



Osman Tuğrul Baki
Egemen Aras

Karadeniz Teknik University, Trabzon-Turkey
tbaki@ktu.edu.tr; egemen@ktu.edu.tr

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.1A0404	
ORCID ID	0000-0001-8694-0543	0000-0002-7553-9313
CORRESPONDING AUTHOR	Osman Tuğrul Baki	

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACININ FARKLI REGRESYON MODELLERİYLE TAHMİN EDİLMESİ

ÖZ

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacının tahmini ve kontrolü atıksu arıtma tesisinin yönetimi ve organizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. BOİ'nin laboratuvar deneyleriyle belirlenmesi uzun zaman almakta ve deneylerin yapılması da zahmetli olmaktadır. Bu çalışmada BOİ değerinin, atıksu arıtma tesislerinde su kalitesini belirlemek amacıyla kolayca ölçülebilen diğer kirletici parametreler aracılığıyla, tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Analizde kullanılan ölçüm sonuçları 2015-2016 yılları arasında Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nin ölçülen günlük işletim parametreleridir. Analizde kullanılan tahmin girdi parametreleri; Q, pH, t, KOİ, AKM, TN, TP ve Eİ olarak seçilmiştir. Günlük ölçüm sonuçları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çoklu regresyon analizi ve çoklu değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri yöntemlerinden yararlanılmıştır. Çoklu değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri modeli en iyi tahmin sonucu elde etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Çoklu Regresyon Analizi, Çoklu Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri, Atıksu Arıtma Tesisi

ESTIMATION OF BOD IN WASTEWATER TREATMENT PLANT WITH DIFFERENT REGRESSION MODELS

ABSTRACT

Predicting the biochemical oxygen demand (BOD) plays an important role in the management and organization of the wastewater treatment plant. It takes a long time to determine the BOD by laboratory experiments and it is troublesome to carry out the experiments. In this study, it was aimed to estimate the BOD value by means of other pollutant parameters which can easily be measured to determine the water quality in wastewater treatment plants. The measurement results used in the analysis were measured at the Antalya Hurma Wastewater Treatment Plant between the years 2015-2016. The estimated input parameters used in the analysis were selected as Q, pH, t, COD, SS, tN, tP, EC. Analyzes were performed using daily measurement results. Multiple regression analysis and multivariate adaptive regression splines were used in the study. Multivariate adaptive regression splines obtained the best prediction result.

Keywords: Biochemical Oxygen Demand, Multiple Regressions Analysis, Multivariate Adaptive Regression Splines, Waste Water Treatment Plant

How to Cite:

Baki, O.T. ve Aras, E., (2018). Atıksu Arıtma Tesislerinde Biyokimyasal Oksijen İhtiyacının Farklı Regresyon Modelleriyle Tahmin Edilmesi, **Engineering Sciences (NWSAENS)**, 13(2):96-105, DOI: 10.12739/NWSA.2018.13.2.1A0404.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su, insanların hayatlarını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmeleri için önemli bir maddedir. Bu sebeple su kalitesinin kontrolü ve takibi oldukça önemlidir. Atıksu arıtma tesislerinin yönetimi ve performansının belirlenmesinde de su kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesi önemli rol oynamaktadır. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), atıksu yönetim ve planlamasında kullanılan temel parametrelerdendir. BOİ testi yapmak sorumluluk gerektiren hazırlık ve analiz aşamalarını içermektedir. Bu işlem yaklaşık olarak beş gün sürmektedir. Ölçümlerin zorluğu ve uzun olması analizlerin maliyetlerini de arttırmaktadır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) testi numune alındıktan sonra üç saat içerisinde sonuçlandırılabilir. BOİ değeri ölçüm süresi kısa olan başka parametreler ile ilişkilendirilebilirse atıksu arıtma tesisi işletim ve kontrolünde kolaylık sağlayabilecektir. Matematik modeller atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve optimum koşullarda işletilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyokimyasal oksijen ihtiyacını hızlıca elde etmek ve analizlerin, analiz sırasında oluşacak olumsuz koşullardan etkilenmemesi adına birçok modelleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde yapay sinir ağları (YSA) aracılığıyla kurulan tahmin modellerinin ağırlıkta olduğunu ve bu modellemelerde girdi parametresi olarak sıcaklık (t), tesis giriş debisi (Q), pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM) miktarı parametrelerinin kullanıldığı gözlemlenmiştir [1, 2 ve 3]. Bu parametrelerle beraber toplam azot (tN) ve toplam fosfor (tP) parametrelerine yer verilen çalışmalara da rastlanmıştır [4, 5 ve 6].

