dir. Paket MBR sisteminin enerji ihtiyacını karşılayabilmek için de solar güneş paneli uygulanmıştır. MBR prosesinin KOİ, AKM, N, P giderim verimleri, enerji tüketimleri ve güneş panellerinden enerji kazanımı değerlendirilmiştir.

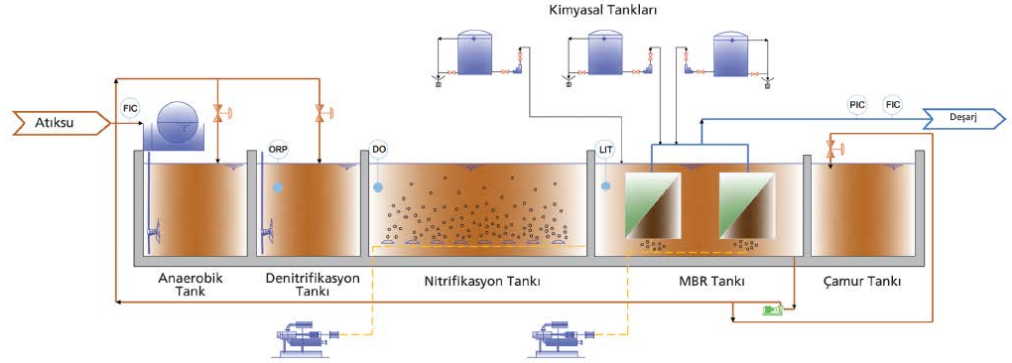
## 2. Yöntem

Paket MBR sisteminin tasarımında kabul edilen evsel atıksu karakterizasyonu Tablo1'de verilmiştir. Atıksu özellikleri orta-yüksek kirlilikte bir atıksu karakterizasyonuna yakındır. MBR tesisi kapasitesi 80 m<sup>3</sup>/gün'dür.

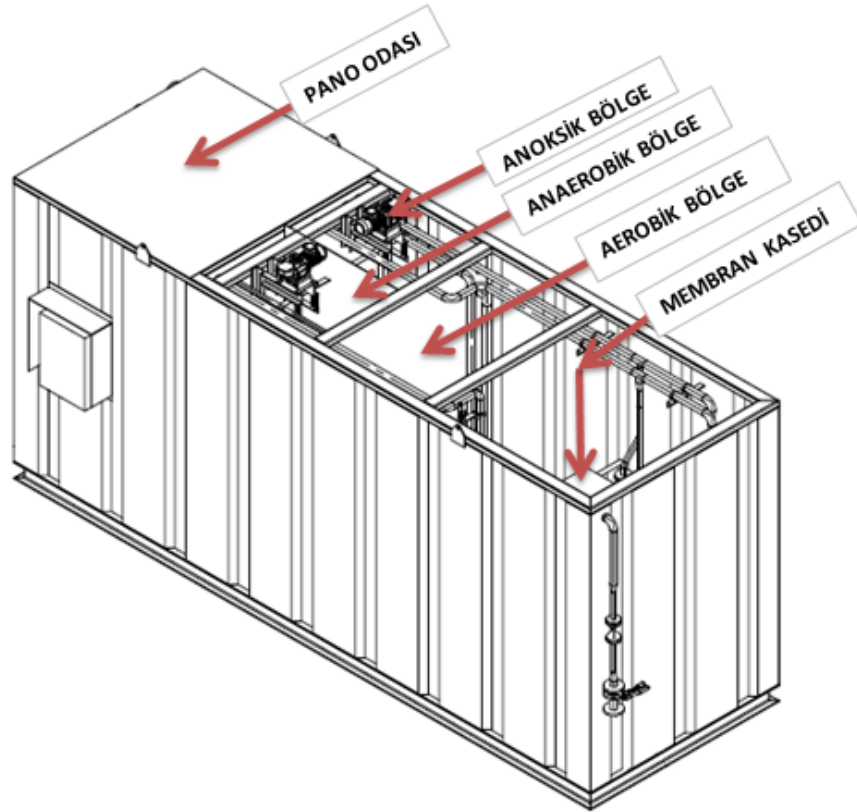
Tablo 1. Paket MBR sistemi tasarımında kabul edilen atıksu karakterizasyonu

