



Nurcan Öztürk

Hasan Tahsin Öztürk

Karadeniz Teknik Univerity, Trabzon-Turkey  
[h.nurcan@gmail.com](mailto:h.nurcan@gmail.com); [htozturk@ktu.edu.tr](mailto:htozturk@ktu.edu.tr)

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.3.2A0153">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.3.2A0153</a>	
ORCID ID	0000-0002-2907-5941	0000-0001-8479-9451
CORRESPONDING AUTHOR	Nurcan Öztürk	

## DENİZE DEŞARJ YAPILARININ ÖĞRETME VE ÖĞRENME TABANLI ALGORİTMAYLA OPTİMUM TASARIMI

### ÖZ

Atıksuların denize deşarj sistemleriyle seyreltilerek uzaklaştırılması ülkemizde ve dünyada sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Gittikçe artan malzeme ve işçilik maliyetlerine karşın kaynakların sınırlı olması nedeniyle yapılar yeterli dayanıma sahip bir şekilde tasarlanırken maliyetin de minimum düzeyde olması sağlanmalıdır. Bu çalışmada, deniz deşarjı sistemlerinin minimum maliyetle optimum tasarımı Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) adıyla bilinen sezgisel bir algoritmayla gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen optimum tasarımda deşarj hattı çapı ve boyu, difüzörün boyu ile çapı gibi değişkenler dikkate alınmıştır. Ayrıca optimizasyon probleminde difüzördeki geriye akış durumu, atıksu jetleri arasındaki girişim durumu ve boru hattı stabilitesi de incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon, Denize Deşarj, Seyrelme, Minimum Maliyet, ÖÖTO Algoritması

## OPTIMUM DESIGN OF MARINE DISCHARGE STRUCTURES BY TEACHING AND LEARNING BASED ALGORITHM

### ABSTRACT

Removing of wastewater by diluting with marine discharge systems is a frequently applied method in our country and in the world. Despite the increasing cost of materials and labor, due to the limited resources, the structures must be designed with sufficient strength and the cost should be minimized. In this study, the optimal design of marine discharge systems having minimum cost was performed by a metaheuristic algorithm known as Teaching Learning Based Optimization (TLBO). Variables such as discharge pipeline diameter and length, diameter of the diffuser and diameter were taken into consideration in the optimum design. In addition, in the optimization problem, the flow back state in the diffuser, the interference state between the wastewater jets and the pipeline stability were also examined.

**Keywords:** Optimization, Marine Discharge, Dilution, Minimum Cost, TLBO Algorithm

### How to Cite:

Öztürk, N. ve Öztürk, H.T., (2018). Denize Deşarj Yapılarının Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Algoritmayla Optimum Tasarımı, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13(3): 235-242. DOI:10.12739/NWSA.2018.13.3.2A0153.



## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Denize deşarj yapıları, arıtılmış atıksuların alıcı su ortamlarına (denizler, göller, okyanuslar) deşarjında kullanılmaktadır. Atıksulardaki kirleticiler arıtma yöntemleriyle tamamıyla uzaklaştırılmadığından doğru bir şekilde tasarlanan, inşa edilen ve işletilen deniz deşarj yapıları ile bu atıksulardaki kirleticiler etkili bir şekilde seyreltilerek kirleticilerin konsantrasyonu büyük oranda azaltılabilir. Dolayısıyla bu yapılar, deniz ortamını kullanan insanlar, bitki ve hayvanlar üzerindeki kirleticilerin olumsuz etkisini azaltmaktadır [1]. Deniz deşarj sistemlerinin maliyet analizinde çapa ve debiye bağılı ilişkiler geliştirilmiştir. Ön arıtma sistemlerinin maliyeti dışında, bu sistemlerde en çok kullanılan boru (CTP, YYPE) hatları için başlıca maliyet bileşenleri, boru temini, boruların karada eklenmesi, karada basınç testi, denizde basınç testi, boruların denizde taşınması, su altında flanşlı boru bağlantısı, hendek tabanının montaj yastıkları ile tesviyesi, kırma taşla hendek dolgusu, işaret şamandırası imalat ve montajı, tespit kütlesi, nakliye, etüd, mühendislik ve müşavirlik hizmetleri olarak belirlenmiştir [2]. Geçmişte yapıların daha ekonomik tasarımlarının gerçekleştirilmesi mühendislik önsezisine bağılıken, optimizasyon tekniklerinin ve bilgisayarların gelişmesiyle birlikte yapıların minimum maliyetle tasarlanabilmeleri olağan hale gelmiştir [3]. Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) Algoritması çelik kafes sistem yapıların minimum ağırlıkla optimum tasarımı [4], yapıların boyut ve şekil optimizasyonu [5], akarsuda çözünmüş oksijen konsantrasyonunun modellenmesi [6] gibi birçok farklı amaçla literatürde kullanılmıştır. Boru hatlarının optimizasyonu ile ilgili yapılmış çalışmalar incelendiğinde ise çok amaçlı hibrit optimizasyon algoritması [7], genetik algoritma [8], oransal diferansiyel algoritma [9] gibi farklı algoritmaların kullanıldığı görülmektedir.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada denize deşarj boru hattının Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) Algoritmasıyla minimum maliyetle optimum tasarımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada deşarj boru hattının uzunluğu difüzördeki çıkış ucu sayısı ve kullanılan deşarj borusunun çapı tasarım değişkeni olarak dikkate alınarak deşarj borusu ve difüzör maliyetlerinden oluşan amaç fonksiyonunun minimizasyonu hedeflenmiştir. Söz konusu algoritma ile bu tür sistemlerin optimum tasarımına literatürde rastlanmamıştır.