Gernaey vd. (2006), atıksu arıtma tesisi performansının incelenmesinde YSA ile çalışarak toplam azot ve toplam keldal azotu parametrelerini esas alarak, çalışmanın sonucunda atıksu arıtma tesisi performansının belirlenmesinde uygunluk gösterdiğini bulmuştur. t, pH, AKM, KOİ parametrelerine ek olarak elektriksel iletkenlik (Eİ) parametresi ile de modelleme çalışması yapılmıştır [7]. Hastane atıksularının simülasyonunda YSA yöntemi kullanılmıştır [8]. Atıksu arıtma tesisi giriş KOİ, BOİ ve AKM değerleri ile çıkış suyundaki BOİ miktarı tahmini çalışması da yapılmıştır [9]. Biyokimyasal oksijen ihtiyacını tahmin etmede kullanılan yöntemler ağırlıklı olarak yapay sinir ağları içermektedir. Regresyon modelleri ile yapılan modellere de rastlanmıştır ancak bu çalışmalarda kullanılan modeller yapay sinir ağları ile karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır [10,11]. Atıksu arıtma tesisleri üzerinde çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) yöntemi ile yapılan çalışmalara rastlanmamıştır. Bu çalışmada ÇDURE yönteminin atıksu arıtma tesislerinde tahmin çalışmalarını üzerine uyarlanabilirliği tartışılmıştır. Yapılan tahmin çalışmalarında gözlem süreleri 2 hafta [12], 527 gün [13], 4 yıl [14], 104 gün [15], 10 ay [16] gibi değişken zaman dilimlerini içermektedir. Bu değişken zaman dilimlerinden ve tesis yükünün net olarak belirlenebilmesi için mevsimsel hava değişimleri de göz önünde bulundurulması amacıyla gözlem süresi 1 yıl süre ile sınırlandırılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Atıksu kaynaklı çevre kirliliğinin kontrol altına alınması ve önlenmesi açısından atıksu arıtma tesislerinin iyileştirilmesi buna paralel olarak geliştirilmesi hakkında çalışmalar yapılmaktadır. Tesis işletmesinin daha pratik, güvenilir ve ekonomik hale getirilebilmesi için çalışmalara devam edilmektedir. Yapılan bu çalışmalardan beklenen, en ekonomik yoldan güvenilirlik faktöründen taviz vermeden biyokimyasal oksijen ihtiyacının doğru bir şekilde tahmin edilmesidir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacının laboratuvar ortamında ölçüldüğü göz

önünde bulundurulduğunda bu işlem hem zaman alıcı bir işlemdir hem de ekonomik bir çözüm oluşturmamaktadır. Bu nedenle daha hızlı ve daha ekonomik bir yönteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda sentezlenen tahmin yönteminin, ülkemizde atıksu arıtma tesislerinde yaygın olarak ölçülen biyokimyasal oksijen ihtiyacının maliyetini önemli bir oranda azaltılacağı düşünülmektedir.

3. ANALİTİK ÇALIŞMA (ANALYTICAL STUDY)

Konumu Şekil 1'de gösterilen Hurma Atıksu Arıtma Tesisi (AAT), 1999 yılında inşaatı tamamlanarak Antalya ilinin hizmetine açılmıştır. Tesis Antalya'nın batı bölgesindeki Hurma mevkiinde yer almaktadır. Mevcut işletme kapasitesi ile birlikte günlük olarak 210000m³ giriş debisine ve 1 400 000 eşdeğer nüfusa hizmet verebilecek büyüklüktedir.