Parametreler	Birim	MBR Giriş
KOİ	mg/L	600
BOİ <sub>5</sub>	mg/L	350
BOİ <sub>5</sub> /KOİ	---	0,58
TN	mg/L	45
TP	mg/L	10
AKM	mg/L	300
pH	---	6 - 8

Paket MBR tesisi, özellikle hassas alanlara atıksu deşarj yapacak olan, bu yüzden azot ve fosfor giderimi yapılması gereken küçük yerleşim yerlerinde çözüm alternatifi olarak geliştirilmiştir. Bunun için paket MBR sistemi N ve P giderimine yönelik olarak anaerobik, anoksik ve oksik bölgelerden oluşmaktadır. Anaerobik ve anoksik bölgelerde bekleme süresi 50'şer dakika ve aerobik bölgede bekleme süresi ise 4,5 saat'tir. Tasarımı ve imalatı yapılan paket MBR arıtma sisteminin akış diyagramı Şekil 1'de, paket tesisteki N ve P giderimi için tasarlanan bölümlerin de görüldüğü paket sistem bütünü ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Paket MBR sisteminin akış diyagramı.



Şekil 2. Paket MBR sisteminin bölümleri.

Konya AAT'ye yerleştirilen ve işletilen paket tesis ise Şekil 3'te verilmektedir. Sistem temel olarak; ön arıtma (Konya AAT'de mevcut kaba ızgara), biyoreaktör (anaerobik-anoksik ve oksik bölgeler), MBR tankı, çamur tankı ve güneş panellerinden oluşmaktadır. MBR tesisi şu ekipmanlardan oluşmaktadır; atıksu besleme pompası, çamur geri devir pompası, membran pompası, sitrik asit pompası,  $Fe_3Cl$  dozaj pompası,  $NaOCl$  dozaj pompası, anaerobik bölge mikseri, anoksik bölge mikseri, havalandırma bloweri, difüzör, oksijenmetre, ORP sensörü, pH sensörü, seviye sensörü, atıksu debimetresi ve hava debimetresi. Paket MBR sistemi içerisine iki adet batık Microdyn Nadir GmbH UF membranları (BIO-CEL BC100F-C25-UP150 modeli) yerleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Paket MBR sistemi genel görünüşü.



Şekil 4. BIO-CELL BC100F-C25-UP150 modeli batık membran dış görünüşü (MicroDyn-Nadir, 2018).

BIO-CELL çok boşluklu yapıya sahip makroporöz lifli bir ayırıcı tabaka ile yapışık 0,04 µm gözenekli polietilsüfon (PES) membran kompozit ince tabakalı (lamine) bir malzemedir (Simon, 2015).

Membran, alt hava dağıtım hattı ve arıtılmış su toplama hatları ile kompakt yapıda olup kaset şeklindedir. Bir adet batık membran kasetinde 100 adet membran bulunmaktadır. Kaset boyutu boy, en ve yükseklik olarak 1.600 x 702 x 1.563 mm'dir. Kuru ağırlığı 225 kg, ıslak ağırlığı 300 kg, maksimum yükleme ağırlığı ise 900 kg' dır. 1 adet batık membran kasetinin toplam arıtma yüzeyi 100 m<sup>2</sup>'dir. Standart süzüntü debisi her bir membran kasedi için maksimum 40 m<sup>3</sup>/sa'tir. Membran iç borulaması PVC, dış bağlantıları paslanmaz çeliktir. Polieter sülfon membran yüzeylerin kullanıldığı sistemde etilen propilen dien monomer (EPDM) membranlı difüzörler tercih edilmiştir. Paket MBR ünitesi seviye ve oksijen sensörleri, debimetreler ve programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) yardımıyla otomatik olarak çalışmaktadır. Ünite içerisine atıksu beslemesi, oksijen temini için blowerların devreye girmesi, aerobik bölgeden çamurun geri devrettirilmesi, membran kasetlerinin ve dolayısıyla membran pompasının seviye ve süre kontrollü çalışması ve membran kasetlerinin geri yıkanması işlemlerinin tamamı ünite içerisinde yer alan PLC programlamaya bağlı olarak değişmektedir. Membran çıkış hattında yer alan manometrelerdeki değerlere göre membranların kimyasal yıkama yapması gereken zaman belirlenmektedir. Manometrede okunan değerler arasındaki fark önceden set edilen değerler üzerine çıktığı anda sistem filtrasyonu durdurmakta ve kimyasal yıkama işlemine başlanmaktadır.

