

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAKARYA İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA
SAHASI SIZINTI SULARININ GEN İFADELİ
PROGRAMLAMA İLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orhan YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Beytullah EREN

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAKARYA İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA
SAHASI SIZINTI SULARININ GEN İFADELİ
PROGRAMLAMA İLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

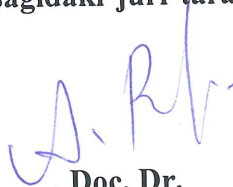
Orhan YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 29/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.



**Dr. Öğr. Üyesi
Beytullah EREN
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.
Ahmet ÇELEBİ
Üye**



**Doç. Dr.
Ömer Hulusi DEDE
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Orhan YILMAZ

28.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Beytullah EREN'e,

Ayrıca verilerin kullanılmasına izin veren Sakarya Büyükşehir Belediyesine ve çalışmam boyunca değerli bilgi ve birikimlerini eksik etmeyen Sakarya Büyükşehir Belediyesi Atık Yönetimi Şube Müdürü Yasin ÇAKIR'a,

Çalışmam sırasında kullandığım GeneXproTools 5.0 modelleme programını temin etmemde bana yardımcı olan Arş. Gör. Dr. Esra DOBRUCALI'ya,

Desteklerini bir an olsun eksik etmeyen, maddi ve manevi her daim yanımda olan dedem Ali DURAN'a,

Ve hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen, çalışmalarım sırasında her daim anlayış, hoşgörü ve sabır gösteren çok değerli aileme,

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Katı Atık.....	3
2.1.1. Katı atıkların berteraf yöntemleri	4
2.1.1.1. Katı atıkların düzenli depolanması.....	6
2.2. Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında Sızıntı Suyu Oluşumu.....	8
2.2.1. Sızıntı suyu oluşumu ve miktarı	9
2.2.2. Sızıntı suyunun karakterizasyonu.....	10
2.2.3. Sızıntı suyu arıtım metotları	11
2.3. Gen İfadeli Programlama.....	13
2.3.1. Çevre mühendisliği alanında uygulanan modeller	15
2.3.1.1. Belediye katı atık depolama alanlarındaki sızıntı suyu kalite ve miktarının modellenmesi.....	15
2.3.1.2. Cu (II)'nin endüstriyel sızıntı suyundan pomza ile adsorpsiyonunun modellenmesinde yapay sinir ağlarının kullanımı	16

2.3.1.3. Yağmura, ortam sıcaklığına ve atık bileşimine göre toprak dolgu sızıntı suyu BOİ ve KOİ değerinin tahmin edilmesi: MARS Sstatistik yaklaşımının araştırılması ...	16
2.3.1.4. Bir belediye katı atık depolama sahasındaki sızıntı suyu akış hızını kontrol etmek için sinir ağı tabanlı bir model	17
2.3.2. Diğer mühendislik alanında yapılan çalışmalar.....	17
2.3.2.1. Soğuk bağlanmış yapay agregaların kırma mukavemetinin genetik algoritmalar ile tahmin edilmesi	17
2.3.2.2. Yapay sinir ağı kullanarak belediye katı atık üretiminin tahmini: Masshad örneği.....	17
2.3.2.3. Tahran'da Katı Atık Üretimini Önlemek İçin Sinir Ağı ve Temel Bileşen - Regresyon Analizinin Karşılaştırılması	18
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal	20
3.2. Yöntem.....	20
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	28
4.1. GEP Model Sonuçları	29
4.2. A9 Senaryosundan Elde Edilen Sonuçlarının İncelenmesi.....	33
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	37
KAYNAKLAR	39
EKLER	41
ÖZGEÇMİŞ	42

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BOİ ₅	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
Cu	: Bakır
F ⁻	: Florür
Fe ⁺²	: Demir
GEP	: Gen İfadeli Programlama
GEP-RNC	: Gen İfadeli Programlama- Rastgele Sayısal Sabitler
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MSE	: Ortalama Karesel Hata
Pb	: Kurşun
R ²	: Kolerasyon Katsayısının Karesi
RMSE	: Ortalama Karesel Hata Karekökü
TK	: Toplam Krom
TKN	: Toplam Kjendal Azotu
Zn	: Çinko

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Entegre katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf yöntemleri	4
Şekil 2.2. Hendek metodu örneği	7
Şekil 2.3. Çukur metodu örneği	8
Şekil 2.4. Sızıntı suyunu hesaplama görseli.....	10
Şekil 2.5. GEP algoritmasının akış şeması.....	15
Şekil 3.1. GEP Modelinde kullanılan ayarlar sekmesindeki genel ayarlar	21
Şekil 3.2. Modelde kullanılan ayarlar sekmesindeki genetik operatörler	23
Şekil 3.3. Modelde kullanılan ayarlar sekmesindeki sayısal sabitler.....	23
Şekil 3.4. Modelde kullanılan fonksiyonlar (operatörler).....	24
Şekil 3.5. Anlık Sonuçların grafiksel gösterimi ve performans değerleri	25
Şekil 4.1. A9 modelinden elde edilen ifade ağacı (expression tree)	30
Şekil 4.2. Eğitim veri setinin deneysel-model sonuçlarına	33
Şekil 4.3. Test veri setinin deneysel-model sonuçlarına	34
Şekil 4.4. Eğitim veri setinin BOİ ₅ deneysel-model sonuçları karşılaştırmasıb	34
Şekil 4.5. Test veri setinin BOİ ₅ deneysel-model sonuçları karşılaştırmasıb.....	35

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Sızıntı suyu özellikleri	11
Tablo 2.2. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği katı atık değerlendirme ve bertaraf tesisleri deşarj standartları	13
Tablo 3.1. Eğitim ve test verilerinin istatistiki değerleri	20
Tablo 3.2. Modellemede kullanılacak parametrelerin kolerasyon değerleri	26
Tablo 3.3. GEP Modelinde kullanılan senaryolar	26
Tablo 4.1. Senaryolardan elde edilen en iyi denklemler için eğitim ve test verilerinin performans sonuçları	29

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Gen ifadeli programlama (GEP), modelleme, katı atık, sızıntı suyu, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅)

Yıllar içerisinde nüfusun artmasına paralel olarak insanların tüketim miktarlarıda artmıştır. Bununla birlikte ortaya çıkan atık miktarının artmasıda önemli bir problem olmaya başlamıştır. Oluşan bu atıkların depolanarak berteraf edilmesiyle birçok çevre problemi ortaya çıkmaktadır. Toprağa, insana, hayvanlara ve bitkilere verilen zararlar dışında oluşan problemlerden biri de sızıntı suları ve berterafıdır.

Sızıntı suları, katı atık sahasında kar, yağmur ve atıktan kaynaklanan sıvıların katı atık depolama sahasının tabanında birikmesiyle oluşan bir atıksu türüdür. Sızıntı sularının yüksek oranda organik ve inorganik kirletici yük ihtiva etmesi, berterafında dikkatli ve özenli bir çalışma gerektirmektedir. Sızıntı sularının berterafında kullanılan en yaygın yöntemlerden biri kanalizasyona deşarj edilmesidir. Bu berteraf yöntemi için katı atık depolama sahasında oluşan sızıntı suyunun karakteristik değerlerinin bilinmesi ve belirli peryotlarda takibinin yapılması son derece önem arz etmektedir. İlgili mevzuat gereği yapılması gereken analizler ve bu analizlerin sürekliliği önemli derece de maliyet ve zaman gerektirmektedir. Yapılması gereken bu analizlerin hem maliyetlerinin azaltılması hemde zamandan tasarruf edilmesi için daha önceden elde edilen analiz verileri kullanılarak ilgili parametreleri tahmin edebilen modeller geliştirilebilir. Geliştirilen modeller kullanılarak yapılacak tahminlerle yapılacak analizlerin sıklığı azaltılacak ve hem analiz maliyetinden hemde zamandan tasarruf edilecektir.

Bu çalışmada Sakarya Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Sahasından kaynaklı sızıntı sularında analizi yapılan, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Kjendal Azotu (TKN), Toplam Krom (TK), Kurşun (Pb), Demir (Fe⁺²), Florür (F⁻), Bakır (Cu), Çinko (Zn) ve pH parametleri (girdi parametreleri) kullanılarak Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅) parametresinin (çıkı parametresi) gen ifadeli programlama (GEP) tekniği ile tahmin edilmesini sağlayacak bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla BOİ₅ tahmininde girdi parametrelerinin farklı kombinasyonları için senaryolar geliştirilmiş ve GEP ile model denklemleri oluşturulmuştur. Senaryolar doğrultusunda elde edilen denklemler içerisinde en doğru BOİ₅ tahminine eğitim veri seti için ($R^2=0,860$) ve test veri seti için ($R^2=0,929$) değerleri ile KOİ, F⁻, Cu, Zn ve pH parametreleri kullanılarak ulaşılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen denklemin iyi bir tahmin yaptığı görülmüştür.

MODELING OF SAKARYA LANDFILL LEACHATE USING GENE EXPRESSION PROGRAMMING

SUMMARY

Keywords: Gene expression programming (GEP), modeling, solid waste, leachate, biological oxygen demand (BOD)

Over the years, the consumption of people increased in parallel with the increase in population. However, it has become an important problem in increasing the amount of waste. Many environmental problems arise by storing these kind of wastes. One of the problems arising out of damages to soil, people, animals and plants is leachate and wastewater.

Leachate is a type of wastewater generated by the accumulation of liquids from snow, rain and waste in the solid waste field at the bottom of the solid waste storage area. Since leachate contains high organic and inorganic pollutant loads, careful and sensitive work is required in their disposal. One of the most common methods used in the disposal of leachate is to discharge it into sewer system. For this disposal method, it is very important to know the characteristic values of leachate and to monitor it in certain periods. The analyzes required to be carried out in accordance with the relevant legislation and the continuity of these analyzes require significant costs and time. In order to reduce the costs of these analyzes and save time, the models which can predict the related parameters can be developed by using the analysis data obtained previously. The frequency of the analyzes to be made with the developed models will be reduced and both the cost of analysis and time will be saved.

In this study, it is aimed to develop a model that can predict Biochemical Oxygen Demand (BOD) parameter (output parameter) using Chemical Oxygen Demand (COD), Total Kjendal Nitrogen (TKN), Total Chromium (TK), Lead (Pb), Iron (Fe^{+2}), Fluoride (F^-), Copper (Cu), Zinc (Zn) and pH parameters (input parameters) of solid waste leachate by Gene Expression Programming (GEP) technique. Accordingly, scenarios with different combinations of input parameters have been developed and model equations which predict the GEP and BOD parameters have been developed. For this purpose, scenarios were developed for different combinations of input parameters in BOD estimation and model equations were developed with GEP. Among the equations obtained according to the scenarios, the most accurate estimation of BOD5 was reached by using COD, F^- , Cu, Zn and pH parameters with values for training data set ($R^2 = 0.860$) and test data set ($R^2 = 0.929$). As a result, it is seen that the developed equation makes a good estimation.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Katı atık, üretimden tüketime kadar olan tüm süreçlerde açığa çıkan ve artık istenmeyen katı maddelerin tümü olarak adlandırılabilir. Nüfusun artmasıyla birlikte oluşan katı atık miktarda benzer şekilde artış göstermiştir. Katı atıkların düzenli olarak depolanarak bertaraf edilmesi depolama alanlarında sızıntı sularının oluşumuna yol açmıştır.

Sızıntı suları, katı atık düzenli depolama sahasında veya vahşi depolama sahalarında kar, yağmur ve atıktan kaynaklı sıvıların birikmesiyle depolama alanının tabanına ulaşan bir atık su türüdür. Sızıntı suları yüksek miktarda kirletici konsantrasyonuna içeren ve kompleks yapıya sahip bir atıksudur. Sızıntı sularının çevresel ortamlarda birikmesi toprak, su ve havaya karışması neticesinde çevreye ve canlılara ciddi oranda zarar vermektedir. Bu bağlamda sızıntı sularının düzenli bir şekilde kontrol edilmesi ve uygun şekilde toplanarak bertarafının sağlanması gerekmektedir. Sızıntı suları uygun şekilde toplandıktan sonra ön arıtmaya tabi tutularak kanalizasyona yada alıcı ortam standartlarına göre arıtılarak direkt olarak alıcı ortama deşarj edilerek bertarafı sağlanabilir. Sızıntı suları için en basit bertaraf yöntemlerinden biri olan kanalizasyona deşarj, ilgili mevzuat standartlarını sağlamak zorundadır. Atıksulardan herhangi bir kirleticinin arıtılarak ne kadar oranda atıksudan uzaklaştırıldığı çoğu zaman deneysel yöntemler kullanılarak belirlenmektedir. Ancak deneysel yöntemler hem çok fazla zaman gerektirmekte hem de deneylerin periyodik bir şekilde yapılmasından dolayı gelecekte yüksek maliyetlere yol açmaktadır. Bu yüzden deneysel yöntemlere alternatif olarak, geçmiş deneysel verileri kullanarak analiz edilen parametreler hakkında tahmin yapılmasını sağlayan farklı istatistiksel yöntemler ve modelleme metotları geliştirilmiştir. Bu yöntemler Genetik programlama, Genetik algoritma, Yapay Sinir Ağları ve Adaptif Sinirsel Bulanık Mantık (ANFIS) gibi çeşitlendirilebilir [1]. Bunlardan biri olan Gen İfadeli

Programlama (GEP) son zamanlarda bilimin her alanlarında olduğu gibi Çevre Mühendisliği alanında da bir veri modelleme aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır [2].