## 3. METEDOLOJİ (METHODOLOGY)

Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması, öğretmenin sınıftaki öğrenciler üzerindeki etkisini taklit eden sezgisel bir algoritma olduğu bilinmektedir [10]. Öğretmen ve öğrenci aşamalarından ibaret olan algoritmada öğretmen aşaması, öğretmenin öğrencileri eğitmesi, öğrenci aşaması ise öğrencilerin kendi aralarındaki etkileşimi sonucu gerçekleşen öğrenmeyi temsil etmektedir. Öğrenme sürecinde öğretmenin bilgi düzeyi ne kadar yüksekse öğrencilerden elde edilen çıktılar da kalitesi o denli yüksek olmaktadır. Burada öğrencilerden elde edilen çıktılar optimizasyon problemindeki aday çözümleri temsil etmektedir. Algoritmada nesil (popülasyon) sınıfta bulunan öğrenciler ve öğretmenden oluşmaktadır. Algoritmanın başlangıcında nesli oluşturan bireyler rastgele olarak üretilmekte ve bunlardan en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip olanı öğretmen ( $X_{\text{öğretmen}}$ ) olarak dikkate alınmaktadır. Öğretmen aşamasında öğretmen olarak seçilen birey, öğrenci olarak seçilen diğer bireylerin bilgi düzeylerini kendi bilgi düzeyine yükseltmeye çalışmaktadır.



Algoritmada bu sürece benzetilen söz konusu işlemle yeni eğitilmiş öğrenci bireyler:

$$X_{\text{yeni}} = X_i + r(X_{\text{öğretmen}} - T_F X_{\text{ort}}) \quad (1)$$

(1) ifadesiyle üretilmektedir. Burada  $X_{\text{yeni}}$  yeni üretilen öğrenci bireyi,  $X_i$  öğrenci olarak belirlenen herhangi bir çözümü,  $r$  rastgele üretilen ve 0 ile 1 arasında değer alan bir sayıyı,  $T_F$  1 ya da 2 değerini rastgele alan bir katsayıyı ve  $X_{\text{ort}}$  ise bireylerin bilgi düzeyi ortalamasını göstermektedir. Eğer yeni üretilen bireyin bilgi düzeyi eski bireyden daha yüksek olduğu belirlenirse algoritma eski bireyi yeni eğitilmiş bireyle yer değiştirmektedir. İkinci aşama olan öğrenci aşamasında algoritma, daha önce de belirtildiği gibi öğrencilerin kendi aralarında olan etkileşimlerinin benzetimini gerçekleştirmektedir. Burada öğrenci olarak seçilen bireyler ( $X_i$ ), kendisinde farklı olan ve popülasyon içinden rastgele seçilen bir bireyle ( $X_j$ ) etkileşime sokulmaktadır. Bu süreç algoritmada matematiksel olarak:

$$\text{eğer } f(X_i) > f(X_j) \rightarrow X_{\text{yeni}} = X_i + r(X_j - X_i) \quad (2)$$

$$\text{eğer } f(X_j) \geq f(X_i) \rightarrow X_{\text{yeni}} = X_i + r(X_i - X_j) \quad (3)$$

(2) ve (3) bağıntılarıyla gerçekleştirilmektedir. Etkileşim sayesinde yeni oluşturulan öğrenci bireyin ( $X_{\text{yeni}}$ ) bilgi düzeyi etkileşimden önceki bireyden ( $X_i$ ) daha yüksekse etkileşimden önceki öğrenci yenisiyle değiştirilmektedir [11].