Konya kentinden kaynaklanan evsel nitelikli atıksular ilk olarak mevcut arıtma tesisinin terfi merkezine alınmaktadır. Buradan paket MBR sistemine entegre edilmiş olan terfi pompası vasıtasıyla sisteme atıksu beslemesi yapılmaktadır. Sisteme besleme yapılan atıksuyun debisini ölçmek için hat üzerinde elektromanyetik debimetre bulunmaktadır. Atıksu ilk olarak fosfor gideriminin gerçekleştirilmesi için anaerobik bölgeye aktarılmaktadır. Anaerobik bölgeden sonra yan bölmede yer alan anoksik bölgeye aktarılmaktadır. Bölmelere aktarılan atıksuyun dibe çökmesini önlemek adına içerlerinde düşey millerli bir karıştırıcı bulunmaktadır. Denitrifikasyon işleminin gerçekleştirildiği bu bölgeden sonra atıksu, biyolojik arıtmanın son aşamasının gerçekleştirilmesi için aerobik bölgeye aktarılmaktadır. Aerobik bölgedeki atıksuyun bir kısmı mikroorganizma konsantrasyonunun belli seviyede tutulması ve azot ve fosfor gideriminin etkin olarak sağlanması amacıyla anaerobik ve anoksik bölgelere geri devrettirmektedir. Biyolojik prosese tabi tutulan atıksu son olarak sistemde yer alan pompanın yardımıyla membran kasetlerinden geçirilerek filtrelenmesi sağlanmaktadır.

Paket MBR sisteminin yenilenebilir elektrik üretim kısmında 24 adet 250 wattlık solar güneş paneli kullanılmıştır. Toplam kurulu gücün maksimum 6 kW olduğu güneş paneli Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Güneş enerji panelleri.

Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nde kurulumu gerçekleştirilen paket MBR sistemi için aşu çamuru mevcut atıksu arıtma tesisinin geri devir hattından alınmıştır. Karbon (organik bileşikler), azot, fosfor ve atıksuda bulunan katı maddenin giderim veriminin belirlenmesi amacıyla paket MBR sistemine atıksu beslemesi yapılmaya başlandıktan sonra, günlük olarak tesisin giriş ve çıkış suyundan alınan numunelerde Tablo 2'de verilen parametreler analiz edilmiştir (APHA, 1998).

Ayrıca tesis giriş debisi, tüketilen ve güneş panelleri vasıtasıyla üretilen elektrik enerjisi, pH değerleri, geri devir oranları, aerobik bölge ve membran hava debileri, çözülmüş oksijen (ÇO) ve atıksu sıcaklık değerleri de online olarak sistem üzerinden takip edilmiştir.

Tablo 2. İzlenen parametreler ve analiz metotları

Parametre	Metot
pH	Elektrokimyasal Metot SM 4500 H <sup>+</sup> B
KOİ	Kapalı Reflaks Metodu SM 5220 C
TN	Spektrofotometrik Metot (LCK 338 Hazır Deney Kiti)
TP	Spektrofotometrik Metot (LCK 350 Hazır Deney Kiti)
NH <sub>4</sub> -N	Spektrofotometrik Metot (LCK 303 Hazır Deney Kiti)
NO <sub>3</sub> -N	Spektrofotometrik Metot (LCK 339 Hazır Deney Kiti)
AKM	Gravimetrik Metot SM 2540 D
Sıcaklık (°C)	SM 2550 B
Atıksu Debisi	Elektromanyetik Debimetre

### 3. Tartışma

Paket MBR tesisi 07.02.2017 - 16.05.2017 tarihleri arasında 100 günlük bir süre boyunca işletilmiştir. Tablo 3'te Konya AAT evsel atıksuyu ile beslenen paket MBR sisteminin giriş atıksu karakterizasyonu verilmiştir. Tesis kış aylarında işletmeye alındığından, istenilen MLSS değerine ulaşmak için 100 gün boyunca fazla çamur atımı yapılmamıştır. Konya AAT'den yapılan çamur aşısı ile işletmeye alınan tesis 1.880 mg/L MLSS değeri ile başlamış ve 100 gün sonunda 16.310 mg/L değerine ulaşmıştır.