Bu çalışmanın amacı, Sakarya ilinde bulunan katı atık düzenli depolama sahasından kaynaklı sızıntı sularında ölçümü yapılan, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Kjendal Azotu (TKN), Toplam Krom (TK), Kurşun (Pb), Demir (Fe^{+2}), Florür (F^-), Bakır (Cu), Çinko (Zn) ve pH parametrelerinden Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ_5) parametresini tahmin edebilen bir GEP modeli geliştirmektir.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Katı Atık

Katı atıklar, her türlü insan ve hayvan faaliyeti sonucunda ortaya çıkan, istenmeyen ve herhangi bir amaçla kullanılmayacak olan katı maddeler olarak tanımlanabilir. Katı atıkların diğer bir tanımı da; üretici tarafından artık kullanılmayan, gerek toplumun huzurunun gerekse de doğanın korunması açısından düzenli olarak bertaraf edilmesi gereken “katı atıkların ve arıtma çamurlarının tümü” olarak, yapılmıştır [3].

Katı atık ; “insanların yaşamsal, sosyal ve ekonomik faaliyetleri neticesinde atık hale gelen ve akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen her türlü madde ve malzemeler olarak” tanımlanmıştır [3].

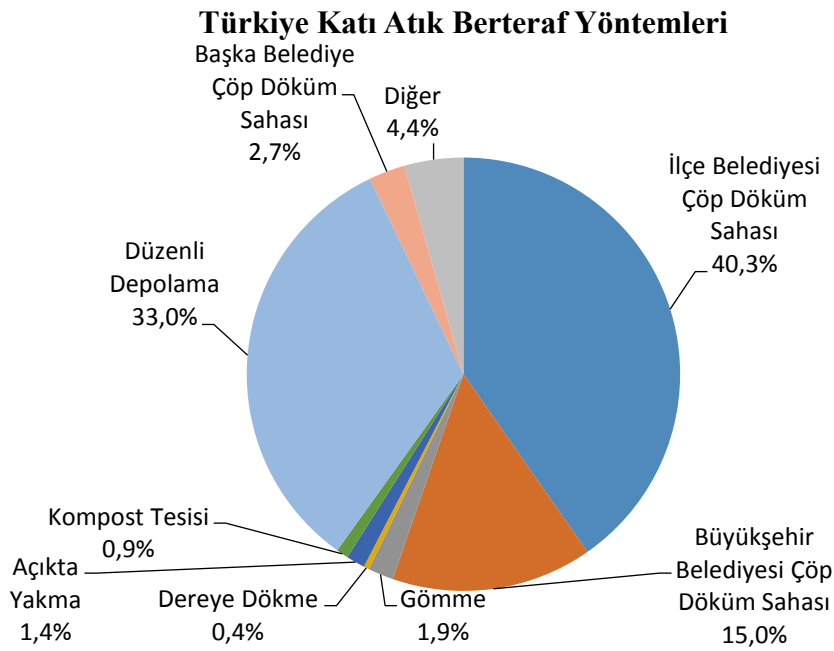
Katı atıkları iki sınıfta incelemek mümkündür. Bunlardan biri zararlı atıklar iken diğeri zararsız atıktır.

1. Zararlı Atıklar: Çevrenin ve insan sağlığını koruma amacıyla veya oluşabilecek bir olumsuz durumun önüne geçilmek amacıyla bertaraf edilme aşamasında birtakım özel işlemler gerektiren fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklere sahip olan zehirlenme etkisi olan, yok edici özelliğe sahip veya diğer madde etkileşimi sonucu ortaya çıkan ve etrafa zarar veren atıklardır.
2. Zararsız Atıklar: Zararlı atıklar grubuna girmeyen atıklardır. İnorganik ve organik atıklardan oluşurlar. Kaynaklarına göre kısaca şöyle gruplandırılabilirler.
 - a. Evsel Atıklar: Evlerden çıkan atıklar.
 - b. Endüstriyel Katı Atıklar: Endüstriyel çalışmalar sonucunda açığa çıkan katı atıklardır.

- c. Ticari ve Kurumsal Atıklar: Ticari işletmelerden ve kurumlardan çıkan atıklardır. Restorantlardan, kamu kurumlarından, ofis ve mağazalardan kaynaklanan atıklar bu sınıfa dahildir.
- d. Belediyesel Faaliyetler ile İlgili Atıklar: Sokak süprüntüleri, park bahçe ve plajlardan çıkan atıklar, araba hurdaları, hayvan ölüleri, su arıtma tesislerinden çıkan çamurlar bu niteliktedir.
- e. Özel Atıklar: Berterafı özel işlem gerektiren atıklardır.
- f. Tarımsal Atıklar: Tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıklardır [3].

2.1.1. Katı atıkların berteraf yöntemleri

Kaynağında ayrı veya karışık toplanan katı atıklar, karakterine uygun olarak bertaraf edilmelidirler. Entegre katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf yöntemleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.1. Entegre katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf yöntemleri [3]

Katı atıkların toplama ve temizleme dışında herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın, yani aynı şekilde ekonomik ömrü bitinceye kadar yeniden kullanılmasına “tekrar kullanım” denir. Bu uygulama ürünün kullanım süresi uzatılmış olur.

Katı atıkların kimyasal ve/veya fiziksel işlemlerden geçirdikten sonra, farklı bir ürünün hammaddesi olarak kullanılarak üretim sürecine dahil edilmesine “geri dönüşüm” denir.

Tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan; atıkların özelliklerinden faydalanılarak içerisindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle farklı ürünlere veya bundan enerji üretilmesine “geri kazanma” denir.

Özetle geri kazanım ve tekrar kullanım yönteminde amaç atık oluşturmamaktır. Üretimde ve proseste kullanılan madde miktarı azaltılarak atığın azaltılması sağlanarak geri kazanım mutlaka yapılmalıdır.

Katı atıkların hacimce azaltılması amacıyla toplanan atıkların özel tesislerde yakılması işlemine “yakma” denir. Bu yöntem hacim ve ağırlık azaltma oranının yüksek olması yüzünden depolama probleminin olduğu durumlarda, tıbbi atıklarda olduğu gibi son ürünün stabilize edilmesinin gerekli olduğu zamanlarda ve ısı değeri yüksek katı atıklardan enerji elde edilmesinin söz konusu olduğu durumlarda kullanılan bir yöntemdir [3].

Diğer bir katı atık berteraf yöntemi olan piroliz, atıkların içindeki cam ve metalleri ayırdıktan sonra elimizde kalan ve işe yaramaz gibi görünen organik maddelerin hava kullanılmaksızın ısıtılarak sıvı yakıt, gaz ve kömüre dönüştürülmesi olayıdır. Piroliz sonucu, gazlar, katran, organik bileşikler, su ve odun kömürü gibi maddeler açığa çıkar.

Gübre, biyolojik arıtma tesisi çamuru, yaprak, kağıt ve yiyecek atıkları gibi kısacası organik maddelerin aerobik ve anaerobik koşullarda mikroorganizmalar vasıtasıyla kompost adı verilen humus bakımından zengin kararlı bir yapıya dönüştürüldüğü biyolojik bir işlemdir. Yapılabildiği takdirde iyi bir berteraf yöntemi olan kompostlaştırma, ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

2.1.1.1. Katı atıkların düzenli depolanması

Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde katı atıklar genellikle yerleşim yerlerinden uzak, açık alanlara düzensiz olarak yığılarak uzaklaştırılmaktadır. Uzun yıllardan beri katı atıklar bu şekilde bertaraf edilmiştir. Kırsaldan kente göçün artmasıyla beraber bir yandan göç alan şehirlerdeki katı atık miktarı artış gösterirken, diğer yandan çarpık kentleşmeyle çöp depolama sahaları, yerleşim alanının içinde kalmıştır [4].

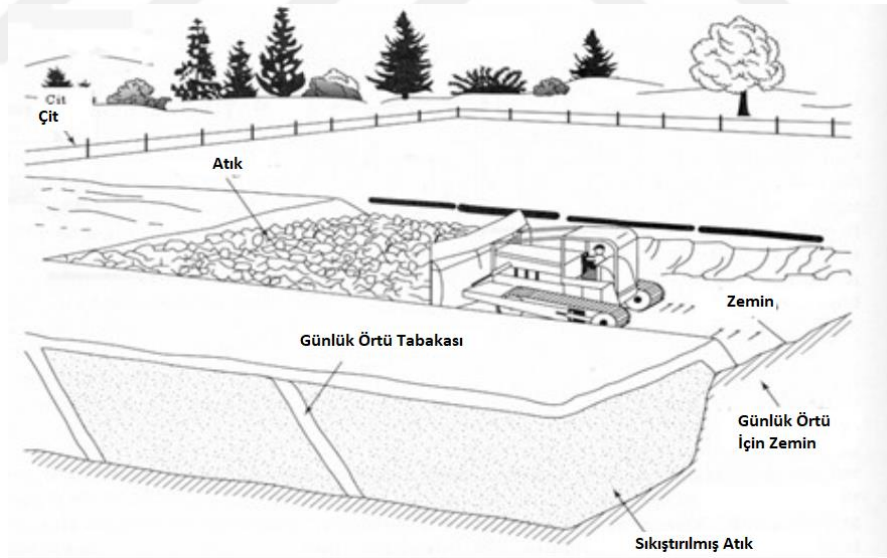
Vahşi depolanan katı atıklarda, biyolojik olarak ayrışabilen organik atıkların anaerobik olarak parçalanmasıyla depo gazı açığa çıkar. Çevreye oldukça zararı olan bu gazlar genel olarak patlamalara, yangınlara, küresel ısınmaya, bitki örtüsünün bozulmasına gibi birçok felakete neden olur [5].

Geçmişte katı atıklar genellikle yol ve nehir kenarlarında gelişigüzel depolanmaktaydı. Önceki dönemlerde bu en kolay ve ucuz bir bertaraf yöntemi idi. Ancak, depolama sahaları için bu tür (doğal) bir ıslah genellikle yeterli değildir ve gerçek dışıdır. Düzensiz depolama alanı veya vahşi depolama alanlarında toplanan katı atıkların oluşturduğu problemler ile karşılaşmamak için katı atıklar düzenli depolama alanlarında toplanmalıdır.

Düzenli depolama yapılacak yere mevcut alan ve hacmin en verimli şekilde kullanılabilmesi için katı atıkların depolama yerlerine depolanmasıyla ilgili çeşitli metotlar mevcuttur. Bu yöntemler depolama alanındaki coğrafi koşulları (eğim, tümsek veya çukurların mevcudiyeti), zemin özellikleri, civardaki toprağın (çöpün üzerini örtme için kullanılacak toprak) ocaklarının kapasitesi ve uzaklığı, ocaklardaki toprağın karakteristiği, depolama sahasında kullanılacak ekipmanlar ve depolama sahasının seçilen işletme özelliklerine göre farklılık gösterir. Bu farklı yöntemler içinde en sık kullanılanlar alan, hendek ve çukur metodudur. Bu yöntemlerin dışında kalan yamaçlarda, düz arazilerde ve deniz kenarında su altında kalan yerlerde baraj arkasında depolama gibi bertaraf yöntemleri de mevcuttur.

Alan metodu seçilen arazide hendek kazımı için elverişli olmadığı durumlarda kullanılarak depolamaya zeminin üzerinden başlanmakta ve bu sebeple depolamadaki maksimum yükseklik sınırlı olmaktadır. Alan metodunda, arazi yüzeyinde yüksek organik içeren toprak, yüzeyden sıyrılarak alınır. Bu toprak farklı bir yerde biriktirilerek ileride deponi sahasını kapatmak amacıyla kullanılmaktadır.

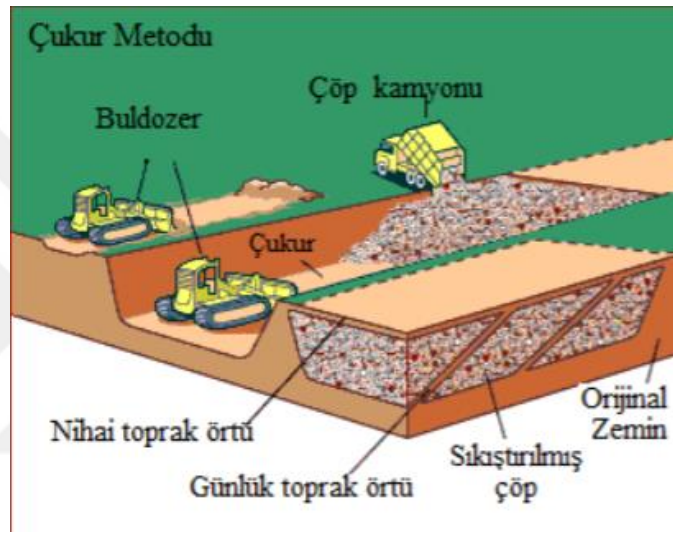
Hendek yöntemi ise genellikle yeraltı su seviyesinin yüzeyinden, belirli bir derinlikte olduğu ve yeterli miktarda örtü toprağının bulunduğu bölgelerde, killi, sızdırmaz zeminlerde ve düşük nüfuslu yerleşim bölgelerinde uygulanır. Bu metotta, toprak yüzeyinde dar ve uzun hendekler yapılır ve bu hendeklerden elde edilen toprak geçici olarak biriktirilir. Ardından katı atıklar ortalama 40-100 metre uzunluğunda, 1-2 m derinlikte ve 5-8 m genişliğe sahip olan bu hendeklere boşaltılır. Atıklar 1:3 veya maksimum 1:2 eğiminde serilerek sıkıştırılır. Bundan sonraki adımlar alan metodundaki işleyiş gibi devam eder. Şekil 2.2.'de hendek metoduna ait bir örnek çizim verilmiştir [3].