### 3.1. Deşarj Sistemi Tasarımının Optimizasyon Problemine Dönüştürülmesi (Conversion of Discharge System Design to Optimization Problem)

Bu çalışmada bir deşarj boru hattının minimum maliyetle optimum tasarımı gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle amaç fonksiyonu boru hattında kullanılan borunun çapına göre belirlenen maliyetinden oluşmaktadır. Söz konusu amaç fonksiyonu:

$$f(x) = (L_{\text{boru}} + b_{\text{dif}}) M_{\text{boru}} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $L_{\text{boru}}$  difüzör uzunluğu hariç deşarj hattı uzunluğunu,  $b_{\text{dif}}$  difüzör uzunluğunu,  $M_{\text{boru}}$  ise çapa göre borunun maliyetini göstermektedir.

Tablo 1'de boru çapına göre dikkate alınan maliyet değerleri ve borunun birim boy ağırlıkları verilmektedir [12]. Bu problemin tasarım değişkenleri, Deşarj borusu hattının uzunluğu, boru çapı ve difüzördeki çıkış ucu sayısından oluşmaktadır. Tasarım değişkenlerinden  $X_1$  difüzör uzunluğu hariç deşarj hattı uzunluğunu,  $X_2$  deşarj borusu çapını ve  $X_3$  difüzördeki çıkış ucu sayısını göstermektedir. Söz konusu problemin optimum tasarımında seçilen tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları, artım değerleriyle tasarım değişkeninin optimizasyon sürecinde alabileceği değer sayısı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Boru çaplarına göre maliyet ve birim ağırlıklar [12]  
(Table 1. Cost and unit weights by pipe diameters [12])

Boru Çapı (mm)	Maliyet (₺)	Birim Boy Ağırlığı (N/m)
110	29.75	21.09
125	38.44	26.88
140	48.23	33.75
160	62.99	44.15
180	79.70	55.82
200	98.36	68.87
225	124.43	87.31
250	153.54	107.03
280	192.50	134.40
315	243.51	170.20
355	309.11	216.70
400	392.24	273.80
450	496.18	346.88
500	612.32	428.70
560	767.78	537.00
630	971.33	680.13
710	1233.22	862.99
800	1565.15	1094.31
900	1980.28	1384.29
1000	2444.18	1710.77
1200	3518.26	2438.37
1400	4787.39	3314.01
1600	6251.57	4321.80

Tablo 2. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları, artımları ve alabilecekleri değer sayısı  
(Table 2. Upper and lower limits, increments and number of available values of design variables)

Tasarım Değişkeni	Alt Sınır	Üst Sınır	Artım	Alabileceği Değer Sayısı
X <sub>1</sub>	300m	5000m	50m	95
X <sub>2</sub>	{110, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600} mm			23
X <sub>3</sub>	5 adet	30 adet	1 adet	26

Tasarımı gerçekleştirilen deşarj hattının sağlaması gereken koşulları, optimum tasarım sürecinde denetlenmek üzere aşağıda özetlenen sınırlayıcılar oluşturulmuştur. Bu sınırlayıcılardan ilk ikisi (g<sub>1</sub> ve g<sub>2</sub>) deşarj borusundaki atıksu hızının (V) 0.80m/s'den büyük 1.5 m/s'den küçük olması gerektiğini denetlemektedir.