Tablo 3. Paket MBR sisteminin giriş atıksu karakterizasyonu (n: ölçüm sayısı)

Parametreler	n	Birim	Ortalama
KOİ	33	mg/L	883,3 ± 252,9
AKM	34	mg/L	431,7 ± 180,8
TN	32	mg/L	89,2 ± 29,4
TP	30	mg/L	12,6 ± 3,1

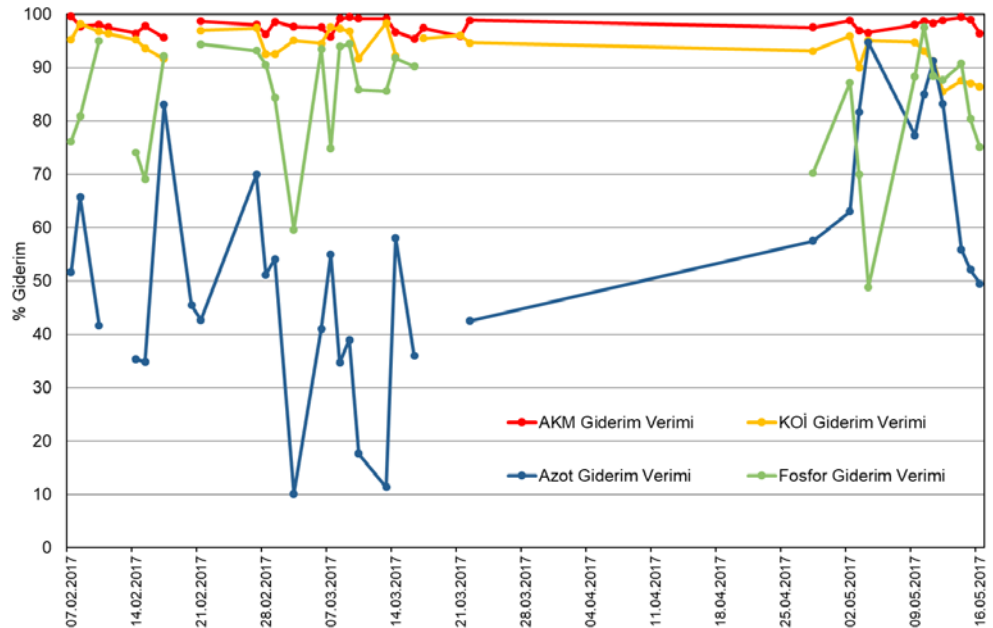
Tablo 1’de verilen tasarıma esas atıksu karakterizasyonu ve Tablo 3’te verilen işletme dönemi giriş atıksu özellikleri incelendiğinde Konya AAT giriş suyunun organik madde, AKM ve besi maddesi açısından tasarımında ön görülen değerlerin çok üzerinde gerçekleştiği, tasarıma göre KOİ’de %47,3’lük, AKM’de %44, TN’de %98 ve TP’de %26 daha yüksek konsantrasyonların MBR tesisine ulaştığı görülmektedir. Tasarımı yapılan paket MBR tesisi orta-yüksek kirlilik olarak kabul edilen atıksu özelliklerine göre boyutlandırılmış olmasına rağmen Konya AAT giriş atıksuyu yüksek kirlilik değerlerinden de fazla kirlenmiştir.

Paket MBR tesisi işletme verileri ve arıtma performansı değerlendirilirken bu önemli unsurun ve tesisin Şubat - Mayıs aylarında kış döneminde düşük atıksu sıcaklık şartlarında işletildiği göz önüne alınmalıdır. İşletme süresi boyunca hava sıcaklığı -11 ile 30 °C, ham atıksu sıcaklığı ise 11 ile 22 °C arasında değişmiştir. MBR tesisinin verimine etki eden önemli işletme parametrelerinin 100 günlük işletme dönemindeki değişimi Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. MBR tesisi işletme parametrelerinin bazı istatistiksel verileri (n: ölçüm sayısı)