Şekil 2.2. Hendek metodu örneği [6]

Doğal veya yapay yollarla çökmüş ya da çukurlaşmış olan alanları depolama yoluyla verimli bir şekilde kullanmak mümkündür. Bu tür alanlar kullanılarak katı atıkların bertaraf edilmesine çukur yöntemi adı verilmektedir. Kanyonlar, dar ve derin çukurlar bu amaç ile kullanılmıştır. Vadiler düzenli depolama alanı olarak

kullanılmadan önce mevcut kuruyan veya sulu derelerin, akarsuların depolama alanının menba bölgesinden başlayıp mansab bölgesinde biten tünel katı atık ile etkileşimi kesilmelidir. Tüneller yeraltı ve katı atık sızıntı sularına karşı iyi bir şekilde yalıtılmalıdır. Bu metotla çalışma yapılırken yağış ve akış sularına karşı etraftaki hendeklerle depolama alanı ile desteklenmeli, yağış sularının çöplerle etkileşimi kesilmeli ve gerekli durumlarda pompa yardımı ile suların çalışma alanından uzaklaştırılmalıdır. Şekil 2.3.'de çukar metodunun bir çizimi verilmiştir [3].



Şekil 2.3. Çukar metodu örneği [7]

2.2. Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında Sızıntı Suyu Oluşumu

Çöp döküm sahasına yağmur suyunun girmesi ve bununla beraber atıkların fiziksel ve biyokimyasal parçalanması sonucunda, metan miktarı yüksek bir gaz ve askıda katı maddesi fazla, inorganik ve organik içeriği fazla olan bir atıksu oluşmaktadır. Bu atıksuya “sızıntı suyu” adı verilmektedir. Hem sızıntı suyu hem de depo gazı, çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla ve aynı zamanda uygunsuz bazı olayların oluşmasını engellemek amacıyla kontrollü bir şekilde toplanmalı ve işlenmeli veya yeniden kullanılmalıdır [8].

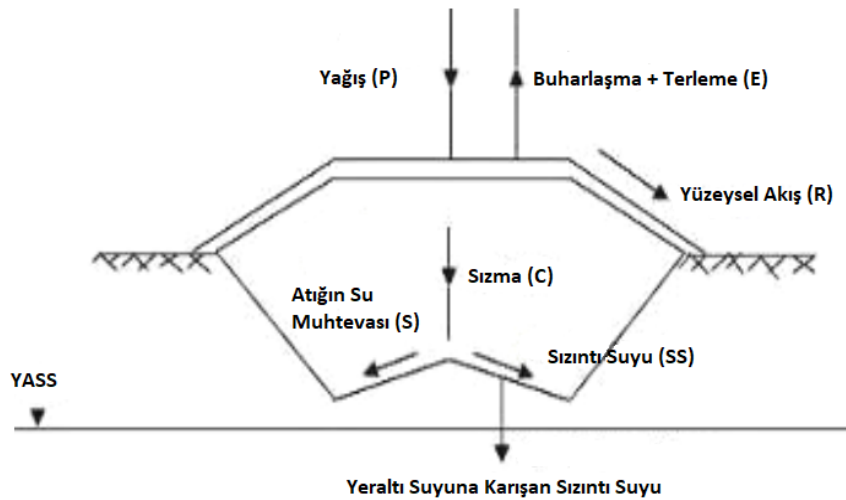
Katı atıklar bir alanda depolandığında biriken atık maddelerin üzerinde su geçirimsizliğini önleyen herhangi bir tabaka olmadığı için, bu kütlenin içine büyük

ölçülerde yağmur suyu karışmakta ve bu sular da atık bileşenlerini içlerine almaktadır. Bu sayede oluşan sızıntı suyu çevre açısından önemli derecede kirlilik tehlikesi oluşturmaktadır. Bu tür atıksular özellikle; toprağın, yüzey ve yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine sebep olmaktadır [8].

Katı atık düzenli depolama sahasında berteraf edilen katı atıkların biyolojik, kimyasal ve fiziksel olaylara maruz kalması sonucunda oluşan sızıntı suyu ve yağmur, kar ve diğer etkelenlerin etkisiyle oluşan sızıntı sularının toprak, yüzey ve yeraltı suyuna etki etmemesi için bir sızıntı suyu toplama hazunda toplanmaktadır. Bu tür atıksuların doğrudan kanalizasyona deşarj veya diğer alıcı ortamlara verilmesi, su ve içme suyu kaynakları açısından oldukça sakıncalıdır. Sızıntı suyu ve atıksuların alıcı ortama verilmeden önce ilgili mevzuatlarda belirtilen standartlarına uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

2.2.1. Sızıntı suyu oluşumu ve miktarı

Sızıntı suyu miktarı; ampirik veri veya kriterler ya da yağış, buharlaşma, yüzeysel akış ve atığın su muhtevası gibi faktörleri baz alarak, atık hücreleri üzerinde kurulacak su dengesi metoduyla tahmin edilir. Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi atığın karakteri, iklimsel faktörler, depolama sahası işletme yöntemi vb. şartlar, sızıntı suyu oluşumunu önemli oranda etkilemektedir [9]. Depolama alanında oluşan sızıntı suyu miktarı denklem (2.1) kullanılarak basitçe hesaplanabilir.



Şekil 2.4. Sızıntı suyu miktarı hesaplama görseli [9].

$$SS = C \pm S - E = P * (1 - R) - S - E \quad (2.1)$$

C : Atık deposu gövdesine sızan yağış suyu (= P.(1-R)), mm/yıl

P : Yağış yüksekliği, mm/yıl

R : Yüzeysel akış katsayısı, mm/yıl

S : Atık yığını (hücre) bünyesinde tutulan su, mm/yıl

E : Depo yüzeyinden buharlaşma ve terleme, mm/yıl

SS : Oluşması beklenen sızıntı suyu, mm/yıl

Ancak, formülde verilen değişkenleri tam olarak saptamak mümkün olmadığı için, sızıntı suyu miktarının ölçülmesi için bazı bağıntılar ve formüller geliştirilmiştir. Örneğin atığın sıkıştırılma şekline göre en uygun şartlarda yağmurun % 25-60'ı alınarak sızıntı suyu miktarı hesaplanmaktadır. Ayrıca sızıntı suyu oluşumu için mevzuatta 0,5-0,15 m³/ha.gün aralığı verilmektedir [10].

2.2.2. Sızıntı suyunun karakterizasyonu

Sızıntı suyu kalitesi oldukça değişken olup, birçok endüstriyel atık suya göre daha geniş bir kirlilik aralığına sahiptirler. Sızıntı suyu özellikleri, depolama sahasının derinliğine, iklim özelliklerine, sızıntı suyunun geri devir oranına, depolama alanının şekli ve tasarımı gibi pek çok faktöre göre değişkenlik gösterebilir.

Depo yaşı, depolama alanındaki oksijensiz arıtma kapasitesine bağlı olarak, sızıntı suyu karakteristiğini etkileyen en belirleyici faktörlerden biridir. Genç depo sahalarında oluşan sızıntı sularında, biyolojik olarak kolay ayrışabilen uçucu yağ asitleri oranı yüksektir. Depo yaşı büyüdükçe biyolojik ayrışma tamamlandığından, kolay ayrışabilen organik maddelerin miktarı azalır. Bundan dolayı, genç depo sahalarındaki sızıntı sularında BOİ/KOİ > 0,5 iken, yaşlı depo sahalarındaki sızıntı sularında BOİ/KOİ < 0,2'dir [9].

Oluşan sızıntı suyunda organik kirleticiler, inorganik kirleticiler ve mikroorganizma türleri ilk 2-3 yıl içerisinde maksimum seviyeye ulaşır. Sızıntı suyu, organik ve inorganik iyonlar ve metaller dışında mikrokirleticileri de içerisinde ihtiva etmektedir. Tablo 2.1.'de sızıntı suyunun genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Sızıntı suyu özellikleri [9]

Parametre	1. Yıl	5. Yıl	16. Yıl
pH	5,2-6,4	5,0-6,6	5,6-6,1
KOİ	10000-40000	8000	400
BOİ ₅	7500-28000	4000	80
TOK	7300-16350	83-9150	108-3080
NH ³ -N	56-482	36	10
Toplam P	25-35	12	8
Toplam Katılar	10000-33000	718-18400	1920-5350
Toplam Uçucu Katılar	5350-20330	124-10300	770-3300
Alkalinite	600-800	1330	70
Klorür	620-1880	5,3-730	115-193
Cd	-	<0,05	<0,05
Mn	75-125	0,06	0,06
Cu	-	<0,5	<0,5
Fe	210-325	6,3	0,6
Pb	-	0,5	1
SO ₄	400-650	2	2
Zn	10-30	0,4	0,1

2.2.3. Sızıntı suyu arıtım metotları

Katı atık düzenli depolama sahasından kaynaklanan sızıntı suları organik ve inorganik kirleticiler bakımından oldukça zengindir. Biriken bu sızıntı sularının bertaraf edilmesi için, ilgili mevzuatlar kapsamında gerekli analizlerin yapılması ve bertaraf yöntemine göre kirleticilerin sınır değerlere indirilmesi gerekmektedir. Arıtma prosesinin seçiminde ve tasarımında dikkate alınması gereken önemli faktörler şöyle sıralanabilir:

1. Sızıntı suyu karakteri: Organik ve inorganik madde içeriği

2. Zararlılık potansiyeli: Organik ve inorganik zehirli kimyasal maddelerin yüksek konsantrasyonları
3. Deşarj alternatifleri: Yüzeysel sular, şehir atıksu kanal sistemi, arazide arıtma, depolama alanı üzerine geri devir
4. Arıtma derecesi: Sızıntı suyu bileşimi, deşarj standartları
5. Arıtılabilirlik çalışmaları: Elde edilen deneysel veriler, uygulanabilir teknolojiler
6. İşletme: Ekipmanların bakı ve tamiri, personel güvenlik eğitimi, analitik testler
7. Maliyet: Gerekli bütçenin bulunabilmesi, nihai örtü tabakası ihtiyacı [11].

Sızıntı suyu karakteri depo yaşına göre değiştiğinden dolayı depo yaşına göre oluşan sızıntı sularına farklı arıtma proseslerinin uygulanmasını gerektirir. Sızıntı sıyunun fazla kirlilik ihtiva etmediği ve ilgili mevzuatlar açısından kirlilik konsantrasyonları doğrudan kanalizasyona verilebilecek seviyelerde olduğu durumlarda, genellikle herhangi bir arıtma işlemi yapılmadan şehir kanalizasyon şebekesine deşarj edilmektedir. Bunun yanı sıra yüksek oranda kirlilik içeren sızıntı suları arıtıldıktan sonra şehir kanalizasyon şebekesine veya ilgili mevzuat standartları sağlanarak alıcı ortama deşarjı sağlanır. Ayrıca sızıntı suyu, şartların uygun olması halinde herhangi bir arıtmadan geçirilmeksizin atıksu arıtma tesisine verilebilir. Bu durum arıtma tesisinde havalandırma ihtiyacını artırır ve iyi bir biyolojik arıtım için fosfor eksikliğine neden olur. Biyokütlenin artmasıyla birlikte metallerin çökmesine ve bundan dolayı çamur miktarı artar. Metal miktarının artması ise koku ve köpük problemini beraberinde getirir.

Sakarya Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama sahasının atıksuları, 31.12.2004 tarihinde ve 25687 sayılı resmi gazetede yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 20.6'da belirtilen standartlara indirgenip, daha sonra şehir şebekesi kanalizasyonuna deşarj edilerek berteraf edilmektedir. Tablo 2.2.'de ilgili yönetmeliğin sınır değerleri verilmiştir.

13.02.2008 tarihinde 26786 sayılı resmi gazetede yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmeliğin Madde 52'sinde verilen standartlara göre "Bünyesinde %2'den fazla inert KOİ içeren ve toplam KOİ değeri 5000 mg/L den fazla olan kuvvetli organik atıksular için KOİ yerine BOİ₅ değeri esas alınır" ibaresi ile sızıntı sularının kanalizasyona deşarjı sağlanmaktadır. Bu ibare ile sızıntı suları kontrollü bir şekilde atıksu arıtma tesisine verilerek bertarafı sağlanmaktadır.

Tablo 2.2. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği katı atık değerlendirme ve bertaraf tesisleri deşarj standartları [12].