$$g_1(x) = \frac{0,80}{V} - 1 \leq 0 \quad (5)$$

$$g_2(x) = \frac{V}{1,5} - 1 \leq 0 \quad (6)$$

g<sub>3</sub> ve g<sub>4</sub> sınırlayıcıları difüzördeki çıkış ucu sayısı ile deşarj borusu çapı arasındaki ilişkiyi, g<sub>5</sub> sınırlayıcısı toplam seyrelme sonucu son konsantrasyonun mevzuatta izin verilen sınır değeri aşmadığını, g<sub>6</sub> sınırlayıcısı sistemdeki mevcut hidrolik yükü, g<sub>7</sub> ve g<sub>8</sub> sınırlayıcısı difüzördeki geriye akış durumunu, g<sub>9</sub> sınırlayıcısı maxi seyrelmeyi, g<sub>10</sub> sınırlayıcısı atıksu jetleri arasındaki girişim durumunu, g<sub>11</sub> ise boru hattının stabilitesini denetlemektedir.



$$g_3(x) = \frac{n_{dif} \frac{\pi \cdot d_{dif}^2}{4}}{2 \frac{\pi \cdot d_{boru}^2}{4}} - 1 \leq 0 \quad (7)$$

$$g_4(x) = \frac{1 \frac{\pi \cdot d_{boru}^2}{4}}{n_{dif} \frac{\pi \cdot d_{dif}^2}{4}} - 1 \leq 0 \quad (8)$$

$$g_5(x) = \frac{C_{son}}{1000} - 1 \leq 0 \quad (9)$$

$$g_6(x) = \frac{h_t}{\text{Mevcut hidrolik yük}} - 1 \leq 0 \quad (10)$$

$$g_7(x) = \sum_{i=1}^{n_{dif}-1} \left( \frac{AD}{Ad_i} - 1 \right) \leq 0 \quad (11)$$

$$g_8(x) = \frac{1}{F_r} - 1 \leq 0 \quad (12)$$

$$g_9(x) = \frac{0,89 \cdot F_D}{1/d_{dif}} - 1 \leq 0 \quad (13)$$

$$g_{10}(x) = \frac{1/3 \cdot (\text{derinlik} - S_{max i})}{\text{derinlik}/6} - 1 \leq 0 \quad (14)$$

$$g_{11}(x) = \frac{F_H}{(W - F_L) \mu_s / f_e} - 1 \leq 0 \quad (15)$$

Bu sınırlayıcılardaki  $n_{dif}$  difüzördeki çıkış ucu sayısını,  $d_{dif}$  difüzördeki çıkış ucu çapını,  $d_{boru}$  deşarj borusu çapını,  $C_{son}$  seyrelmiş atıksuyun son konsantrasyon değerini,  $h_t$  sistemdeki toplam yük kaybını,  $AD$  deşarj borusu kesit alanını,  $Ad_i$  difüzördeki her bir çıkış ucunun kesit alanını,  $F_r$  Froud sayısını,  $F_D$  densimetrik Froud sayısını,  $S_{max i}$  maxi seviyede seyrelmeyi,  $F_H$  sürüklenme kuvveti ile atalet kuvveti toplamını,  $F_L$  kaldırma kuvvetini,  $W$  borunun su içine batmış haldeki ağırlığını,  $\mu_s$  zemin özelliklerine göre değişen sürtünme katsayısını,  $f_e$  ise emniyet katsayısını göstermektedir.

#### 4. BULGULAR VE TATIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Gerçekleştirilen sayısal uygulamada seçilen deşarj sistemi için optimizasyon parametreleri, diğer bir deyişle optimizasyon süreci boyunca sabit kabul edilen değerler Tablo 3'te sunulmuştur.

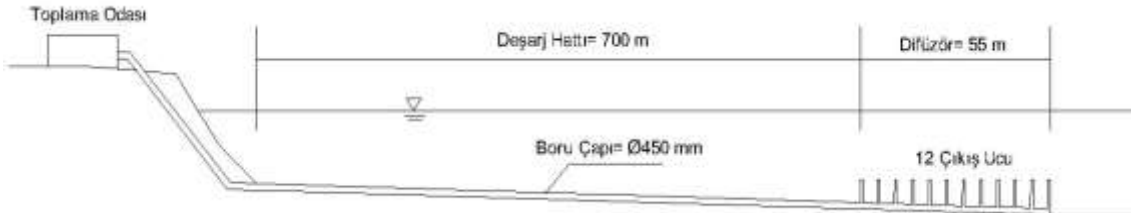
Sayısal uygulamada söz konusu parametrelere sahip deşarj hattının minimum maliyetle optimum tasarımı Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) Algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada algoritma MATLAB yazılımıyla kodlanmıştır. Koşumlarda Algoritmada 20 bireyden oluşan nesiller kullanılmış, maksimum amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı 2020 olan 100 bağımsız koşum gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın ulaştığı optimum tasarıma ilişkin değişkenlerin değerleri Tablo 4'te sunulmuştur. Optimum tasarım değişkenlerine göre çizilen deşarj hattının şematik şekli Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 3. Deşarj hattının tasarım parametreleri  
(Table 3. Design parameters of discharge line)