Parametreler	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
pH	37	6,87	7,91	7,35	± 0,23
Sıcaklık (°C)	41	11	22	17	± 3,03
ÇO (mg/L)	31	2,1	7,1	4,0	± 1,42
MLSS (mg/L)	39	1.880	16.310	6.771	± 3.896

Tesis işletmeye alma döneminde, ilk 30 gün ortalama 3.834 mg/L MLSS değerine ulaşmış, 30-60 günlük dönemde 6.375 mg/L MLSS ve son 60-100 günlük dönemde ise 9.517 mg/L MLSS değerinde işletilmiştir. Şekil 6’da paket MBR tesisinde 100 günlük işletme süresi boyunca numune alınan tarihlerde elde edilen KOİ, AKM, TN ve TP giderim verimleri bulunmaktadır. Giderim verimleri incelendiğinde özellikle son 40 günlük işletme döneminde kararlı şartların oluşması ve MLSS değerlerinin yükselerek yeterli düzeye gelmesi ile giderim verimleri arasındaki salınımların azaldığı görülmektedir. Azot ve fosfor gideriminde ÇO kritik parametredir. Tesiste seçilen blower kapasitesinin yüksek oluşundan dolayı aerobik bölgede ÇO seviyesi 2,1-7,1 mg/L aralığında gerçekleşmiş ve ortalama 4,0 mg/L ÇO değeri ölçülmüştür. Yaklaşık 2 mg/L ÇO seviyesi yeterli iken yüksek ÇO seviyesi geri devir çamuru ile birlikte anaerobik bölgede fosfor alımını ve anoksik bölgede denitrifikasyonu olumsuz etkilemiştir.



Şekil 6. Paket MBR tesisinde KOİ, AKM, TN ve TP giderim verimleri.

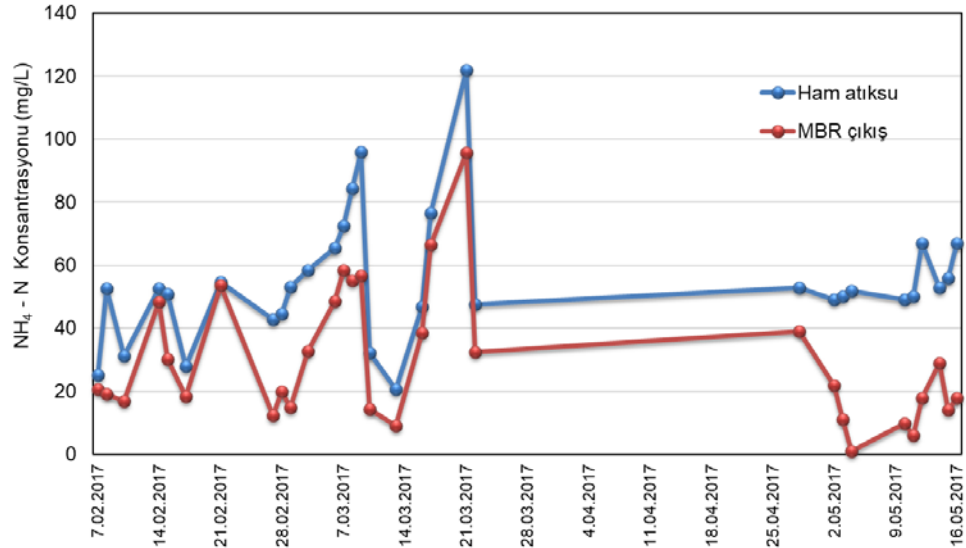
Paket MBR tesisinde işletme süresi boyunca giriş KOİ konsantrasyonunun 530-1.497 mg/L, çıkış KOİ konsantrasyonunun 13-130 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun yanında minimum %85,5 ve maksimum %98,4 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi %93,8 olarak hesaplanmıştır. AKM konsantrasyonu girişte 205-880 mg/L, MBR çıkışında ise <5-18 mg/L arasında değişmiştir. %95,4 ile %99,7 arasında AKM giderim verimi elde edilmiştir. Ortalama AKM giderim verimi %97,8 olarak belirlenmiştir.