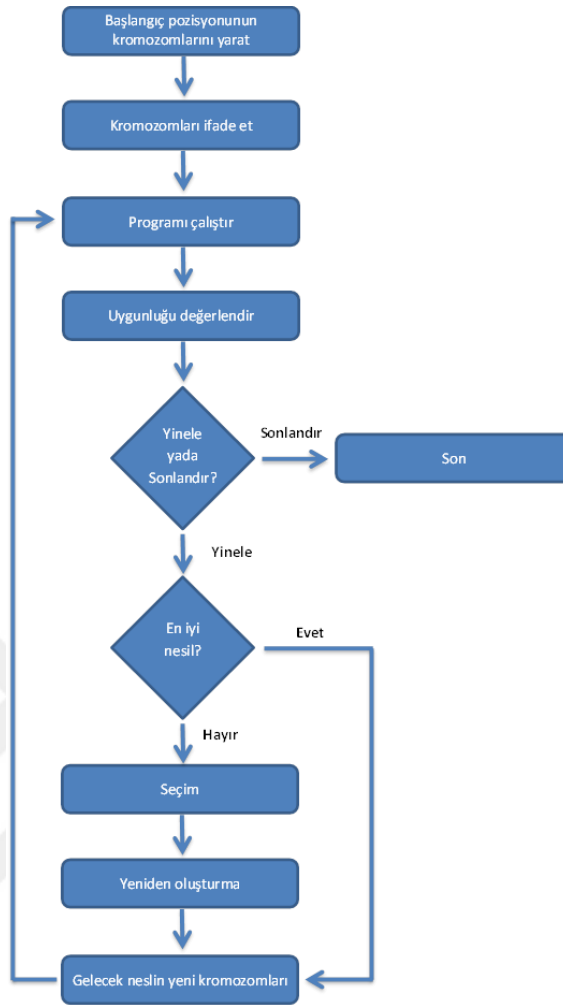
PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT	KOMPOZİT
		NUMUNE 2 SAATLİK	NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	700	500
TOPLAM KJELDAHL-AZOTU	(mg/L)	20	15
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	200	100
YAĞ VE GRES	(mg/L)	20	10
TOPLAM FOSFOR (P)	(mg/L)	2	1
TOPLAM KROM	(mg/L)	2	1
KROM (Cr ⁺⁶)	(mg/L)	0.5	0.5
KURŞUN (Pb)	(mg/L)	2	1
TOPLAM SİYANÜR (CN ⁻)	(mg/L)	1	0.5
KADMİYUM (Cd)	(mg/L)	0.1	-
DEMİR (Fe)	(mg/L)	10	-
FLORÜR (F ⁻)	(mg/L)	15	-
BAKIR (Cu)	(mg/L)	3	-
ÇİNKO (Zn)	(mg/L)	5	-
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	10	
pH	-	6-9	6-9
(Ek satır:RG-24/4/2011-27914)			
Renk	(Pt-Co)	280	260

2.3. Gen İfadeli Programlama (GEP)

Doğadaki değişimin bilgisayar algoritmalarına uygulanması olarak bilinen ve evrimsel algoritmaların bir alt dalı olan Gen İfadeli Programlama (GEP), büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. GEP genel olarak genetik

programlama ve genetik alitmadan örnek olarak Ferreira [13] tarafından karmaşık problemleri çözmek için geliştirilmiştir. GEP, genetik programlama ve genetik alitmanın bir bileşkesi olup, fonksiyon taraması yapar. Bu her iki alitmanın da özelliklerini içerisinde bulundurmaktadır. Yapı bakımından GEP ile genetik programlama ve genetik alitma arasında çok küçük farklılıklar vardır. GEP ile genetik programlama arasındaki fark, karmaşık ve lineer olmayan problemlerde de istenen sonuca ulaşmaktadır. Genetik alitmalardan farkı ise değişik şekil ve boyutlardaki lineer olmayan değişkenler arasındaki bağıntıyı ifade etmek için oluşturduğu ifade ağaçları sayesinde ideal çözümü verir [14].

GEP bir problemi temel olarak beş adımda çözmektedir. İlk adım, programlamada kullanmak amacıyla girdi veri setini tespit etmektir. İkinci adım ise programda sonuç üretmek için kullanılacak fonksiyonları belirlemektir. Fonksiyon setinde, aritmetik fonksiyonlar (*, /, -, +), matematiksel fonksiyonlar (sin, cos, log), mantıksal ifadeler (eğer-daha sonra-başka) ve boolean ifadeleri (ve, ya da, yoksa) veya kullanıcının belirlediği fonksiyonlar bulunur. Üçüncü adım, mevcut problemin çözümünde programın başarı seviyesini değerlendirme şeklini belirlemektir. Sayısal parametrelerin ve nitel değişkenlerin değerlerinin atandığı kontrol parametrelerinin olduğu dördüncü adımda ise, çalışma şekli kontrol edilmektedir. Son olarak programın sonlandırıldığı ve sonuçların değerlendirilmesi yapıldığı bir ölçüt belirlenir. Şematik olarak GEP'in tüm bu önemli adımları Şekil 2.5.'de verilmiştir [15].



Şekil 2.5. GEP algoritmasının akış şeması

2.3.1. Çevre mühendisliği alanında uygulanan modeller

2.3.1.1. Belediye katı atık depolama alanlarındaki sızıntı suyu kalite ve miktarının modellenmesi

Tıldız ve diğ. (2004) depolama sahası sızıntı suyu davranışını ve zamana bağlı atık depolama sahasının atıkların hidrolik özellikleri ve sızıntı suyunun bileşimi üzerindeki etkilerini göz önüne alarak, nem ve sızıntı suyu bileşenlerinin toprak dolgu yoluyla dağılımını simüle etmek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Model, sızıntı suyu üretimini etkileyen prosesleri ve atıkların stabilizasyonu sırasında meydana gelen sızıntı suyu akışı, çözünme, asitojenez ve metanojenez gibi biyokimyasal süreçleri tanımlayan denklemleri içermektedir. Yapılan araştırma

sonucu elde edilen bulgular doğrultusunda öngörülen ve gerçek depolama verileri arasındaki regresyon katsayısı, $R^2=0.92$ 'dir. Bu model sonuçları ve ölçülen veriler arasında çok iyi bir uyum olduğunu göstermektedir [16].

2.3.1.2. Cu (II)'nin endüstriyel sızıntı suyundan pomza ile adsorpsiyonunun modellenmesinde yapay sinir ağlarının kullanımı

Turan ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada Cu (II) iyonlarının pomza ile endüstriyel sızıntı sularından giderilmesinde yüzde adsorpsiyon etkinliğinin öngörülmesi için yapay sinir ağları ile bir modelleme geliştirilmiştir. Cu (II) iyonlarının maksimum çıkarılması için koşulları optimize etmek için başlangıç pH, adsorban dozaj, sıcaklık ve temas süresi gibi operasyonel parametrelerin etkisi incelenmiştir. Model ilk önce, sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü katmanlarda 4, 8 ve 4 nöronlu üç katmanlı ileri besleme geri yayılma ağı kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca, radyal temel işlev ağı da önerilmiş ve performansı geleneksel ağ türüyle kıyaslanmıştır. Yapay Sinir Ağı modelleri arasındaki bir kıyaslama, yüksek regresyon katsayısı vermiş ($R^2 = 0,999$) ve radyal temel işlev ağ modelinin Cu (II) 'nin endüstriyel sızıntı suyundan çıkarılmasını daha doğru bir şekilde tahmin edebileceği sonucuna varılmıştır [17].

2.3.1.3. Yağmura, ortam sıcaklığına ve atık bileşimine göre toprak dolgu sızıntı suyu BOİ ve KOİ değerinin tahmin edilmesi: MARS statistik yaklaşımının araştırılması

Bhatt ve diğ. (2017) tarafından yapılan araştırmada yağmura, ortam sıcaklığına ve atık bileşimine göre toprak dolgu sızıntı suyu BOİ ve KOİ değerinin MARS modeli ile tahmin edilmesini amaçlamıştır. Sonuç olarak Adaptif Regresyon Spline modellerinin zamanla sızıntı suyu kalite parametrelerini tahmin etmesi için atık bileşimi, sıcaklık ve yağış oranı arasındaki karmaşık ilişkileri çözebildiği görülmüştür [18].

2.3.1.4. Bir belediye katı atık depolama sahasındaki sızıntı suyu akış hızını kontrol etmek için sinir ağı tabanlı bir model

Karaca ve Özkaya (2006) tarafından yapılan çalışmada, bir belediyenin katı atık çöp depolama sahasından kaynaklı sızıntı suyunun akış hızını modellemek için, popüler bir sinir ağına ve geri yayılma algoritmasına dayalı bir yöntem önerilmiştir. Sinir ağı modeli meteorolojik verilere dayalı akış hızlarını tahmin etmektedir. Önerilen yöntemi göstermek ve doğrulamak için, İstanbul Odayeri depolama sahasından elde edilen verilere dayanarak bir örnek çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak önerilen yöntem, bir depolama alanındaki günlük sızıntı suyu akış hızlarını önemli ölçüde tahmin edebildiğini ortaya koymuştur [19].

2.3.2. Diğer mühendislik alanında yapılan çalışmalar

2.3.2.1. Soğuk bağlanmış yapay agregaların kırma mukavemetinin genetik algoritmalar ile tahmin edilmesi

Geyik ve Gesoğlu (2012) tarafından yapılan “Soğuk Bağlanmış Yapay Agregaların Kırma Mukavemetinin Genetik Algoritmalar ile Tahmin Edilmesi” adlı bir çalışmada soğuk F tipi uçucu kül ve öğütülmüş granül fırın cürufu ile bağlanan Hafif agregaların kırılma mukavemeti, gen ifadeli programlama olarak bilinen bir genetik algoritma tekniği ile tahmin edilmiştir. GEP ile yapılan bu modellemede önerilen model eğitim ve test verileri için sırasıyla 0,94 ve 0,90’lık R^2 değerine sahip olan model seçilerek iyi bir sonuç alınmıştır [20].

2.3.2.2. Yapay sinir ağı kullanarak belediye katı atık üretiminin tahmini: Masshad örneği

Zade ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada belediye katı atıkların kalite ve miktarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi, belediye katı atık yönetim sisteminin tasarlanması ve programlanması için çok önemli, ancak üretilen atık miktarını tahmin etmek zor bir iş olduğunu savunmuştur. Bu nedenle Masshad’ın 2004 den 2007 ye kadar,

haftalık olarak atık miktarlarını kullanarak Yapay Sinir Ağ modellemesi yapmıştır. Yapılan araştırmada farklı modeller oluşturulmuş ve Mashhad'ın atık üretimini tahmin etmek için en iyi model ortalama mutlak hata, ortalama mutlak bağıl hata, ortalama kare kök hatası, korelasyon katsayısı esas alınarak seçilmiştir. Söz konusu modelin gerçekleştirilmesinden sonra, test için sinir ağındaki korelasyon katsayısı ve ortalama mutlak bağıl hata sırasıyla 0,746 ve % 3,18 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar yapay sinir ağı modelinin, belediye katı atık üretimini öngörmede geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha fazla avantaja sahip olduğunu göstermiştir [21].

2.3.2.3. Tahran'da Katı Atık Üretimini Önlemek İçin Sinir Ağı ve Temel Bileşen - Regresyon Analizinin Karşılaştırılması

Noori ve diğ. (2009) belediye katı atıklarının, katı atık yönetim sisteminin tasarlanmasında büyük öneme sahip olması amacıyla atık oluşumunun kısa vadeli tahminini temel bileşen analizi ve yapay sinir ağları ile test edilmiştir. Yapılan çalışmada katı atık üretiminin tahmini için iki tahmin tekniği sunulmuştur. Bunlardan biri, çok değişkenli doğrusal regresyon, temel bileşen analizine dayanmaktadır. Diğer teknik ise yapay sinir ağı modelidir. YSA için ileri beslemeli çok katmanlı bir algılayıcı bu çalışma için en iyi seçenek olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte, bu araştırmada Temel Bileşenler Analizi tarafından bağımsız değişkenlerin çoklu doğrusallık problemini ortadan kaldırdıktan sonra, atık üretimini tahmin etmek için uygun bir model (PCA-MLR) geliştirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda Yapay Sinir Ağı modelinde korelasyon katsayısı (R) ve ortalama mutlak bağıl hata sırasıyla 0,837 ve 4,4 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir yöntemle yapılan modellemeye kıyasla ($R=0.445$, $MARE=\% 6.6$), Yapay Sinir Ağı modeli daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca, Yapay Sinir Ağı modelinin test aşamasında tahminin %90'ı için maksimum mutlak göreceli hatanın %8,6 civarında olduğunu söyleyebiliriz, ancak diğer model için %10,5'tir. Yapay Sinir Ağ modeli diğer modele kıyasla daha iyi sonuçlara sahiptir, bu nedenle YSA ile yapılan model Tahran'daki atık üretimi tahmini için seçilmiştir [22].

BÖLÜM 3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmada, Sakarya ilinde bulunan Sakarya Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Sahasına ait sızıntı suyunun iki yıllık deneysel verileri kullanılarak GeneXproTools yazılımı ile Gen İfade Programlama (GEP) yöntemi ile modellenmiştir.

3.2.Yöntem

Sakarya ilinde bulunan Sakarya Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'ndan kaynaklı sızıntı sularının belirli periyotlarda yapılan iki yıllık analizinden elde edilen veriler (Ek-1) öncelikle GEP programında kullanılmak üzere veri seti haline getirildi. Veri seti hazırlanırken GeneXproTools veri seti eğitim ve test olmak üzere ikiye ayrılır. Eğitim setindeki veriler, toplam veri setindeki verilerin yaklaşık %70'i kadar olmalıdır. Geriye kalan %30'luk kısmı ise test seti olarak kullanılmaktadır. Program yardımıyla veri setindeki eğitim verileri veriler arasındaki ilişkiyi çözecek bir denklem üretmek için kullanılır. Programın eğitim setini kullanarak ürettiği denklemin iyi bir tahmin yapıp yapmadığını belirlemek için ise test verilerini kullanarak denklemin doğruluğunu ve tahmin kabiliyetini kontrol edilir.