Şekil 1. Hurma AAT'nin konumu
(Figure 1. The location of Hurma WWTTP)

3.1. Çoklu Regresyon Analizi (ÇRA) (Multiple Regression Analysis, MRA)

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı parametresinin değişimi doğrusal bir fonksiyona bağlı olmadığı için çalışmada bu parametreyi tahmin etmek amacıyla 3 tip regresyon modeli kullanılmıştır. Çalışmada doğrusal fonksiyona ek olarak üs (kuvvet) fonksiyonu ve üstel fonksiyon kullanılmıştır. Oluşturulan modeller içinde eğitim setinde en iyi sonucu veren modellerden faydalanılarak regresyon katsayıları bulunup test setinde de aynı aşamalar uygulanmıştır. Regresyon modellerinin kurulmasında kullanılan fonksiyonlar aşağıda verilmiştir. Doğrusal fonksiyon;

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_m * x_m \quad (1)$$

Üs (kuvvet) fonksiyon;

$$y = b_0 * x_1^{b_1} * x_2^{b_2} * \dots * x_m^{b_m} \quad (2)$$

Üstel fonksiyon;

$$y = b_0 + e^{b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1}} \quad (3)$$

Kullanılan fonksiyonlar yukarıda verilen denklemler ile ifade edilmiştir. Denklemlerde; $x_0, x_1, x_2, \dots, x_m$ değerleri bağımsız değişkenleri, $b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$ değerleri regresyon katsayılarını, y ise



bu bağımsız değişkenler yerine konularak elde edilen bağımlı değişkenleri göstermektedir.

3.2. Çok Değişkenli Uyarlamalı Regresyon Eğrileri (ÇDURE) (Multivariable Adaptive Regression Curves, MARS)

Friedman tarafından 1991 yılında geliştirilen çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) parametrik olmayan regresyon analizinin bir formudur. Uygulamalı alanların çoğunda, değişkenler arasında doğrusallık bulunmayan olayları temsil edebilmek için parametrik olmayan regresyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu modelin asıl avantajı tahmin değişkeni ve bağımlı arasındaki karmaşık ve lineer olmayan ilişkiyi açıklayabilmesidir [17]. Bu yöntemde değişkenler arasında herhangi bir varsayıma gidilmemektedir. Yöntemde mevcut veriler üzerinden taban fonksiyonları ve bu taban fonksiyonları ile ilişkilendirilmiş katsayılar kullanılmaktadır. Bu yöntem bağımsız değişkenleri bölgelere ayırarak, her bölgeyi bir regresyon eşitliği ile açıklamaktadır. Ayrıca amaç değişkeni hem açıklayıcı değişkenlerle hem de aralarındaki etkileşimlerle meydana gelen taban fonksiyonlarının katkılarıyla tahmin edilmektedir. ÇDURE modeli elde edilirken hem ileriye hem de geriye doğru ilerleme algoritmalarından yararlanılmaktadır. Analizde kullanılan bağımsız değişkenlerin büyüklüklerinin farklı aralıklarda olması katsayıların optimizasyonunu zorlaştırmaktadır. Optimizasyonu kolaylaştırmak adına veriler (0.1-0.9) arasında normalize edilmiştir. Analizler yapıldıktan sonra elde edilen denklemlerin hem diğer yöntemlerle kıyaslanması hem de ham verilere daha kolay ulaşılabilmesi için denklem sonucunda elde edilen normalize veriler tekrar anormalize edilmiştir. Normalize değeri elde etmek için kullanılan denklem Denklem 4'te gösterilmiştir.

$$\text{Normalize Değer} = \left[\frac{\text{Ölçülen Değer} - \text{Minimum Değer}}{\text{Maximum Değer} - \text{Minimum Değer}} \right] \times (0,9 - 0,1) + 0,1 \quad (4)$$

Model sonuçlarından elde edilen çıktı değerleri çeşitli kriterlere göre değerlendirilmiştir. Modeller arasında daha iyi bir kıyas yapılabilmesi ve sonuçların daha doğru değerlendirilmesi açısından birden fazla değerlendirme ölçütü kullanılmıştır. Çıktı değerlerinin gerçek verilerle korelasyonu ve tahmin sonuçlarının doğruluğu, karesel hatanın ortalama karekökü (KHOK), ortalama mutlak hata (OMH) ve determinasyon katsayısı (R^2) ile değerlendirilmiştir. KHOK, OMH ve R^2 değerlerine ait denklemler sırasıyla Denklem 5, Denklem 6 ve Denklem 7'de verilmiştir.