Ham atıksuda TN konsantrasyonu 41,4-153,6 mg/L aralığında değişirken, MBR prosesi ile arıtma sonrası TN konsantrasyonu 5-86,3 mg/L aralığında ölçülmüştür. TN giderim verimi %10,1-94,7 arasındadır ve ortalama verim %53,5'tir. Tablo 5'te MBR tesisine beslenen ham atıksuda, arıtılmış atıksuda ve aerobik bölgedeki NH<sub>4</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N değerleri verilmektedir. Konya kenti ham atıksuyundaki TN konsantrasyonundaki yüksek salınım, aynı şekilde NH<sub>4</sub>-N'de de görülmektedir. Ham atıksuda NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonu 20,7-121,8 mg/L aralığında değişim göstermektedir (Şekil 7). Bu yüksek salınım azot giderim verimini de etkilemektedir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri ile çıkış suyunda TN değerinin 15 mg/L'nin altında ve NH<sub>4</sub>-N değerinin sıfıra yakın, NO<sub>3</sub>-N değerinin ise 10-13 mg/L aralığında olması beklenirken, çıkış suyunda ortalama NH<sub>4</sub>-N konsantrasyonu 30,02 mg/L olarak oldukça yüksek olarak belirlenmiştir. NO<sub>3</sub>-N değeri ise çıkış suyunda ortalama 2,06 mg/L olarak gerçekleşmiştir. Aerobik bölgede nitrifikasyonun gerçekleşerek, organik azot ve amonyum azotunun nitrate oksitlenmesi beklenirken bunun gerçekleşmediği aerobik bölgede amonyum azotu konsantrasyonunun 43,63 mg/L olduğu ve nitrat azotunun ortalama 1,63 mg/L olduğu görülmektedir.

Hassas olan nitrifikasyon prosesini etkileyen parametreler; ÇO, pH, sıcaklık ve alkalinite dir. Sistemde yeterli ÇO (ortalama 4 mg/L), uygun pH (ortalama 7,35) ve alkalinite sağlanmıştır. Ancak, nitrifikasyon bakterileri için optimum sıcaklık 20-35 °C iken, 100 günlük işletme döneminde tesis ortalama 17 °C atıksu sıcaklığında işletilmiştir. Nitrifikasyon bakterileri ototrofik canlılar olup çevresel şartlardan çok çabuk etkilenirler ve çoğalma hızları düşüktür ve özellikle iik işletmeye alma dönemlerinde çoğalmaları için süreye ihtiyaç duyarlar. Sonuç olarak, Şekil 7'de görüldüğü gibi, tesis azot gideriminde özellikle ilk 80 günde yeterli performansa ulaşamamış, son 20 günde azot giderim verimi artmıştır.

Tablo 5. MBR tesisinde azot parametresinin proseste değişimi (n: ölçüm sayısı)

İzleme Noktası	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Ham atıksu NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	31	20,7	121,8	54,96	± 20,49
Arıtılmış atıksu NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	31	1,0	95,6	30,02	± 21,47
Arıtılmış atıksu NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	28	0,26	18,15	2,06	± 4,72
Aerobik bölge NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	26	7,0	116,8	43,63	± 25,74
Aerobik bölge NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	25	0,26	11,7	1,63	± 2,64



Şekil 7. Ham atıksuda ve MBR tesisi çıkışında amonyum azotu konsantrasyonunun değişimi.

İşletme süresinde, TP konsantrasyonu ham atıksuda 5,7-17,4 mg/L, arıtma sonrası ise 0,5-5,5 mg/L arasında tespit edilmiştir. TP giderim verimi %48,8-97,6 aralığında ve ortalama TP giderimi ise %83,5 olmuştur. Nispeten düşük olan %83,5 TP giderim veriminin, MBR sistemi içerisinde kullanılan blowerin proses için gerekli hava ihtiyacından çok daha fazlasını (ortalama ÇO 4 mg/L ölçülmüştür) sisteme verdiğiinden dolayı yaşanıldığı düşünülmektedir. Aerobik bölgedeki yüksek çözünmüş oksijen çamur geri devir vasıtasıyla anaerobik bölgeye aktarılmaktadır. Bunun sonucunda TP giderimi için gerekli olan anaerobik ortamın oksijen seviyesinin yükseldiği ve fosfor salınımının sınırlandırıldığı düşünülmektedir. Blower ile verilen havanın azaltılması ile TN giderimi için denitrifikasyon da istenilen <0,5 mg/L ÇO ve anaerobik bölgede fosfor salınımı için gerekli sıfıra yakın ÇO değerlerinin sağlanması ile önemli miktarda TN ve TP giderim verimleri de artırılabilir.