Çalışma kapsamında GEP modellerinde çıktı olarak BOI_5 'in tahmin edilmesi amacı ile girdi parametreleri KOI , TKN, TK, Pb, Fe^{+2} , F^- , Cu, Zn ve pH verilerini kullanılmıştır. Deneysel verilerdeki parametrelerin ölçekleri birbirinden farklı olduğundan dolayı tüm verileri Minimum-Maksimum (Min-Maks.) normalizasyon yöntemi kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Min.-Maks. normalizasyon

yöntemi, verileri doğrusal olarak normalize eder. Minimum; veri setindeki bir verinin alabileceği en düşük değer iken, maksimum; verinin alabileceği en yüksek değeri ifade eder. Bir veriyi Min.-Maks. yöntemi ile 0 ile 1 aralığında normalize etmek için (3.1) nolu eşitlik kullanılır [23]. Tablo 3.1.'de verilerin istatistiki değerleri gösterilmiştir.

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.1)$$

$x' = \text{Normalize Edilmiş Veri}$

$x_i = \text{Girdi Değeri}$

$x_{min} = \text{Girdi setinde bulunan en küçük veri}$

$x_{max} = \text{Girdi setinde bulunan en büyük veri}$

Tablo 3.1. Eğitim ve test verilerinin istatistiki değerleri

		KOİ (mg/L)	TKN (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	F (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	pH	BOİ ₅ (mg/L)
Eğitim	Minimum	7450	11	1	1	7	6	9	2	7	4500
	Maksimum	11400	17	2	2	11	11	13	4	8	6400
	Ortalama	9228	15	2	2	9	9	11	3	7	5407
	Std Sapma	863	2	0	0	1	1	1	0	0	593
Test	Minimum	8800	12	2	1	7	8	9	2	7	4500
	Maksimum	9850	16	2	2	10	10	12	3	8	6500
	Ortalama	9225	14	2	2	8	9	11	3	7	5308
	Std Sapma	381	1	0	0	1	1	1	0	0	625

GeneXproTools programında geliştirilen aday çözümler veya modeller, özel bir mimariye sahip doğrusal dizgilerde veya kromozomlarda kodlanır. Bu mimari, farklı gen alanlarına sahip olan genleri (baş, kuyruk ve rastgele sabit alanlar) ve tüm genleri bağlamak için bir bağlanma fonksiyonunu içerir. Bu nedenle ayarlayabileceğiniz parametreler baş büyüklüğü, gen sayısı ve bağlantı fonksiyonu içerir [24].

Baş büyüklüğü, modeldeki her bir terimin karmaşıklığını veya maksimum boyutunu belirler. Gen sayısı, öğrenme algoritması verilerini modellemek için farklı fonksiyon ve terminal düzenlemelerini (orijinal ve türetilmiş değişkenler ve sabitler) dener. GEP mimarisinin esnekliği, farklı boyut ve şekillerde sonsuz sayıda model

oluşturulmasına izin vermektedir. Bu modellerden az sayıda (bir popülasyon) rastgele oluşturulur ve daha sonra her bir modelin verileri ne kadar iyi açıkladığını görmek için test edilir. Daha sonra performanslarına veya uygunluğuna göre modeller bazı küçük değişikliklerle yeniden üretilmek üzere seçilir ve yeni modeller üretilir. Bu seçme ve çoğaltma işlemi, belirli sayıda nesiller için tekrarlanır ve daha iyi modellerin üretilmesi sağlanır [24].

Sakarya Büyükşehir Belediyesi katı atık düzenli depolama sahasından kaynaklanan sızıntı suyunda BOİ₅ tahmini için kullandığımız GeneXproTools programındaki başlangıç ayarları (General Settings) Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi ayarlanmıştır.

The image shows the 'General Settings' window of the GeneXproTools software. The window has four tabs: 'General Settings', 'Fitness Function', 'Genetic Operators', and 'Numerical Constants'. The 'General Settings' tab is selected. Inside this tab, there is a 'Sampling' section with the following settings: 'Training Records' is 17, 'Validation/Test Records' is 6, and 'Mini-Batch Mode' is unchecked. Below the 'Sampling' section, there are four more settings: 'Number of' is 50, 'Head Size' is 10, 'Number of Genes' is 4, and 'Linking Function' is 'Subtraction'.

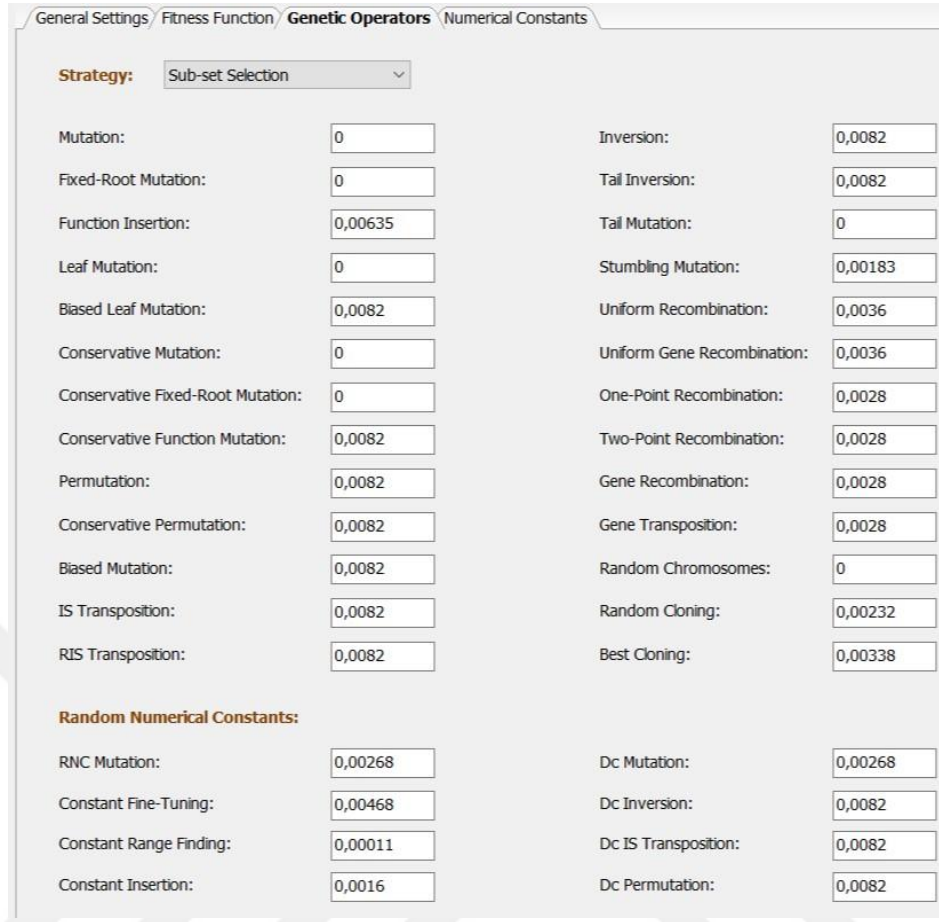
Şekil 3.1. GEP modelinde kullanılan ayarlar sekmesindeki genel ayarlar

GeneXproTools, modelleme için iki farklı öğrenme algoritması kullanır. İlki temel gen ekspresyonu algoritması veya basitçe GEP rasgele sayısal sabitlerin doğrudan manipülasyonunu desteklemezken, diğeri rastgele sayısal sabitler içeren GEP veya kısaca GEP-Rastgele Sayısal Sabitler (GEP-RNC) bunları kullanmak için direkt olarak bir yapı uygular. Bu iki algoritma çözüm ortamını farklı şekilde aramaktadır [24].

Bu algoritmaların ürettiği model türleri oldukça farklıdır ve her ikisi de eldeki problemde eşit derecede iyi performans gösterse de, yine de GEP-RNC edilebilir.

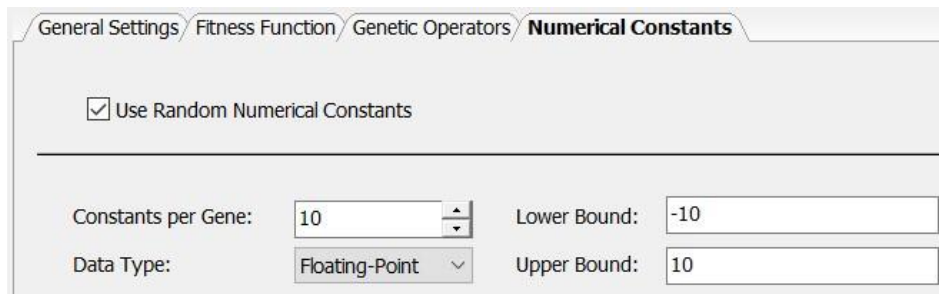
Ancak, sayısal sabitlerin verimli bir modelleme için çok önemli olduğu durumlar vardır ve bu nedenle, GEP-RNC algoritmasının GeneXproTools'ta varsayılandır. Sayısal Sabitler (numerical constant) sekmesinde, sabitlerin aralığını ve türünü ve ayrıca gen başına sabit sayısı da ayarlanabilir [24].

GEP-RNC algoritması, rasgele sayısal sabitleri kodlamak için ek bir gen alanı (Dc Bölümü) kullandığından, temel gen ifade algoritmasından biraz daha karmaşıktır. Sonuç olarak, bu algoritma, özellikle rastgele sayısal sabitlerin (eğer varsa) kullanılması için geliştirilen ek bir genetik operatör grubu (RNC Mutasyonu, Sabit İnce Ayar, Sabit Aralık Bulma, Sabit Ekleme, Dc Mutasyonu, Dc Ters Çevirme, Dc IS Aktarımı ve Dc Permütasyonu) içerir. Bu operatörlere aşina değilseniz, lütfen Strateji sekmesindeki tüm durumlarda çok iyi çalıştığı için Optimal Evrim'i seçerek varsayılan Optimal Evrim Strateji'yi kullanabilirsiniz [24]. GEP Modelinde kullanılan Sayısal Sabitler (Numerical Constants) ve Genetik Operatörler (Genetic Operators) sırasıyla Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



Genetic Operators			
Strategy: Sub-set Selection			
Mutation:	0	Inversion:	0,0082
Fixed-Root Mutation:	0	Tail Inversion:	0,0082
Function Insertion:	0,00635	Tail Mutation:	0
Leaf Mutation:	0	Stumbling Mutation:	0,00183
Biased Leaf Mutation:	0,0082	Uniform Recombination:	0,0036
Conservative Mutation:	0	Uniform Gene Recombination:	0,0036
Conservative Fixed-Root Mutation:	0	One-Point Recombination:	0,0028
Conservative Function Mutation:	0,0082	Two-Point Recombination:	0,0028
Permutation:	0,0082	Gene Recombination:	0,0028
Conservative Permutation:	0,0082	Gene Transposition:	0,0028
Biased Mutation:	0,0082	Random Chromosomes:	0
IS Transposition:	0,0082	Random Cloning:	0,00232
RIS Transposition:	0,0082	Best Cloning:	0,00338
Random Numerical Constants:			
RNC Mutation:	0,00268	Dc Mutation:	0,00268
Constant Fine-Tuning:	0,00468	Dc Inversion:	0,0082
Constant Range Finding:	0,00011	Dc IS Transposition:	0,0082
Constant Insertion:	0,0016	Dc Permutation:	0,0082

Şekil 3.2. Modelde kullanılan ayarlar sekmesindeki genetik operatörler

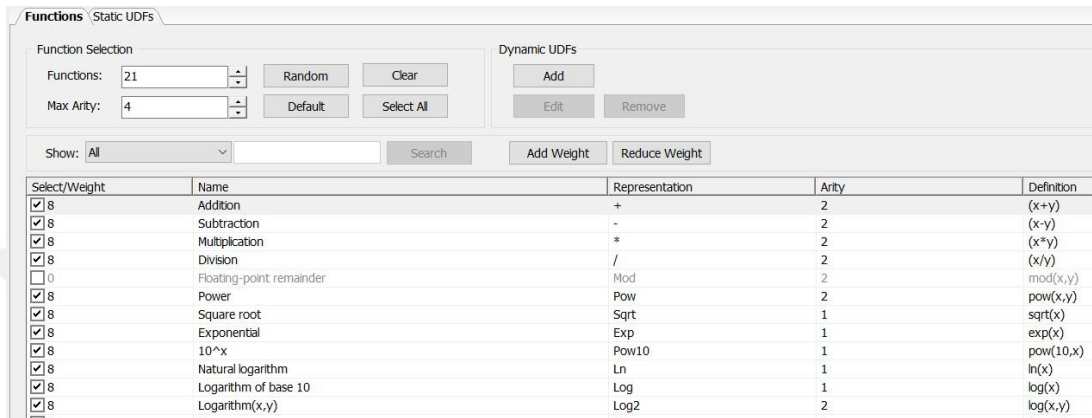


Numerical Constants			
☒ Use Random Numerical Constants			
Constants per Gene:	10	Lower Bound:	-10
Data Type:	Floating-Point	Upper Bound:	10

Şekil 3.3. Modelde kullanılan ayarlar sekmesindeki sayısal sabitler

GeneXproTools modelleme programının sonuç olarak verdiği fonksiyon çok önemlidir. Eğitim seti kullanılarak geliştirilen formülüzasyon (denklemi), test verileri için uygulanabilir ve çok iyi sonuç versede denklemin kullanılabilirliği ve karmaşıklığı çok önemlidir. Yani elde edilen denklem herkes tarafından kolay bir şekilde kullanılabilir olmalıdır. Bu yüzden geliştirilecek denklemde kullanılacak olan

işlem fonksiyonları arasından (Fuctions) en az sayıda operatör seçilerek problem çözülmeye çalışmalıdır. Fonsiyonlar (Functions) sekmesi altındaki fonskyion seçimi (Function Selection) adımı ile kullanılacak maksimum fonksiyon sayısı ve bir işlem yaparken maksimum kaç adet değişken kullanılacağı belirlenir. Modellememizde kullanılan fonksiyonlar Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Modelde kullanılan fonksiyonlar (operatörler)

Modelleme için uygun görülen değerler girildikten sonra programda çalıştır (Run) sekmesinden başlat (start) tuşu ile program çalıştırılır. Girilen değerlere göre ilgili parametreyi en iyi şekilde tahmin edecek denklemler üretilir. Üretilen her bir denklem, test veri seti kullanılarak test edilir. Denklemlerin tahmin kabiliyetini gösteren performans sonuçları (deney verileri ile tahmin verilerini karşılaştıran) program arayüzünde çizgi grafik üzerinde anlık olarak görülebilir. Şekil 3.5. üzerinde kırmızı dikdörtgen alan ile gösterilmiş kısım eğitim seti kullanılarak programın ürettiği denklemler içerisinde en iyi tahmin yapan denklemin performans değerlerini gösterilmektedir. Buradaki performans göstergesi değerleri en iyi uygunluk (Best Fitness), korelasyon katsayısı (Correl. Coeff) ve regresyon katsayısını (R-square) içermektedir. En iyi uygunluk (Best Fitness) değeri 0-1000 arasında bir değere sahipken, korelasyon katsayısı (Correl. Coeff) ve regresyon katsayısı (R-square) 0-1 aralığında bir değere sahiptir. En iyi uygunluk değeri 1000'e ne kadar yakınsa ve korelasyon katsayısı ile regresyon katsayısı 1'e ne kadar yakınsa geliştirilen denklemin tahmin kabiliyeti o kadar iyidir. Bu değerler ne kadar yüksek

ise geliştirilen denklemin ürettiği sonuçlar gerçek sonuçlara o kadar yakın sonuç vermiş demektir.