Karesel hatanın ortalama karekökü (KHOK):

$$\text{KHOK} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (BOI_{s_g} - BOI_{s_g})^2} \quad (5)$$

Ortalama mutlak hata (OMH)

$$\text{OMH} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |BOI_{s_g} - BOI_{s_g}| \quad (6)$$

Determinasyon katsayısı (R^2)

$$R^2 = \frac{(BOI_{s_g} - \overline{BOI_{s_g}})(BOI_{s_t} - \overline{BOI_{s_t}})}{\left[\sum_{i=1}^N (BOI_{s_g} - \overline{BOI_{s_g}})^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^N (BOI_{s_t} - \overline{BOI_{s_t}})^2 \right]^{1/2}} \quad (7)$$

Denklemlerde;



BOI_{g_t} : biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerinin gözlenmiş değerini;
 BOI_{s_t} : biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerinin modellenmiş değerini;
 N : veri sayısını;
 \overline{BOI}_{s_g} : biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerinin ortalamasını;
 \overline{BOI}_{s_t} : biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerinin ortalamasını temsil etmektedir.

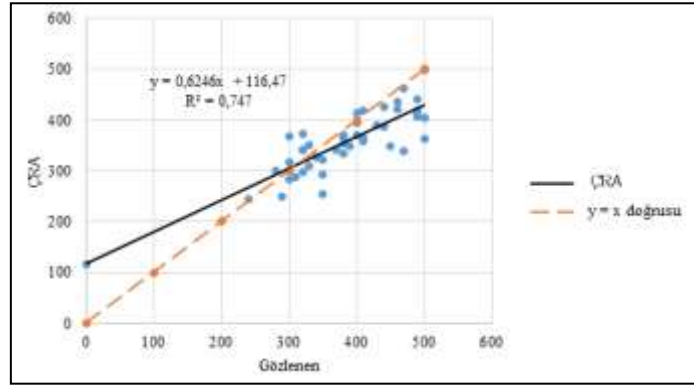
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Çoklu regresyon analizi (ÇRA), çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE), ile yapılan analizlerin tamamında giriş havuzuna ait veriler düzenlenmiş, eğitim ve test kümesi olmak üzere iki ayrı kısma bölünmüştür. Yapılan 2 modellemede bu yöntemler için verilerin %80'i test kümesinde (katsayıların belirlenmesi için), %20'si ise elde edilen katsayıların test edilmesinde kullanılmıştır. Kullanılan eğitim ve test verilerine ait temel istatistik özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Eğitim aşamasında en küçük karesel hatanın ortalama karekökü (KHOK) değerini ve en büyük determinasyon katsayısı (R^2) değerini veren üs fonksiyonunun denklem katsayılarını kullanarak Denklem 8 oluşturulmuştur. Üs fonksiyona ve diğer 2 fonksiyona ait analiz sonuçları Tablo 2'de özetlenmiştir. Tahmin edilen değerler ile gözlenen değerlere ait grafiklere Şekil 2 ve Şekil 3'te yer verilmiştir.

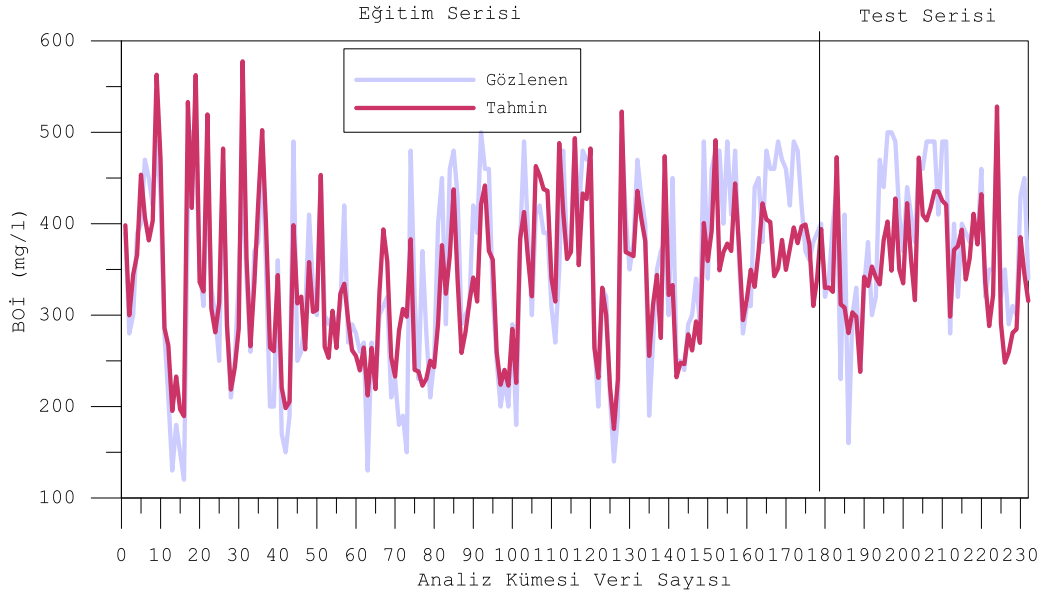
Tablo 1. Hurma AAT'ne ait analiz verilerinin temel istatistikleri
(Table 1. Basic statistics of Hurma Wastewater Treatment plant's analysis data)