Optimizasyon Parametresi	Değeri
Nüfus	50000 kişi
Birim Debi	250L/N.G
Kanal İntikal Oranı	0.80
Sızma Debisi	10L/s
Atık Su Yoğunluğu	1kg/L
Deniz Yoğunluğu	1kg/L
Eğim	0.025
Koruma Bölgesi Genişliği	300m
Kritik Hız	0.06m/s
Kuzey Akıntı Hızı	0.05m/s
T90	1.5saat
C <sub>0</sub>	10 <sup>7</sup> adet/100/mL
Mevcut Hidrolik Yük	12m
Manning Pürüzlülük Katsayısı	0.015
Difüzör Borusu İle Deşarj Hattı Arasındaki Açık	45°
Difüzördeki Yük Kaybı	0.7m
Maksimum Seviye Yükselmesi	0.4m
Difüzör Çapı	0.1m
Akıntı Etkisiyle Derinlik	derinlik/5
Atıksu Tarlası Yüksekliği	20m
Eddy Difüzyon Katsayısı	0.01
Sürüklenme Kuvveti Katsayısı	0.8
Stabilite Hesabı İçin Akışkan Zerresinin Eksene Dik Yatay Hızı	1
Stabilite Hesabı İçin Hidrodinamik Atalet Kuvveti Sabiti	1.5
Stabilite Hesabı İçin Yatay İvme	0.2
Stabilite Hesabı İçin Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti Sabiti	0.65
Stabilite Hesabı İçin Sürtünme Katsayısı	0.9
Stabilite Hesabı İçin Emniyet Katsayısı	1.5

Tablo 4. Optimum tasarımda elde edilen tasarım değişkenlerinin değerleri  
(Table 4. Obtained values of design variables in optimum design)

Tasarım Değişkeni	Tasarım Değişkeni Tanımı	Optimum Değer
X <sub>1</sub>	Difüzör uzunluğu hariç deşarj hattı uzunluğunu	700 m
X <sub>2</sub>	Deşarj borusu çapı	450 mm
X <sub>3</sub>	Difüzördeki çıkış ucu sayısı	12 adet



Şekil 1. Minimum maliyetli deşarj hattının şematik gösterimi  
(Figure 1. Schematic representation of minimum cost discharge line)



Algoritmaların başarımlarını (performanslarını) karşılaştırmak üzere algoritmanın 100 bağımsız koşumdan elde edilen optimum tasarım maliyetlerine ve başarımlarına ilişkin istatistik bulgular Tablo 5'te, algoritmanın optimum sonuca ulaştıkları amaç fonksiyonu değerlendirme sayılarına ilişkin istatistik bulgular ise Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 5. Algoritmanın 100'er bağımsız koşumdan elde edilen minimum tasarım maliyetlerine ve başarımlarına ilişkin istatistik bulgular

(Table 5. The statistic findings obtained from 100 independent runs of the algorithm concerning the minimum design costs and performance ratios)

Açıklama	ÖÖTO
En Düşük Maliyet	363245.108
Ortalama Maliyet	366390.899
En Yüksek Maliyet	451841.133
Standart Sapma	15488.167
Başarımlar Oranı (%)	95

Tablo 6. Algoritmanın optimum sonuca ulaştığı amaç fonksiyonu değerlendirme sayıları

(Table 6. The evaluation number of the objective function that the algorithm reaches to the optimum result)

Açıklama	ÖÖTO
En İyi Amaç Fonksiyonu Değerlendirme Sayısı	100
Ortalama Amaç Fonksiyonu Değerlendirme Sayısı	598.4
En Yüksek Amaç Fonksiyonu Değerlendirme Sayısı	2020
Standart Sapma	358.2

Algoritmanın 100'er paralel koşumundan elde edilen ortalama maliyet değerleri incelendiğinde en düşük maliyetin 363245.108₺, ortalama maliyetin 366390.899₺, elde edilen en kötü maliyetin 451841.133₺, standart sapma ise 15488.167₺ olduğu görülmektedir. Tablo 5'te verilen başarımlar oranı paralel koşumlarda global optimuma ulaşılma yüzdesini ifade etmektedir. Diğer bir deyişle 100 koşumun 95'inde optimum sonuca ulaşılmıştır. Diğer taraftan global optimuma ulaşılan amaç fonksiyonu değerlerinin ortalamaları incelendiğinde ÖÖTO algoritmasının ortalama 598,4 amaç fonksiyonunu değerlendirerek global optimuma ulaştığı görülmektedir.

##### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada denize deşarj borusu hattının Öğretme ve öğrenme tabanlı optimizasyon (ÖÖTO) algoritmasıyla optimum tasarımı etkin bir şekilde yapılmıştır. Bir örnek üzerinde gerçekleştirilen optimum tasarımda 100 paralel koşumundan elde edilen en düşük maliyetin 363.245,108 ₺ olduğu ve bu koşumların %95'inde aynı sonuca ulaştığı görülmüştür. Bu durum paralel koşumlarda 2020 amaç fonksiyonu değerlendirmesi sonucunda söz konusu algoritmayla bulunan optimum değerlerin global optimuma daha yakın olduğunu göstermiştir. Bu tasarımla, atıksu ve içindeki kirleticiler deşarj ortamında seyreltilerek halk sağlığı ve estetik açıdan gerekli şartlar emniyetle ve ekonomik olarak sağlanmıştır.

##### 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.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tate, P.M., Scaturro, S., and Cathers, B., (2016). Marine Outfalls. In Springer Handbook of Ocean Engineering, Springer International Publishing, pp:711-740.
- [2] Öztürk, İ., (2011). Deniz Deşarjı Tesisleri Tasarımı. Su Vakfı Yayınları, ss:458.
- [3] Öztürk, H.T., (2016). İstinat Duvarlarının Öğretme ve Öğrenme Tabanlı Algoritmaya Optimum Tasarımı. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, ss:813-822.
- [4] Dede, T., (2014). Application of Teaching-Learning-Based-Optimization Algorithm for the Discrete Optimization of Truss Structures. KSCE Journal of Civil Engineering, Volume:18, Number:6, pp:1759-1767.
- [5] Dede, T. and Ayvaz, Y., (2015). Combined Size and Shape Optimization of Structures with a New Meta-heuristic Algorithm. Applied Soft Computing, Volume:28, pp:250-258.
- [6] Bayram, A., Uzlu, E., Kankal, M., and Dede, T., (2015). Modeling Stream Dissolved Oxygen Concentration Using Teaching-Learning Based Optimization Algorithm. Environmental Earth Sciences, Volume:73, Number:10, pp:6565-6576.
- [7] Fettaka, S. and Thibault, J., (2013). Pipeline Optimization Using a Novel Hybrid Algorithm Combining Front Projection and The Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II (FP-NSGA-II). IEEE Congress on Evolutionary Computation, ss:697-704.
- [8] Botros, K.K., Sennhauser, D., Jungowski, K.J., Poissant, G., Golshan, H., and Stoffregen, J., (2004). Multi-objective Optimization of Large Pipeline Networks Using Genetic Algorithm. Proceedings of the 5th Biennial International Pipeline Conference, ss:2005-2015.
- [9] Xie, X., Zeng, B., Nachabe, M., Harrington, W., and Powell, R., (2013). Water Distribution System Nitrification Control Via Optimized Flushing. Distribution Systems Symposium Conference and Exposition, 30 p.
- [10] Rao, R.V., Savsani, V.J., and Vakharia, D.P., (2011). Teaching-Learning-Based Optimization: A Novel Method for Constrained Mechanical Design Optimization Problems. Computer-Aided Design, Volume:43, Number:3, pp:303-315.
- [11] Rao, R.V., Savsani, V.J., and Vakharia, D.P., (2012). Teaching-Learning-Based Optimization: An Optimization Method for Continuous Non-linear Large Scale Problems. Information Sciences, Volume:183, Number:1, ss:1-15.
- [12] Kuzeyboru, (2017). Plastik Boru ve Ek Parçalar Fiyat Listeleri. <http://www.kuzeyboru.com.tr/SF/631/Hdpe%20Boru%20Fiyat%20Listesi%20Hdpe%20Pipe%20Price%20List%202017.pdf>