Şekil 3.5. Anlık Sonuçların grafiksel gösterimi ve performans değerleri

GEP modellerinden geliştirilen denklemlerin performansını test etmek için dört istatistiksel ölçüt kullanılmıştır. Bu ölçütler denklemden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmak için kullanılmıştır. Bu parametreler Denklem (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)'de verildiği gibi sırasıyla regresyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama karesel hata (MSE) ve ortalama karesel hata karekökü (RMSE) ile ifade edilmektedir [14].

$$R^2 = \frac{\left[n \sum_{i=0}^n (t_i o_i) - \left(\left(\sum_{i=0}^n (t_i) \right) * \sum_{i=0}^n (o_i) \right) \right]^2}{\left[n \sum_{i=0}^n (t_i^2) - \left(\sum_{i=0}^n (t_i) \right)^2 \right] * \left[n \sum_{i=0}^n (o_i^2) - \left(\sum_{i=0}^n (o_i) \right)^2 \right]} \quad (3.2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (t_i - o_i) \quad (3.3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (t_i - o_i)^2 \quad (3.4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (t_i - o_i)^2} \quad (3.5)$$

Çalışmada BOİ₅ tahmini için dokuz farklı senaryo (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9) kullanılarak GEP modelinde denklem geliştirilmiştir. İlk senaryoda (A1) GEP modelinde tek bir girdi parametresi mevcut iken, diğer senaryolarda ise Tablo 3.2.'de gösterilen kolerasyon değerlerine göre sırasıyla BOİ₅ ile arasındaki korelasyon değeri büyük olan diğer bir parametre modele eklenmiştir. İlk yapılan modellemede tek bir parametre bulunmaktadır. Sonrasında iki, üç, dört vb. şeklinde dokuz kadar artan miktarda parametre kullanılmıştır. Buradaki amacımız en az parametre ile en iyi performansı veren parametre sayısını belirlemektir. Tablo 3.3.'de modelleme için yaptığımız senaryolar gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Modellemede kullanılacak parametrelerin kolerasyon değerleri

Parametre	BOİ ₅ ile Korelasyonu
Zn	0,4396
KOI	0,4138
Cu	0,3843
TKN	0,2932
Cr	0,2142
Pb	0,2065
pH	0,0071
F	-0,2694
Fe	-0,0388

Tablo 3.3. GEP Modelinde kullanılan senaryolar

Senaryolar	Girdi parametreleri	Çıktı Parametresi
A1	Zn	BOİ ₅
A2	Zn, KOI	BOİ ₅
A3	Zn, KOI, Cu	BOİ ₅
A4	Zn, KOI, Cu, TKN	BOİ ₅
A5	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr	BOİ ₅
A6	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr, Pb	BOİ ₅
A7	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr, Pb, pH	BOİ ₅
A8	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr, Pb, pH, F	BOİ ₅
A9	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr, Pb, pH, F, Fe	BOİ ₅

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Sakarya Büyükşehir Belediyesi katı atık düzenli depolama sahası sızıntı suyunun BOİ₅ parametresini tahmin etmek için Tablo 3.3.'de verilen senaryolar kullanılmıştır. Senaryolarda kullanılan Genetik Operatörler (Genetic Operators), Sayısal Sabitler (Numerical Constants) ve Fonksiyonlar (Functions) bölümlerindeki girdiler birbiri ile aynı iken, Genel Ayarlar (General Settings) sekmesindeki Bağlantı Fonksiyonu (Linking Function) farklılık göstermektedir. Genetik Operatörler (Genetic Operators), Sayısal Sabitler (Numerical Constants) ve Fonksiyonlar (Functions)'ın aynı seçilmesinin sebebi, ön denemelerde elde edilen modeller için daha önceden tesbit edilen en uygun değerler olmasıdır. Uygun değerlerin belirlenmesi ön deneme için geliştirilen modellemeler sonucunda belirlenmiştir. Fakat Genel Ayarlar (General Settings) sekmesindeki bağlantı fonksiyonu (Linking Function) toplama, çıkarma, bölme ve çarpma işlemlerinden biri seçilmiştir. Bu işlemler her bir gen sonucunun diğer gen ile yapılacak işlemi belirlemek için kullanılmaktadır. Her bir senaryo için tüm işlemler sırasıyla yapılmış olup, elde edilen en iyi sonuç nihai model seçilmiştir.

Hazırlanan senaryolar (Tablo 3.3.) A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8 ve A9 olarak kodlanıp, kullanılacak olan verileri eğitim ve test olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Her model için hazırlanan veriler normalizasyon işlemine tabi tutuldu. Programın ayarlar sekmesindeki Genel Ayarlar (General Setting), Genetik Operatörler (Genetic Operators), Sayısal Sabitler (Numerical Constants) ve Fonksiyon (Function) değerleri yukarıdaki Şekil 3.1., Şekil 3.2., Şekil 3.3, ve Şekil 3.4.'de gösterilmiştir. Girilen ve/veya seçilen değerler doğrultusunda her bir model için program model performans değeri en uygun değere ulaşıncaya kadar belirli bir süre çalıştırılmıştır. Programın ortalama olarak 2,5 saat çalıştırılmasından sonra elde edilen birçok model arasından R², RMSE, MSE ve MAE değerlerine göre, eğitim ve test verilerinin her ikisi için en iyi sonuçları veren model nihai model seçilmiştir.

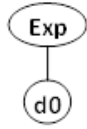
4.1. GEP Model Sonuçları

Tablo 4.1.'de GEP modeli senaryoları ve her bir senaryodan elde edilen denklem için performans sonuçları (R^2 , RMSE, MSE ve MAE) verilmiştir. Bu değerler eğitim ve test verilerinin herbiri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bir senaryodan elde edilen denklem için eğitim verilerinden elde edilen performans değerleri iyi iken aynı zamanda bu denklemin test verileri içinde iyi bir performans değeri vermesi beklenmektedir. Eğitim veri setindeki performans sonuçların iyi çıkmasıyla, test veri setini kullanarak elde edilen performans sonuçların iyi çıkması GEP modelinden elde edilen denklemin iyi bir tahmin yaptığığının göstergesidir. Tabloda verilen sonuçlara göre A1, A2, A3, A4, A5 ve A6 senaryolarından elde edilen sonuçların R^2 değeri hem eğitim hem test veri setinden birinde veya her ikisinde 0,800 değerinin altında kaldığı için modelden elde edilen denklemin çok iyi bir sonuç vermediği kabul edilmiştir. Diğer modellere bakıldığında A7 modelinin eğitim ve test performans sonuçları sırasıyla, R^2 değeri 0,904-0,830; RMSE değeri 0,101-0,433; MSE değeri 0,010-0,188; MAE değeri 0,078-0,355 iken A8 modelinin sonuçları R^2 değeri 0,851-0,904; RMSE değeri 0,123-0,219; MSE değeri 0,015-0,048; MAE değeri 0,103-0,186 ve A9 modelinin sonuçları R^2 değeri 0,860-0,929; RMSE değeri 0,119-0,216; MSE değeri 0,014-0,046; MAE değeri 0,094-0,174 olarak hesaplanmıştır. Bu üç senaryo için performans sonuçları değerlendirildiğinde A7, A8 ve A9 senaryolarından elde edilen denklemler BOİ₅ için iyi tahmin yapabilen ve verdiği sonuçların kabul edilebilirliği en yüksek olan modellemelerdir. Bu üç senaryo arasında ise en iyi tahmin yapabilen denklem hem eğitim hemde test verileri için en iyi performans sonuçlarına sahip olan A9 senaryosundan elde edilen denklemdir. Şekil 4.1.'de A9 senaryosundan elde edilen GEP ifade ağacı verilmiştir.

Tablo 4.1. Senaryolardan elde edilen en iyi denklemler için eğitim ve test verilerinin performans sonuçları

Senaryolar	Girdir parametreleri	Çıktı Parametreleri	R ²		RMSE		MSE		MAE	
			Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
A1	Zn	BOİ ₅	0,546	0,244	0,210	0,528	0,044	0,279	0,164	0,408
A2	Zn, KOI	BOİ ₅	0,431	0,259	0,238	0,383	0,057	0,146	0,203	0,336
A3	Zn, KOI, Cu	BOİ ₅	0,724	0,211	0,165	0,394	0,027	0,155	0,145	0,365
A4	Zn, KOI, Cu, TKN	BOİ ₅	0,591	0,890	0,200	0,748	0,040	0,559	0,160	0,527
A5	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr	BOİ ₅	0,865	0,770	0,118	0,570	0,014	0,325	0,092	0,487
A6	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr, Pb	BOİ ₅	0,770	0,632	0,150	0,658	0,022	0,434	0,129	0,576
A7	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr, Pb, pH	BOİ ₅	0,904	0,830	0,101	0,433	0,010	0,188	0,078	0,355
A8	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr, Pb, pH, F	BOİ ₅	0,851	0,904	0,123	0,219	0,015	0,048	0,103	0,186
A9	Zn, KOI, Cu, TKN, Cr, Pb, pH, F, Fe	BOİ ₅	0,860	0,929	0,119	0,216	0,014	0,046	0,094	0,174

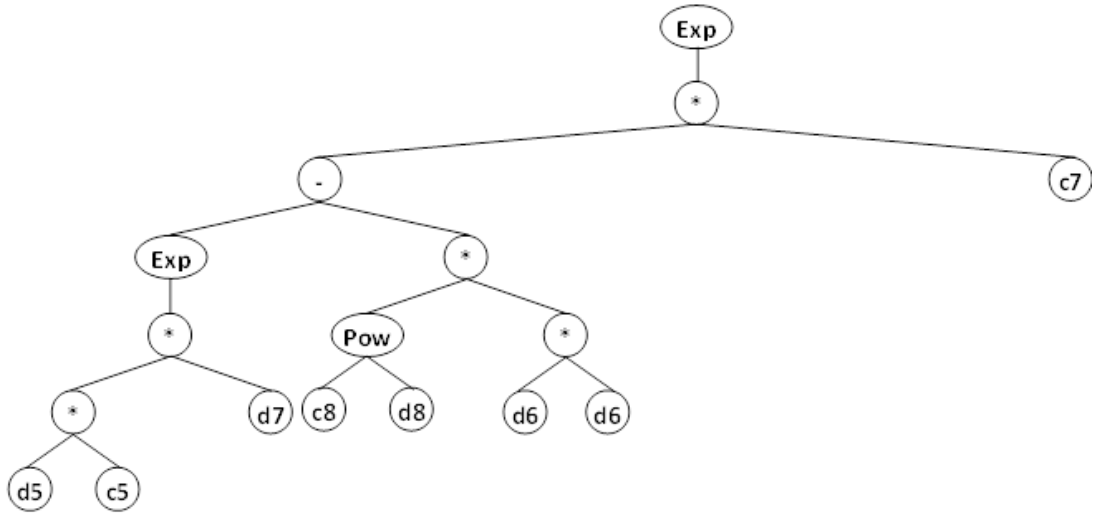
Sub-ET 1



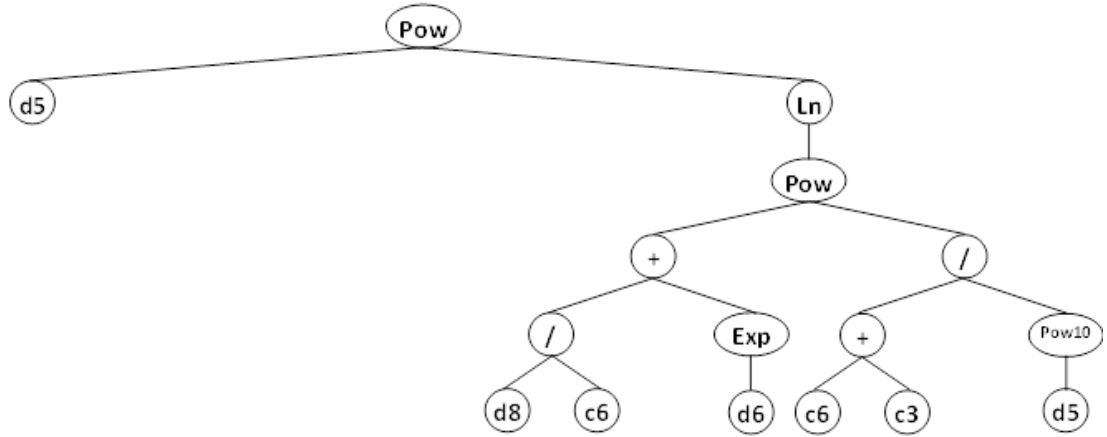
Sub-ET 2



Sub-ET 3



Sub-ET 4



Şekil 4.1. A9 modelinden elde edilen ifade ağacı (expression tree)