Veri Tipi	x_{ort}	S_x	C_{sx}	C_v (S_x/x_{ort})	x_{mak}	x_{min}	x_{mak}/x_{ort}
Q (m ³ /s)	164.24	16.86	1.93	0.10	259.38	115.73	1.57
pH	7.86	0.21	-0.33	0.03	8.81	7.09	1.12
T (°C)	19.65	4.64	0.02	0.24	30.60	10.10	1.55
KOI (mg/l)	680.56	220.43	0.42	0.32	1340.00	226.00	1.96
BOI ₅ (mg/l)	353.53	97.83	-0.31	0.28	500.00	120.00	1.41
AKM (mg/l)	356.71	186.59	1.69	0.52	1288.00	100.00	3.61
tN (mg/l)	39.48	8.43	0.45	0.21	65.80	17.50	1.66
tP (mg/l)	5.99	3.37	4.95	0.56	27.00	3.24	4.51
Eİ (µs/cm)	1885.99	125.56	-1.22	0.07	2080.00	1392.00	1.10

$$BOI = 15,806 * (Q^{-0.026}) * (pH^{-0.048}) * (T^{-0.073}) * (KOI^{0.62}) * (AKM^{0.058}) * (tN^{-0.063}) * (tP^{-0.006}) * (EI^{-0.078}) \quad (8)$$



Şekil 2. Modele ait ÇRA tahmin modelinden elde edilen BOİ değerlerine ait saçılım diyagramı
(Figure 2. Scatter diagram of MRA model)



Şekil 3. Modele ait ÇRA modelinin zaman serisi
(Figure 3. Time series of MRA model)

Çoklu değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri modelinde de çoklu regresyon modelinde olduğu gibi analiz verilerinin %80'i eğitim, %20'si ise test kümesinde kullanılmıştır. En iyi tahmin denklemi 15'te gösterilmiştir. Modelin oluşturduğu BF_n taban fonksiyonları;

$$BF_2 = \max(0, 806 - KOİ) \quad (9)$$

$$BF_4 = \max(0, 19.6 - T) \quad (10)$$

$$BF_7 = \max(0, T - 23) \quad (11)$$

$$BF_9 = \max(0, T - 24.2) \quad (12)$$

$$BF_{11} = \max(0, T - 22.5) \quad (13)$$

$$BF_{13} = \max(0, KOİ - 609) \quad (14)$$

olarak belirlenmiştir.

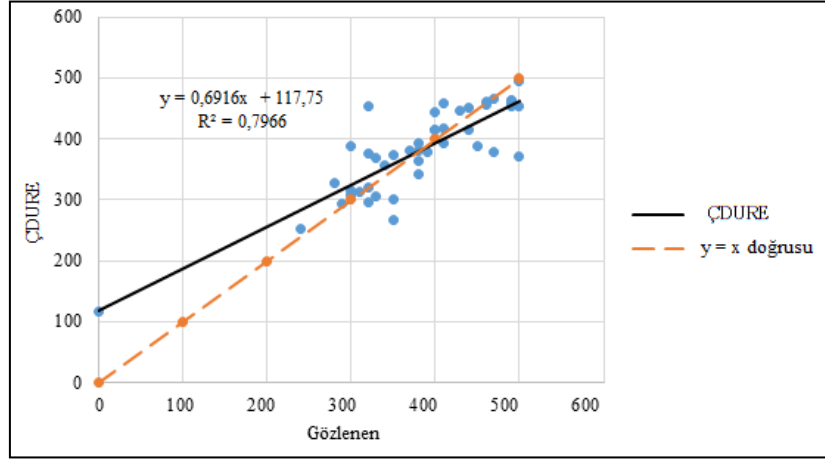
$$BOİ = 434.28 - 0.431546 * BF_2 - 4.48034 * BF_4 + 269.432 * BF_7 - 79.4639 * BF_9 + 197.508 * BF_{11} + 0.0917189 * BF_{13} \quad (15)$$

ÇDURE'den elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde ÇDURE modeli ÇRA modelinden daha yüksek determinasyon katsayısı ve daha düşük KHOK ve OMH değerleri verdiği görülmektedir.