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli paket MBR sisteminin Konya kentsel atıksuların arıtımındaki verimi incelenmiştir. 07.02.2017-16.05.2017 arasında 100 gün süre ile işletilen MBR sisteminde tesisin işletmeye alındığı Şubat-Mayıs ayları arasında hava sıcaklığı kış aylarında ortalama -5 °C bahar aylarında ise ortalama 9 °C olarak gerçekleşmiştir. Biyolojik arıtma proseslerinde atıksu sıcaklığı biyolojik aktivite ve arıtma veriminde önemli bir işletme parametresidir. İşletme döneminde ham atıksu sıcaklığı ortalama 17 °C'dir. Elde edilen işletme verilerinin kış şartlarını temsil ettiğini ve organik madde ve azot gideriminde yaz aylarına göre daha düşük verimlerin elde edileceği göz önüne alınmalıdır.

İncelenen 4 parametrede özellikle AKM ve KOİ giderim veriminin daha stabil olduğu, TN ve TP gideriminin ise değişken olduğu görülmektedir. Bu durum biyolojik besi maddesi gideriminde işletmede önemli olan atıksu sıcaklığı, ÇO, ORP, MLSS, Çamur geri devri, çamur yaşı ve nitrifikasyon bakterilerinin çoğalma hızı gibi değişkenlerden kaynaklanır. Bu sınımların ilk işletme döneminden sonra (60 gün) azaldığı ve son 15 günlük işletme döneminde daha stabil olduğu görülmektedir. Buna rağmen 100 günlük işletme döneminde elde edilen bu sonuçların, bir gösterge olmakla birlikte işletme parametrelerinin kontrolü, yeterli ÇO seviyesi ve adaptasyon süresinden sonra zamanla daha sabit aralıklarda gerçekleşmesi beklenmektedir.

KOİ parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 883,3 mg/L ve 50,2 mg/L, AKM parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 431,7 mg/L ve 8,5 mg/L olarak belirlenmiştir. KOİ için %93,8 ve AKM için %97,8 olarak konvansiyonel aktif çamur proseslerine kıyasla çok yüksek giderim verimleri elde edilmiştir.

Tesis N ve P giderimine yönelik tasarlanmıştır. TN parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 89,2 mg/L ve 39,1 mg/L olarak belirlenmiştir. Sistemde nitrifikasyon ve denitrifikasyon fazlarının gerçekleşebilmesi adına anoksik ve aerobik bölgeler bulunmasına ve nitrat geri devri yapılmasına rağmen TN giderim verimi %53,5 değeri ile sınırlı kalmıştır. Çıkış suyundaki ortalama 39,1 mg/L değeri nüfusu 100 binden küçük yerleşim yerlerinde sağlanması gereken 15 mg/L azot değerinin üstündedir. Düşük TN giderimi; paket MBR sisteminin devreye alma sürecindeki hava sıcaklığının soğuk olması sonucunda nitrifikasyon bakterilerinin üreme hızı azalmış ve ortamda yeterli kadar nitrifikasyon bakterisinin oluşmadığı düşünülmektedir. Nitrifikasyonun gerçekleşeceği aerobik bölgede ölçülen yüksek amonyum azotu seviyeleri ve düşük nitrat azotu da bunu göstermektedir. TP parametresi ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ise sırasıyla 12,6 mg/L ve 2,0 mg/L olarak belirlenmiştir. Çıkış suyundaki ortalama 2 mg/L P değeri nüfusu 100 binden küçük yerleşim yerlerinde sağlanması gereken 2 mg/L fosfor değerini sağlamaktadır.