A9 senaryosunun ifade ağacında bulunan Sub-ET (sub-expression tree)'nin her biri bir ağacı temsil etmektedir. Bu ağaçların bağlantısı GEP programında ayarlar(Setting) bölümünün genel ayarlar (General Setting) sekmesi altında seçilen Bağlantı fonksiyonu(Linking Function)'na göre (toplama, çıkarma, bölme veya

çarpma) birbirine bağlantısı yapılmaktadır. Her bir ağacın alt dallarındaki işlemler, en alt kısımdan başlayarak yukarıya doğru işlem hesapları yapılır. Örneğin Sub-ET 1 için yapılan işlem e^{d_0} işlemi olarak tanımlanmıştır. Yine örnek olarak Sub-ET 4 ağacı için $\frac{d_8}{c_6} + e^{d_6}$ başlayan bir işlem ile devam etmektedir. Bu şekilde hesaplanan tüm ağaçların sonuçları bağlantı fonksiyonu kısmında seçilen bağlantı türüne göre birbirine bağlanmaktadır. A9 modeli için seçilen bağlantı fonksiyonu çıkarma işlemi olduğundan yukarıdaki ifade ağaçlarının bağlanması (Sub-ET 1) - (Sub-ET 2) - (Sub-ET 3) - (Sub-ET 4) anlamına gelmektedir. Tüm işlemleri yapıldıktan sonra nihai A9 senaryosundan elde edilen denklem aşağıda denklem 4.1’de ile gösterilmiştir.

$$Y = e^{d_0} - d_0 - e^{c_7 * \{e^{[(d_5 * c_5) * d_7] - [c_8^{d_8} * (d_6 + d_6)]}\}} - d_5 \left[\ln \left(\frac{d_8}{c_6} + e^{d_6} \right)^{\left(\frac{c_6 + c_9}{10^{d_5}} \right)} \right] \quad (4.1)$$

$Y = \text{Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)}$

$d_0 = \text{Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)}$

$d_5 = \text{Florür İhtiyacı (mg/L)}$

$d_6 = \text{Bakır (mg/L)}$

$d_7 = \text{Çinko (mg/L)}$

$d_8 = pH$

$c_5 = 6,6641672531988$

$c_6 = 1,81575896364322$

$c_7 = -2,20102862999311$

$c_8 = 5,98323883085523$

$c_9 = 3,55884062982298$

* c_x =programdan elde edilen sabitler

A9 senaryosundan elde edilen denklemde TKN, TK, Pb ve Fe^{+2} parametreleri yer almamıştır. Bunun sebebinin GEP programında model girdi probleme ait parametrelerin tamamı verildiğinde sürekli olarak program tarafından farklı girdi bir

kısmı ya da tamamını kullanarak farklı denklemler ürettiği anlaşılmıştır. Buna göre A9 senaryosundan elde edilen denklemin en son ve en açık şekli aşağıdaki gibi olur.

$$BOI_5 = e^{KOI} - KOI - e^{c_7 * \{e^{[(F * c_5) * Zn]} - [c_8^{pH} * (Cu + Cu)]\}} - d_5 \left[\left(\frac{pH}{c_6} + e^{Cu} \right)^{\left(\frac{c_6 + c_9}{10^F} \right)} \right] \quad (4.2)$$

$$c_5 = 6,6641672531988$$

$$c_6 = 1,81575896364322$$

$$c_7 = -2,20102862999311$$

$$c_8 = 5,98323883085523$$

$$c_9 = 3,55884062982298$$

* c_x =programdan elde edilen sabitler

4.2. A9 Senaryosundan Elde Edilen Sonuçlarının İncelenmesi

Sakarya Büyükşehir Belediyesi katı atık düzenli depolama sahasından kaynaklanan sızıntı suyunun BOI₅ tahmini modellemesi için geliştirilen senaryolar arasında en iyi performansa sahip A9 senaryosundan elde edilen denklem seçilmiştir. A9 senaryosundan elde edilen denklem için R² değeri eğitim için 0,860 iken test değeri 0,929 olarak bulunmuştur. Elde edilen denklem ise aşağıda verilmiştir.

$$BOI_5 = e^{KOI} - KOI - e^{c_7 * \{e^{[(F * c_5) * Zn]} - [c_8^{pH} * (Cu + Cu)]\}} - d_5 \left[\left(\frac{pH}{c_6} + e^{Cu} \right)^{\left(\frac{c_6 + c_9}{10^F} \right)} \right]$$

$$c_5 = 6,6641672531988$$

$$c_6 = 1,81575896364322$$

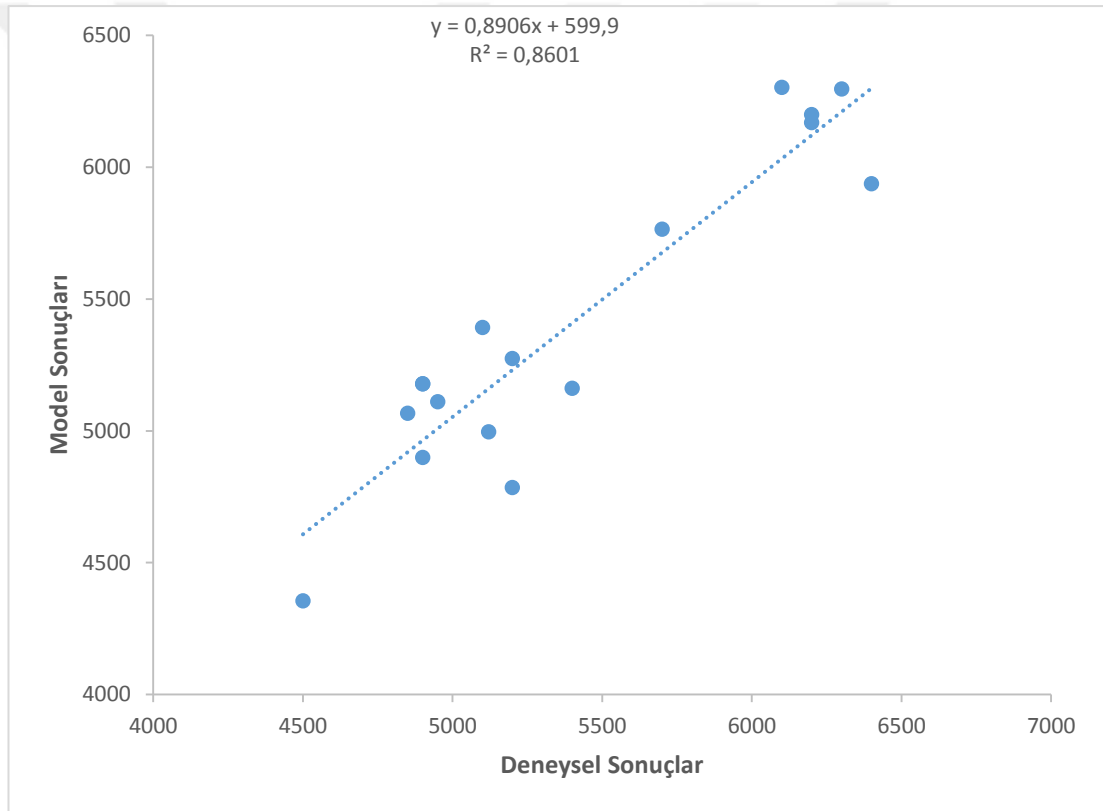
$$c_7 = -2,20102862999311$$

$$c_8 = 5,98323883085523$$

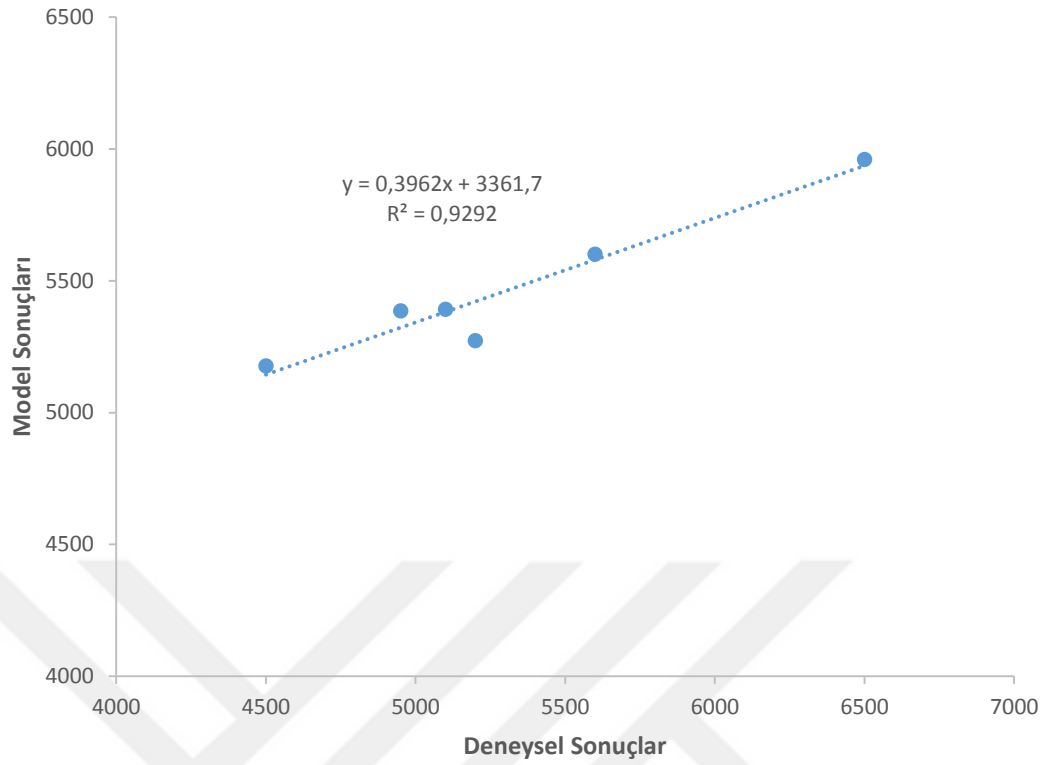
$$c_9 = 3,55884062982298$$

Elde edilen bu denklemi herhangi bir hesap tablosu (Microsoft Excel vb.) ortamında kullanmak ve ölçülen deney sonuçlarına göre BOİ₅ tahmininde kullanmak mümkündür. Denklem hesap tablosundaki hücreye yazıldığında girdi parametreleri için yapılacak deneylerden elde edilen girdi parametrelerine ait sonuçlar girilerek BOİ₅ ölçümü yapılmaksızın tahmin yapılabilecektir

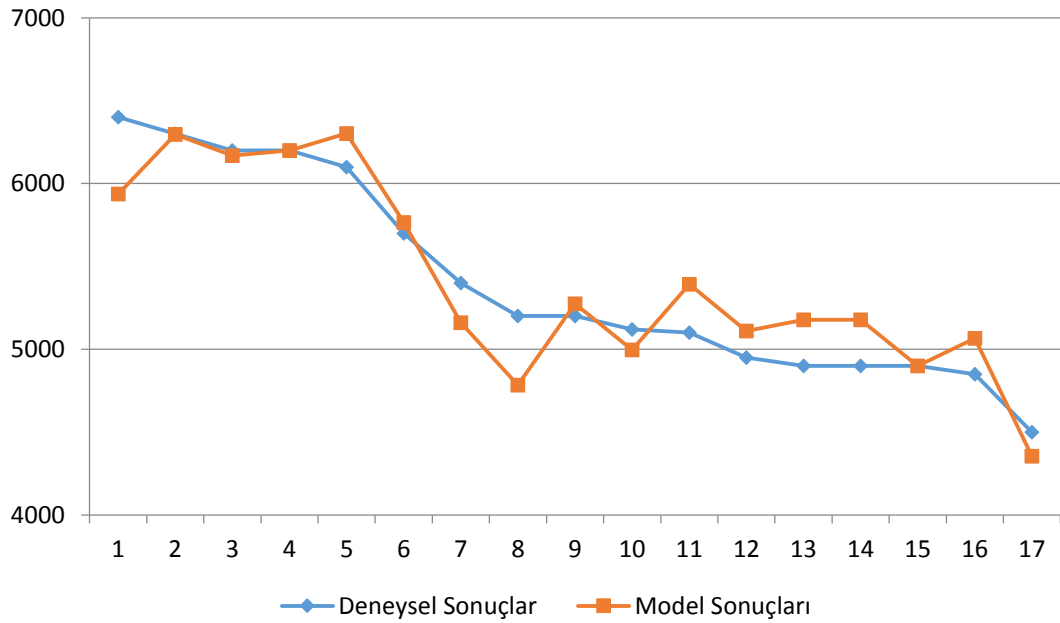
Şekil 4.2., 4.3., 4.4. ve 4.5.'de A9 senaryosundan elde edilen denklemden elde edilen tahmin sonuçları ve deneysel sonuçların karşılaştırılması eğitim ve test verilerinin her ikisi için ayrı ayrı verilmiştir.