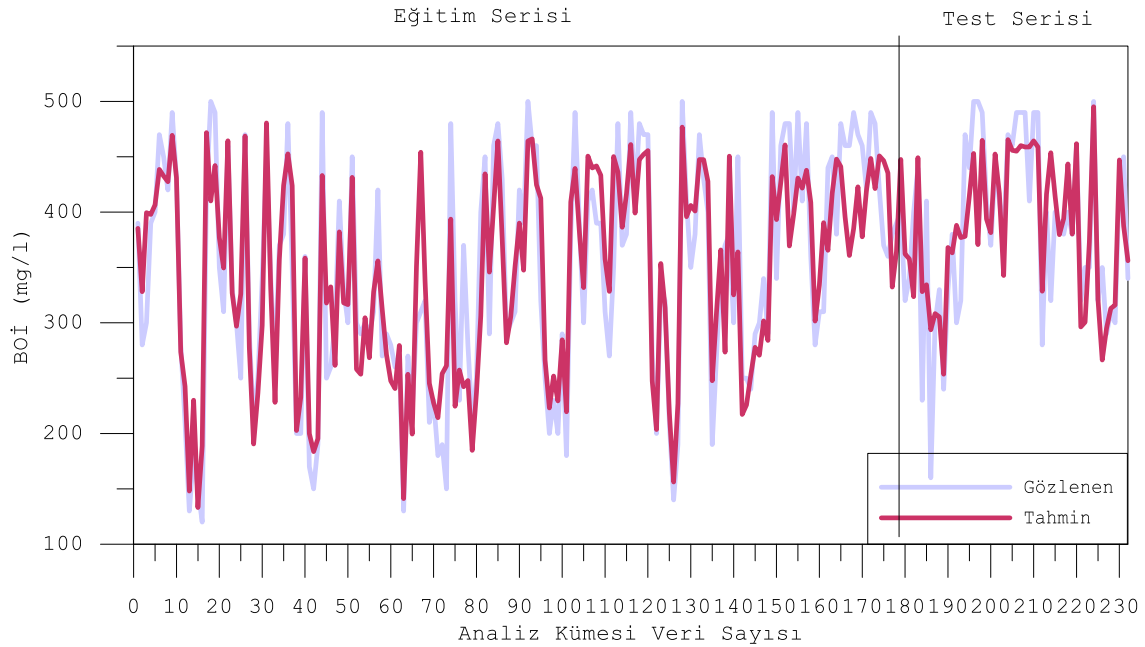
Tablo 2. Modele ait ÇDURE sonuçları
(Table 2. The test performances of the MARS in BOD estimation)

Model Girdileri	R ²		KHOK (mg/l)		OMH (mg/l)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Üstel Fonksiyon	0.8235	0.7816	66.3791	61.4826	54.7340	52.1596
Üs Fonksiyon	0.8398	0.8024	54.5952	53.3596	43.3279	42.1192
Lineer Fonksiyon	0.8280	0.7787	56.3262	56.8370	45.1244	44.8385
ÇDURE	0.8799	0.7966	47.7378	44.1090	37.7566	31.4827

Test ve gözlemlenen değerlere ait grafikler Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Modele ait ÇDURE tahmin modelinden elde edilen BOİ değerlerine ait saçılım diyagramı
(Figure 4. Scatter diagram of MARS model)



Şekil 5. Model'e ait ÇDURE modelinin zaman serisi
(Figure 5. Time series of MARS model)