Paket MBR sistemi için tüketilen ve güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi izlemiştir. Tüketilen elektrik enerjisinin 110-212 kW/gün, üretilen elektrik enerjisinin 1-21 kW/gün arasında değiştiği belirlenmiştir. Tüketilen ortalama elektrik enerjisinin 156 kW/gün, üretilen ortalama elektrik enerjisinin ise 8 kW/gün olduğu gözlemlenmiştir. Paket MBR sisteminde tüketilen elektrik enerjisinin yüksek olmasının sebebinin hava üfleyci blower motorlarının fekans konvertörünün olmaması ve bu nedenle sürekli en yüksek seviyede (7-9 kW arası) çalışmasıdır. Paket MBR sisteminde üretilen elektrik enerjisinin düşük olmasının sebebi; devreye alma ve işletme sürecinin kış aylarında güneşli gün sayısının en düşük seviyede olduğu dönemde gerçekleşmesidir. Blower kapasitesinin düşürülmesi veya frekans konvertörü ile işletilmesi yanında yaz aylarında güneşli gün sayısının ve süresinin artması ile paket MBR tesisinin enerji ihtiyacının önemli bir kısmı güneş panelleri ile sağlanabilecektir.

Paket MBR sistemleri N ve P giderimi zorunlu olan hassas alanlara deşarjlarda veya atıksu geri kazanımı planlanan köyler veya tatil köyleri gibi küçük yerleşim yerleri için atıksu arıtımında uygun bir arıtma teknolojisi olarak kullanılabilir. Paket MBR tesisleri güneş panelleri ile desteklenerek enerji ihtiyacının önemli bir bölümü de karşılanabilir.

## 5. Teşekkür

Bu makale; Artaş Endüstriyel Tesisler Taahhüt ve Ticaret Anonim Şirketi tarafından hazırlanan, TÜBİTAK KOBİ Ar-Ge Başlangıç Destek Programı kapsamında 7141267 Proje Numarası ile desteklenen "Evsel Atık Sulardan Azot ve Fosfor Giderimi Sağlayacak Yenilenebilir Enerji Destekli Paket Arıtma Sisteminin Geliştirilmesi" projesi verilerinden hazırlanmıştır. Yusuf Can HATİPOĞLU, Artaş A.Ş. personeli olarak MBR tesisinin kurulumunu ve işletmesini yürütmüştür. Makale, Yusuf Can HATİPOĞLU'nun Yüksek Lisans tezinin bir bölümünden oluşmaktadır. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK, ARTAŞ A.Ş. ve KOSKİ Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

## 6. Kaynaklar

APHA, 1998, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 20th ed. Washington, DC. USA.

Atıksu Arıtımı Eylem Planı 2015-2023, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015, Ankara.

Chiemchaisri, C. ve Yamamoto, K., 1994, Performance of membrane separation bioreactor at various temperatures for domestic wastewater treatment, Journal of Membrane Science, 87 (1-2), 119-129.

- Gander, M., Jefferson, B. ve Judd, S., 2000, Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations, *Separation and purification Technology*, 18 (2), 119-130.
- Jefferson, B., Laine, A., Brindle, K., Judd, S., Stephenson, T., 1998, *Proceedings of Water Environment 98: Maintaining the Flow*, The Institution of Civil Engineers, London.
- Judd, Simon, MBR, Su ve Atıksu Arıtımında Membran Biyoreaktörlerin Esasları ve Uygulamaları, Çeviri Editörü: Bülent Keskinler, 2. Basımdan Çeviri, Nobel Yayın No: 1280. 2015
- Kishino, H., Ishida, H., Iwabu, H. ve Nakano, I., 1996, Domestic wastewater reuse using a submerged membrane bioreactor, *Desalination*, 106 (1-3), 115-119.
- MicroDyn-Nadir, 2018, <https://www.microdyn-nadir.com/en/> [Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2018].
- "Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik (23.12.2016). Resmi Gazete (Sayı: 29927)
- Suwa, Y., Suzuki, T., Toyohara, H., Yamagishi, T. ve Urushigawa, Y., 1992, Single-stage, single-sludge nitrogen removal by an activated sludge process with cross-flow filtration, *Water Research*, 26 (9), 1149-1157.
- Winnen, H., Suidan, M., Scarpino, P., Wrenn, B., Cicek, N., Urbain, V. ve Manem, J., 1996, Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular-weight compounds, *Water Science and Technology*, 34 (9), 197-203.