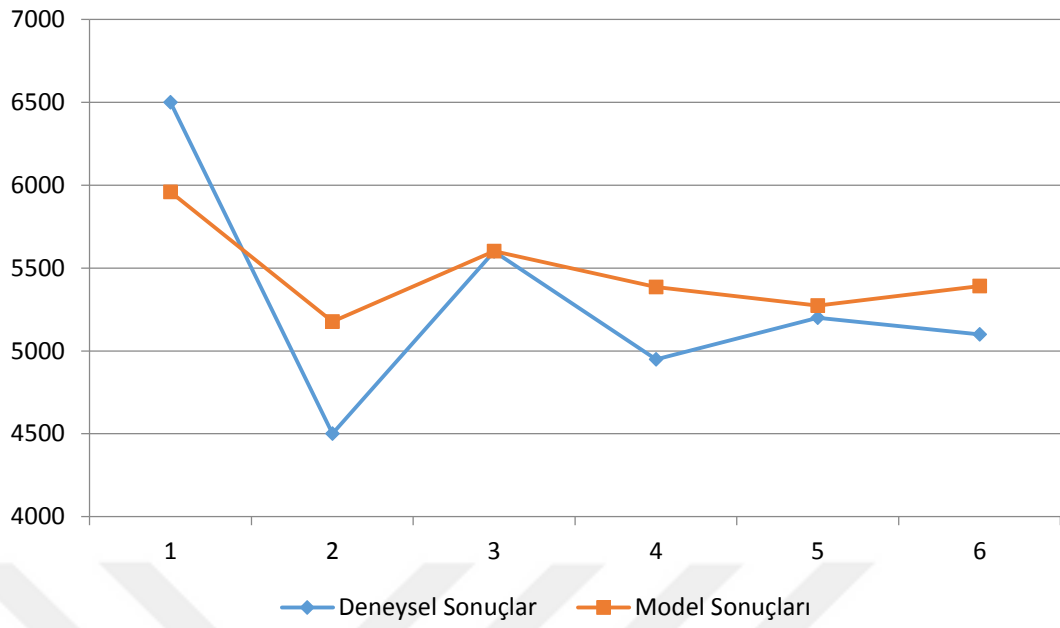
Şekil 4.2. Eğitim veri setinin deneysel-model sonuçları saçılım grafiği



Şekil 4.3. Test veri setinin deneysel-model sonuçları saçılım grafiği



Şekil 4.4. Eğitim veri setinin BOİs deneysel-model sonuçları karşılaştırması



Şekil 4.5. Test veri setinin BOI₅ deneysel-model sonuçları karşılaştırması

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyadaki artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte sürekli olarak artan katı atık miktarı, genellikle depolama sahasına depolayarak bertaraf edilmektedir. Katı atıkların düzenli depolanmasıyla ve çevre etkileri, mevsimsel koşullar ve diğer insani faktörler ile birlikte sızıntı suyu oluşmaktadır. Sızıntı sularının bertarafı, yeraltı suları, içme suyu kaynakları ve canlılara olumsuz etki yaratmaması açısından oldukça önemlidir. Sızıntı sularının bertaraf metotlarından biri olan kanalizasyona deşarj için kirleticilerin mevzuat gereği indirgenmesi gereken değerlere çekilmelidir. Bunun için ilgili mevzuatlar gereği sızıntı suyundaki belirli parametreler için analizlerin yapılarak sürekli olarak belirli periyotlarla takip edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Sakarya Büyükşehir Belediyesi katı atık düzenli depolama sahasından kaynaklanan sızıntı sularında analizi yapılan BOI_5 parametresinin ilgili mevzuatın gerektirdiği analizi yapılan diğer parametrelerden elde edilen geçmiş iki yıllık veriler kullanılarak Gen İfadeli Programlama(GEP) ile tahmin modeli geliştirilmiştir. Düzenli depolama sahasından kaynaklı sızıntı sularının analizleri labrotuvar koşullarında ve aylık periyotlar şeklinde yapılmıştır. 2017-2018 yıllarındaki deneysel analizlerin sonucuna göre GEP modelinde KOI , TKN, TK, Pb, Fe^{+2} , F^- , Cu, Zn ve pH girdi olarak ele alınmış olup, BOI_5 ise çıktı parametresi olarak ele alınmış ve tahmin edilmiştir. Ancak analiz sonuçları, modelleme de aylık sıraya göre sıralanmasından kaçılmış olup karışık bir şekilde kullanılmıştır. Veri setleri programa girildikten sonra parametrelerin ölçekleri farklı olduğundan normalizasyon işlemi yapılmıştır. Bu işlemle birlikte GEP modelinden çıktı olarak elde edilecek denklemde, kullanılmasını istediğimiz matematiksel fonksiyonlar belirlenmiştir. Kullanılan GEP programına girilen veriler ile eğitim veri setinde öğrenerek ürettiği denklem, test veri setine uygulanarak elde edilen denklemin doğruluğu test edilmiştir. Bu işlem program

tarafından sürekli olarak tekrarlanmış ve üretilen her bir denklem için farklı performans parametrelerine göre eğitim ve test veri setinin her ikisi için değerlendirilerek en iyi tahmini yapabilen denklem elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda Sakarya Büyükşehir Belediyesi katı atık düzenli depolama sahasından kaynaklanan sızıntı suyunda BOI_5 tahmini için A9 senaryosundan elde edilen denklemin R^2 değeri eğitim için 0,860 iken test için 0,929 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre Gen ifadeli Programlama ile elde edilen bu denklemin iyi bir tahmin kabiliyetine sahip olduğu ve gelecekte sızıntı suyunda denklemde kullanılan girdi parametreleri için yapılacak analiz sonuçları kullanılarak BOI_5 parametresi hesaplanacaktır. Böylece BOI_5 parametresi için yeniden analiz yapılamayarak yada analiz sıklığı azaltılarak hem zamandan hemde maliyetten tasarruf edilmiş olacaktır.

Bu çalışmayla birlikte Sakarya Büyükşehir Belediyesi katı atık düzenli depolama sahası olarak seçilen deponi sahasından kaynaklanan sızıntı suyu BOI_5 parametresi GEP modelinden elde edilen denklemin farklı deponi sahalarında uygulanabilirliği hakkında çalışma yapılmasının yolu açılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Terzi ve Özcanoğlu - 2017 - Gen İfade Programlama İle Göksu Nehri'nin Akım Tahmini. Erişim Tarihi: 02.3.2019 .
- [2] B. Eren, Sızıntı Suyundan Nikel (II) İyonları Giderim Veriminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi, Engineering Sciences. 6 (2011) 399. doi:10.12739/nwsaes.v6i1.5000067042. Erişim Tarihi: 15.3.2019 .
- [3] Yasemin Çalışkan - Organik Madde İçeren Katı Atıkların Enerji Üretimi Amacıyla Anaerobik Kompostlaştırılması. Erişim Tarihi: 28.3.2019 .
- [4] G.F. Gökçe, D.Ü.K. Myo, P. Hasanoğlu, Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarının ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı ve Bitkilendirilmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi; Cilt 3, Sayı 1 (2015). (2015) 1. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TR2016012271> Erişim Tarihi: 25.2.2019 .
- [5] Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç- Çöplük Yangınları Ve Etkileri. http://www.yangin.org/dosyalar/copluk_yanginlari_ve_etkileri Erişim Tarihi: 16.4.2019 .
- [6] CVM 407 Katı Atıklar Ve Kontrolü. <https://slideplayer.biz.tr/slide/9118721/> Erişim Tarihi: 11.2.2019 .
- [7] Depolama Alanlarında Çöp Sıkıştırma Ve Günlük Örtüsü. Prof. Dr. Mustafa Öztürk Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Müsteşarı. <https://docplayer.biz.tr/52421609-Depolama-alanlarinda-cop-sikistirma-ve-gunluk-ortusu-prof-dr-mustafa-ozturk-cevre-ve-sehircilik-bakanligi-mustesari.html> Erişim Tarihi: 09.2.2019 .
- [8] kirikkale.csb.gov.tr, Düzensiz Depolama Sahaları, <http://kirikkale.csb.gov.tr/duzensiz-depolama-sahalari-haber-1322> Erişim Tarihi: 01.4.2019 .
- [9] D.İ. Öztürk, D.T.T. Onay, Ş. Yıldız, Sızıntı Suyu Yönetimi İhtisas Komisyonu Taslak Çalışma Raporu, 11-13-14. Erişim Tarihi: 01.4.2019 .

- [10] Yıldız - Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu Ve Depo Gazinin Yönetimi. Erişim Tarihi: 01.4.2019 .
- [11] Ş. Yıldız, Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu Ve Depo Gazinin Yönetimi 9. Erişim Tarihi: 01.4.2019 .
- [12] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği,
<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7221&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0> Erişim Tarihi: 01.4.2019 .
- [13] Ferreira - Gene Expression Programming. Erişim Tarihi: 16.2.2019 .
- [14] M. Sarıdemir, Prediction of compressive strength of concretes containing metakaolin and silica fume by gene expression programming, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences. 23 (2017) 242. doi:10.5505/pajes.2016.57805. Erişim Tarihi: 21.3.2019 .
- [15] Math & Boolean Functions.
<https://www.gepsoft.com/GeneXproTools/MathAndBooleanFunctions.htm>
Erişim Tarihi: 27.3.2019 .
- [16] Yıldız - 2004 - Modelling Leachate Quality and Quantity in Municip. Erişim Tarihi: 01.4.2019 .
- [17] N.G. Turan, B. Mesci, O. Ozgonenel, The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of adsorption of Cu(II) from industrial leachate by pumice, Chemical Engineering Journal. 171 (2011) 1091-1097. doi:10.1016/j.cej.2011.05.005. Erişim Tarihi: 05.3.2019 .
- [18] A.H. Bhatt, R.V. Karanjekar, S. Altouqi, M.L. Sattler, M.D.S. Hossain, V.P. Chen, Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: Exploration of a MARS statistical approach, Environmental Technology & Innovation. 8 (2017) 1-16. doi:10.1016/j.eti.2017.03.003. Erişim Tarihi: 08.2.2019 .
- [19] F. Karaca, B. Özkaya, NN-LEAP: A neural network-based model for controlling leachate flow-rate in a municipal solid waste landfill site, Environmental Modelling & Software. 21 (2006) 1190. doi:10.1016/j.envsoft.2005.06.006. Erişim Tarihi: 19.2.2019 .
- [20] F. Geyik, M. Geso, Predicting the Crushing Strength of Cold-bonded Artificial Aggregates by Genetic Algorithms 276. Erişim Tarihi: 03.4.2019 .
- [21] J.G. Zade, Prediction of Municipal Solid Waste Generation by Use of Artificial Neural Network: A Case Study of Mashhad, 13. Erişim Tarihi: 01.4.2019 .

- [22] R. Noori, M. Abdoli, M.J. Ghazizade, R. Samieifard, Comparison of Neural Network and Principal Component- Regression Analysis to Predict the Solid Waste Generation in Tehran, (2009) 74. Erişim Tarihi: 01.2.2019 .
- [23] S. Yavuz, M. Deveci, İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakóltesi Dergisi. (2012) 22. Erişim Tarihi: 26.1.2019 .
- [24] Getting Started with Regression,
<https://www.gepsoft.com/tutorials/GettingStartedWithRegression.htm> Erişim Tarihi: 14.2.2019 .



EKLER

EK 1: Sakarya B y k    r Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Sularının analiz sonuçlarını kullanma izni





SEKAY
SAKARYA ENTEGRE KATI ATIK
YÖNETİMİ A.Ş.

Altunizade Mh.
Ord.Prof.Fahrettin Kerim Gökay Cd.
No:34 Üsküdar/İSTANBUL
0216 316 55 23 - 0216 520 02 65

Sayı: 5402.2019/176/ 97
Konu: İzin talebi hk.

09.05.2019

Sayın: Orhan YILMAZ
Bağlar Mah. Türbe Cad. 7110. Sokak No:3 Kat:2
Erenler/SAKARYA

Tesisimizde; Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Kjendal Azotu (TKN), Toplam Krom (TK), Kurşun (Pb), Demir (Fe+2), Florür (F-), Bakır (Cu), Çinko (Zn) ve pH parametleri (girdi parametreleri) kullanılarak Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) rutin olarak numuneleri SASKİ tarafından alınarak analizleri yapılmaktadır.

Bahse konu analiz sonuçlarını Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans Programı “Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında Sızıntı Sularının Modellenmesi” konulu tez çalışmanızda kullanmanızda herhangi bir sakınca bulunmamaktadır.

Bilgilerinize rica ederim.

Ercan KAHRAMAN
İşletme Müdürü

SEKAY
SAKARYA ENTEGRE KATI ATIK
YÖNETİMİ A.Ş.
Altunizade Mh.Ord.Prof.Fahrettin Kerim Gökay Cad.
34/1 Üsküdar/İSTANBUL Yenikapı V.D. 7400610831
Tel: +90 216 316 55 23-24 Fax: +90 216 428 33 72

ÖZGEÇMİŞ

Orhan YILMAZ, 10.11.1995’de Sakarya’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı. 2013 yılında Mehmet Akif Ersoy İMKB Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi’nden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nü 2017 yılında bitirdi. Aynı yıl içinde Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. 2018 yılında Sakarya Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Atık Yönetimi Şube Müdürlüğünde çalışmaktayım.