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

Hazırlanan çalışmada Antalya ilinde bulunan Hurma Atıksu Arıtma Tesisi giriş havuzunda biyokimyasal oksijen ihtiyacı tahminine yönelik çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında regresyon analizi ile birlikte en iyi tahmin modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Regresyon analizi yapılırken daha iyi sonuçlar elde etmek adına 3 farklı regresyon analizi denklemlerinin yanı sıra çoklu değişkenli uyarlanabilir regresyon analizi eğrileri yöntemine de yer verilmiştir. Her bir modelleme için eğitim setinde en düşük hata değerini veren denklem test setine uygulanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen sonuçlar görselleştirilmiştir. Kurulan modeller arasında en iyi performansı çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri modelinin verdiği gözlemlenmiştir. En iyi modeli belirlemede kullanılan en düşük karesel hataların ortalamasının karekökü ve ortalama mutlak hata verileri ÇDURE modelinde elde edilmiştir. Diğer modele göre daha yüksek determinasyon katsayısı ve daha düşük hata değeri elde etmesi sebebiyle ÇDURE modeli diğer modelden daha başarılı olmuştur. Atıksu arıtma tesisi giriş havuzundaki BOİ değerini tahmin etmeye yönelik çalışmada oluşturulan deneme çalışmalarında kullanılabilir tahminler elde edilmiştir. Kurulan modellerin BOİ değişimini yansıtmaya ve pik değerleri tahmin edebilme konusunda başarılı olduğu anlaşılmıştır. Doğrusal modellerde katsayı değişkenin tüm değerleri için sabit kalırken, ÇDURE modelinde düğüm değerlerine bağlı olarak katsayı farklı değerler alabilmektedir. Bu uygulamada sürekli ve kesikli değişkenlerden oluşan bağımsız değişkenler kullanılarak bağımlı değişkene etkileri gösterilmiştir. Bağımsız değişkenleri değişimleri, bağımlı değişkeni bulmak için kullanılan taban fonksiyonlarını etkilediği için bağımlı değişken daha iyi karakterize edilmiştir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

AAT	: Atıksu arıtma tesisi
AKM	: Askıda katı madde
BF_n	: ÇDURE modelinin oluşturduğu taban fonksiyonu
BOİ	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)
ÇDURE	: Çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri
ÇRA	: Çoklu regresyon analizi
Eİ	: Elektriksel iletkenlik
KHOK	: Karesel hatanın ortalama karekökü
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)
N	: Veri sayısı
Q	: Giriş suyu debisi (m ³ /g)
OMH	: Ortalama mutlak hata
R^2	: Determinasyon katsayısı
t	: Sıcaklık (°C)
tN	: Toplam azot miktarı (mg/l)
tP	: Toplam fosfor miktarı (mg/l)

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 21-23 Eylül 2017 tarihinde Bayburt'ta düzenlenen International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET) Konferansında sözlü bildiri olarak sunulmuş ve yeniden yapılandırılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Yazarlar, sağlanan verilerden dolayı ASAT Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerini sunmaktadırlar.



KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Keleş, R., Açıklalın, S. ve İleri, R., (1999). Adapazarı Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Parametreleri ve Verim Değerlerinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi. Sakarya Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Müh. Bölümü, Esentepe Kampusu, Sakarya
- [2] Açıklalın, S., (2005). Atıksu Arıtma Tesisi Veriminin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [3] Lee, J.W., Suh, C., Hong, Y.S.T., and Shin, H.S., (2011). Sequential Modelling of a Full-Scale Wastewater Treatment Plant Using an Artificial Neural Network. Bioprocess Biosyst. Eng., 34, 963-973.
- [4] Doğan, E., Ateş, A., Yılmaz, E.C., and Eren, B., (2008). Application of Artificial Neural Networks to Estimate Wastewater Treatment Plant Inlet Biochemical Oxygen Demand. Environmental Progress, 27, 4, 439-446.
- [5] Sinan, R.K., (2010). Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Ön Arıtım ve Biyolojik Arıtım Çıkış Parametrelerinin YSA ile Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [6] Özel, O., (2011). Hurma (Antalya) Atıksu Arıtma Tesisi Performansının Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Adana; Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] Heddam, S., Lamda, H., and Filali, S., (2016). Predicting Effluent Biochemical Oxygen Demand in a Wastewater Treatment Plant Using Generalized Regression Neural Network Based Approach: a Comparative Study. Environmental Processes, Cilt:3, Sayı:1, ss:153-165.
- [8] Pai, T.Y., Tsai, Y.P., Loa, H.M., Tsai, C.H., and Lin, C.Y., (2007). Grey and Neural Network Prediction of Suspended Solids and Chemical Oxygen Demand in Hospital Wastewater Treatment Plant Effluent. Comput. Chem. Eng., 31, 1272-1281.
- [9] Mjalli, F.S., Al-Asheh, S., and Alfadala, H.E., (2007). Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance. J. Environ. Manage., 83, 329-338.
- [10] Karakaya, K., (2012). Üretimlerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi Yapay Zekâ Modelleriyle Tam Ölçekli Çamur Çürütme Reaktörlerinden Elde Edilen Biyogaz Üretiminin Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Fuzzy Logic Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Civelekoğlu, G., (2006). Arıtma Proseslerinin Yapay Zeka ve Çoklu İstatistiksel Yöntemler İle Modellenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [12] Häck, M. and Köhne, M., (1996). Estimation of Wastewater Process Parameters Using Neural Networks. Water Science and Technology, 33, 1, 101-115.
- [13] Huang, Y.C. and Wang, X.Z., (1999). Application of Fuzzy Causal Networks to Waste Water Treatment Plants. Chem. Eng. Sci., 54, 2731-2738
- [14] Moatar, F., Fessant, F., and Poirrel, A., (1999). pH Modelling by Neural Networks. Application of Control and Validation Data Series in The Middle Loire River. Ecological Modelling, 120, 141-156.
- [15] Pulcu Yıldız, S., (2009). Denizli (Merkez) Atıksu Arıtma Tesisi Performansının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Şanlıurfa.



- [16] Hamed, M.M., Khalafallah, M.G., and Hassanien, E.A., (2004). Prediction of Wastewater Treatment Plant Performance Using Artificial Neural Networks. *Environmental Modelling & Software*, 19, 919-928.
- [17] Kiři, Ö. And Parmar, K.S., (2015). Application of Least Square Support Vector Machine and Multivariate Adaptive Regression Spline Models in Long Term Prediction of River Water Pollution. *Journal of Hydrology*, Cilt:534, Sayı:1, ss:104-112.
- [18] Baki, O.T., (2017). Antalya Hurma Atıksu Arıtma Tesisi'nde Biyokimyasal Oksijen İhtiyacının Farklı Yapay Zeka Teknikleri İle Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [19] Civelekoğlu, G., Yiđit, N.O., Diamadopoulou, E., and Kitiř, M., (2009). Modelling of COD Removal in a Biological Wastewater Treatment Plant Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Artificial Neural Network. *Water Science & Technology*, Cilt:60, Sayı:6, ss:1475-1487.
- [20] Denizci, Ö.E., (2009). Aktif Çamur Sistemlerinin Dinamik Simülasyonu: İstanbul'da Tuzla ve Pařaköy Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul; Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] Düđenci, M., (2007). Arı Algoritması'nın Yapay Sinir Ağı Öğrenmesi İçin Kullanımı ve Atıksu Arıtma Tesis Kontrolü Uygulaması. Doktora Tezi, Sakarya; Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] Gernaey, K.V., Capodaglio, A.G., Mikkelsen, P.S., Henze, M., and Ra'Duly, B., (2006). Artificial Neural Networks for Rapid WWTP Performance Evaluation: Methodology and Case Study. *Environmental Modelling & Software* 22 (2007), 1208-1216.
- [23] Güçlü, D., (2007). Tam Ölçekli Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Bilgisayar Programı Kullanılarak Modellenmesi ve Arıtma Performanslarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Konya; Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] Nacar, S., Kankal, M. ve Hınıs, M.A., (2018). Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) ile Günlük Akarsu Akımlarının Tahmini-Haldizen Deresi Örneđi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 8, 1, 38-47.
- [25] Pai, T.Y., Wang, S.C., Chiang, C.F., Su, H.C., Yu, L.F., Sung, P.J., Lin, C.Y., and Hu, H.C., (2009). Improving Neural Network Prediction of Effluent from Biological Wastewater Treatment Plant of Industrial Park Using Fuzzy Learning Approach. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. Cilt:32, Sayı:1, ss:781-790.
- [26] Ra'duly, B., Gernaey, K.V., Capodaglio, A.G., Mikkelsen, P.S., and Henze, M., (2007). Artificial Neural Networks for Rapid WWTP Performance Evaluation: Methodology and Case Study. *Environ. Modell. Softw.*, Cilt:22, Sayı:1, ss:1208-1216.